

Implementasi Sistem *Monitoring* Kelembaban Tanah Berbasis *Internet Of Things*

Alwin Okta*, Firmansyah

Pendidikan Teknologi Informasi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Negeri Islam Ar-raniry, Banda Aceh

*Koresponden email: 210212042@student.ar-raniry.ac.id

Diterima: 12 Agustus 2025

Disetujui: 25 Agustus 2025

Abstract

Soil moisture monitoring is a crucial factor in precision agriculture, yet conventional methods often lack accuracy and efficiency. This research aims to design, implement, and evaluate an Internet of Things (IoT)-based soil moisture monitoring system with a focus on a comparative performance analysis of three different sensor types: the Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, the Soil Moisture Sensor FC-28 (resistive), and the Waterproof & Anti-Rust Sensor. The system was developed using an ESP32 microcontroller and the ThingSpeak platform for real-time data visualization. Tests were conducted on chili, tomato, and eggplant planting media, with data from each sensor validated against a digital soil tester as a ground truth instrument. Accuracy performance was quantitatively evaluated using the Mean Absolute Error (MAE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) methods. The results demonstrate that the Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 provides the highest and most stable accuracy, recording the lowest error rates (MAE 6.4%; MAPE 7%). Conversely, the Soil Moisture Sensor FC-28 showed moderate performance with low stability, while the Waterproof & Anti-Rust Sensor exhibited the highest error rates (MAPE up to 46%). This study concludes that capacitive-based sensors are significantly superior and are recommended for implementing reliable and accurate IoT monitoring systems.

Keywords: *internet of things, soil moisture, capacitive sensor, resistive sensor, esp32*

Abstrak

Pemantauan kelembaban tanah merupakan faktor krusial dalam pertanian presisi, namun metode konvensional seringkali tidak akurat dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) dengan fokus pada analisis perbandingan kinerja tiga jenis sensor yang berbeda: Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28 (resistif), dan Sensor Waterproof & Anti-Karat. Sistem ini dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 dan platform ThingSpeak untuk visualisasi data secara real-time. Pengujian dilakukan pada media tanam cabai, tomat, dan terong, dengan data dari setiap sensor divalidasi menggunakan soil tester digital sebagai instrumen acuan. Kinerja akurasi dievaluasi secara kuantitatif menggunakan metode Mean Absolute Error (MAE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 memiliki akurasi tertinggi dan paling stabil, dengan nilai kesalahan terendah (MAE 6,4%; MAPE 7%). Sebaliknya, Soil Moisture Sensor FC-28 menunjukkan kinerja tingkat menengah dengan stabilitas yang rendah, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat menunjukkan tingkat kesalahan tertinggi (MAPE hingga 46%). Kesimpulan dari penelitian ini adalah sensor berbasis kapasitansi secara signifikan lebih unggul dan direkomendasikan untuk implementasi sistem monitoring IoT yang membutuhkan data akurat dan andal.

Kata Kunci: *internet of things, kelembaban tanah, sensor kapasitif, sensor resistif, esp32*

1. Pendahuluan

Sektor pertanian memegang peranan strategis sebagai fondasi ketahanan pangan dan pilar perekonomian nasional, khususnya bagi negara agraris seperti Indonesia. Keberhasilan produktivitas pertanian sangat bergantung pada pengelolaan faktor lingkungan yang optimal, di mana kelembaban tanah merupakan salah satu parameter paling krusial. Tingkat kelembaban yang tepat memastikan ketersediaan air dan penyerapan nutrisi yang efisien oleh akar tanaman, yang secara langsung berdampak pada pertumbuhan dan kualitas hasil panen [1]. Akan tetapi, metode pemantauan yang dominan di kalangan petani saat ini masih bersifat konvensional, seperti pengamatan visual atau perabaan tanah. Praktik semacam ini tidak hanya bersifat subjektif dan tidak akurat, tetapi juga tidak efisien dari segi waktu dan tenaga, serta tidak mampu menyediakan data historis untuk analisis tren jangka panjang.

Seiring dengan kemajuan teknologi dalam era Revolusi Industri 4.0, Internet of Things (IoT) hadir sebagai solusi inovatif untuk modernisasi sektor pertanian menuju pertanian presisi. IoT memungkinkan interkoneksi antara perangkat fisik melalui jaringan internet, sehingga proses pengumpulan dan transmisi data dapat berjalan secara otomatis dan real-time. Dalam konteks pemantauan lahan, sebuah sistem berbasis IoT dapat menggunakan sensor untuk mengukur kadar air tanah secara kontinu, kemudian mikrokontroler seperti ESP32 memproses dan mengirimkan data tersebut ke platform cloud. Dengan demikian, data kelembaban tanah dapat diakses, dipantau, dan dianalisis dari jarak jauh melalui aplikasi web atau seluler, sebagaimana telah didemonstrasikan dalam beberapa penelitian sebelumnya [2].

Meskipun penerapan IoT untuk pemantauan pertanian telah banyak dilaporkan, terdapat celah penelitian yang signifikan terkait evaluasi perangkat keras yang digunakan, terutama sensor kelembaban tanah. Pasar saat ini dibanjiri oleh berbagai jenis sensor dengan prinsip kerja, harga, dan klaim durabilitas yang berbeda. Dua jenis yang paling umum adalah sensor resistif (contohnya Soil Moisture Sensor FC-28) yang mengukur resistansi tanah dan sensor kapasitif (Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2) yang mengukur perubahan kapasitansi dielektrik. Sensor resistif dikenal luas karena harganya yang murah, namun sangat rentan terhadap korosi yang dapat menurunkan akurasi seiring waktu. Di sisi lain, sensor kapasitif dan variannya yang lebih baru (Waterproof & Anti-Karat) diklaim lebih tahan lama, namun analisis perbandingan kinerja secara langsung (head-to-head) dalam kondisi operasional yang sama masih sangat terbatas di literatur.

Menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, serta mengevaluasi sistem monitoring kelembaban tanah berbasis IoT dengan fokus pada analisis kinerja komparatif tiga jenis sensor berbeda: Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat. Kinerja ketiga sensor akan diuji dan dibandingkan berdasarkan parameter kunci seperti akurasi, presisi, waktu respons, dan stabilitas pembacaan dalam jangka waktu tertentu. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan berbasis bukti bagi para petani, praktisi, maupun peneliti dalam memilih sensor yang paling efektif dan andal sesuai dengan kebutuhan dan anggaran. Pada akhirnya, kontribusi ini diharapkan dapat mendorong adopsi teknologi pertanian presisi yang lebih luas, meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi, dan mendukung praktik pertanian yang lebih produktif serta berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Subyek dan Sumber Data

Subjek utama dalam penelitian ini adalah prototipe sistem monitoring kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) yang dirancang dan diimplementasikan untuk tujuan perbandingan kinerja sensor. Perangkat keras sistem ini tersusun atas mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pemrosesan dan pengirim data [3], serta tiga jenis sensor yang diuji secara simultan: Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat. Untuk visualisasi dan pencatatan data, sistem ini diintegrasikan dengan platform IoT ThingSpeak yang menyajikan antarmuka pemantauan secara real-time. Proses pengujian dilaksanakan di lingkungan terkontrol pada pekarangan rumah dengan menggunakan media tanam dalam polybag yang ditanami tanaman cabai, tomat, dan terong sebagai objek studi kasus [4].

Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan dua jenis sumber, yaitu data primer dan sekunder. Data primer merupakan data kuantitatif utama yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan, berupa nilai pembacaan kelembaban tanah dari ketiga sensor yang terpasang. Data ini dikumpulkan secara kontinu untuk dianalisis dan dibandingkan. Sementara itu, data sekunder berfungsi sebagai landasan teoritis dan referensi dalam perancangan sistem. Sumber data sekunder meliputi studi literatur dari berbagai jurnal ilmiah, dokumentasi teknis atau datasheet dari komponen mikrokontroler dan sensor, serta temuan dari penelitian-penelitian relevan sebelumnya yang mendukung proses analisis dan pembahasan hasil.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui observasi. Pada penelitian ini menggunakan sistem mikrokontroler berbasis IoT untuk memonitoring kelembaban tanah pada tanaman cabai, tomat dan terong. Pengujian Sensor Waterproof & Anti-Karat, sensor Soil Moisture FC-28, dan sensor Capacitive Soil Moisture v1.2 untuk mengukur kelembaban tanah pada tanaman cabai, tomat dan terong [5]. Kemudian melakukan perbandingan nilai error antara Sensor Waterproof & Anti-Karat dengan sensor Soil Moisture FC-28 pada tanaman cabai, perbandingan nilai error antara Sensor Capacitive Soil Moisture v1.2 dengan Sensor

Waterproof & Anti-Karat pada tanaman tomat, dan melakukan perbandingan nilai error antara sensor Soil Moisture FC-28, dengan sensor Capacitive Soil Moisture v1.2 pada tanaman terong.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan 2 metode yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

1. Mean Absolute Error (MAE) : Ini adalah ukuran yang digunakan untuk menghitung perbedaan rata-rata absolut antara nilai referensi dan hasil pembacaan sensor.

Rumus MAE:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Keterangan :

- y_i = Nilai hasil pengukuran sensor
- \hat{y}_i = Nilai referensi
- n = Jumlah data

2. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) : Ini adalah ukuran yang digunakan untuk menghitung persentase kesalahan rata-rata.

Rumus MAPE:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right|$$

Keterangan :

- y_i = Nilai hasil pengukuran sensor
- Nilai referensi
- Jumlah data [6]

Alur Penelitian

Alur penelitian ini dirancang secara sistematis untuk memastikan proses yang terstruktur. Keseluruhan tahapan metodologis penelitian, mulai dari studi literatur hingga penarikan kesimpulan, diilustrasikan dalam bentuk diagram alir yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berikut penjelasan dari **Gambar 1** :

1. Studi Literatur

Penelitian diawali dengan tahap studi literatur yang mendalam. Pada fase ini, dilakukan pengumpulan dan analisis referensi dari berbagai sumber ilmiah seperti jurnal, prosiding

konferensi, buku, dan dokumentasi teknis. Tujuannya adalah untuk membangun landasan teoretis yang kuat, memahami penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, mengidentifikasi teknologi dan komponen yang paling sesuai (seperti mikrokontroler ESP32, platform ThingSpeak, dan jenis-jenis sensor), serta merumuskan hipotesis dan tujuan penelitian secara lebih tajam.

2. Perancangan dan Pemrograman Alat

Berdasarkan hasil studi literatur, penelitian dilanjutkan dengan tahap perancangan perangkat keras (hardware) dan pengembangan perangkat lunak (software). Tahap perancangan meliputi desain skematik rangkaian elektronik yang menghubungkan mikrokontroler ESP32 dengan ketiga sensor kelembaban tanah (Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat). Selanjutnya, pada tahap pemrograman, dilakukan penulisan kode untuk mikrokontroler ESP32 menggunakan bahasa pemrograman yang sesuai. Kode ini mencakup fungsi untuk membaca data dari setiap sensor, memprosesnya, serta mengirimkannya secara nirkabel ke platform IoT ThingSpeak untuk monitoring.

3. Pengujian dan Validasi Sistem

Setelah prototipe alat selesai dirakit dan diprogram, tahap selanjutnya adalah pengujian fungsional. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi apakah sistem dapat beroperasi sesuai dengan rancangan. Aspek yang diuji meliputi akurasi pembacaan awal sensor, konektivitas Wi-Fi, keberhasilan pengiriman data ke server, dan stabilitas operasional sistem secara keseluruhan. Pada diagram alir, tahap ini direpresentasikan oleh sebuah blok keputusan ("berhasil?"). Proses ini bersifat iteratif; jika ditemukan kesalahan atau kegagalan fungsi ("tidak"), maka proses akan kembali ke tahap pemrograman untuk dilakukan perbaikan kode (debugging) dan penyesuaian. Siklus pengujian dan perbaikan ini diulang hingga sistem dinyatakan berhasil, stabil, dan siap untuk digunakan dalam pengumpulan data.

4. Pengumpulan dan Analisis Data

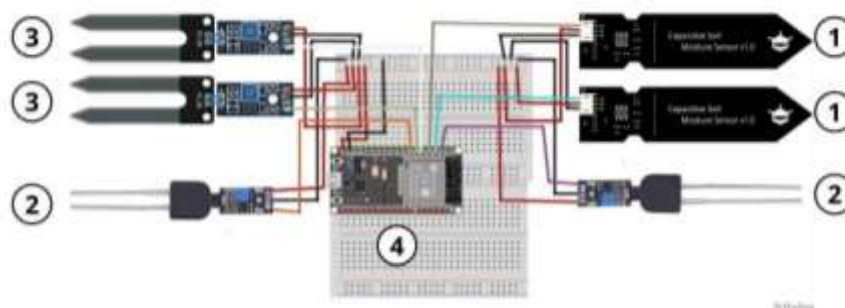
Setelah prototipe divalidasi dan dinyatakan berhasil ("iya"), penelitian memasuki tahap utama yaitu pengumpulan data. Alat monitoring ditempatkan pada media tanam di polybag sesuai dengan rancangan eksperimen. Selama periode waktu yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis mencatat dan mengirimkan data kelembaban tanah dari ketiga sensor. Data primer yang terkumpul di platform ThingSpeak kemudian diunduh untuk memasuki tahap analisis data. Pada tahap analisis, data akan diolah, dibandingkan, dan dianalisis secara statistik untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja ketiga sensor berdasarkan parameter yang telah ditetapkan, seperti akurasi, presisi, dan konsistensi pembacaan.

5. Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir dari metodologi ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis data. Kesimpulan akan menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian, terutama mengenai perbandingan efektivitas dan akurasi dari ketiga sensor yang diuji. Hasil dari tahap ini akan menjadi inti dari bagian pembahasan dan kesimpulan dalam jurnal ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan dan membahas temuan dari implementasi sistem monitoring kelembaban tanah berbasis IoT yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja tiga jenis sensor. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa prototipe sistem yang dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 mampu beroperasi secara stabil dan mengirimkan data secara konsisten. Analisis kuantitatif selanjutnya difokuskan pada data komparatif dari Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat. Hasil perbandingan disajikan dalam bentuk grafik visual dan analisis statistik untuk menilai akurasi, presisi, dan reliabilitas setiap sensor dalam kondisi operasional.



Gambar 2. Rangkaian Fisik Sistem Monitoring Kelembapan

Gambar 2 menggambarkan diagram skematik perancangan perangkat keras untuk sistem monitoring kelembaban tanah. Sistem ini berpusat pada mikrokontroler ESP32 (4) yang berfungsi sebagai unit pemrosesan utama dan komunikasi data nirkabel. Tiga jenis sensor yang menjadi objek studi—Sensor Kelembaban Tanah Kapasitif v1.0 (1), Sensor Waterproof & Anti-Karat (2), dan Sensor Kelembaban Tanah FC-28 (3)—diintegrasikan ke dalam sistem dengan menghubungkan pin keluaran analog dari masing-masing modul ke pin Analog-to-Digital Converter (ADC) pada ESP32. Seluruh komponen, yang dirakit pada sebuah breadboard untuk kemudahan prototipe, mendapatkan catu daya (VCC dan GND) yang bersumber dari pin daya ESP32. Arsitektur ini dirancang secara spesifik untuk memungkinkan akuisisi data kelembaban dari ketiga sensor secara simultan, sehingga menjadi dasar yang valid untuk melakukan analisis perbandingan kinerja secara langsung dalam kondisi yang identik.

Tabel 1. Komponen – Komponen

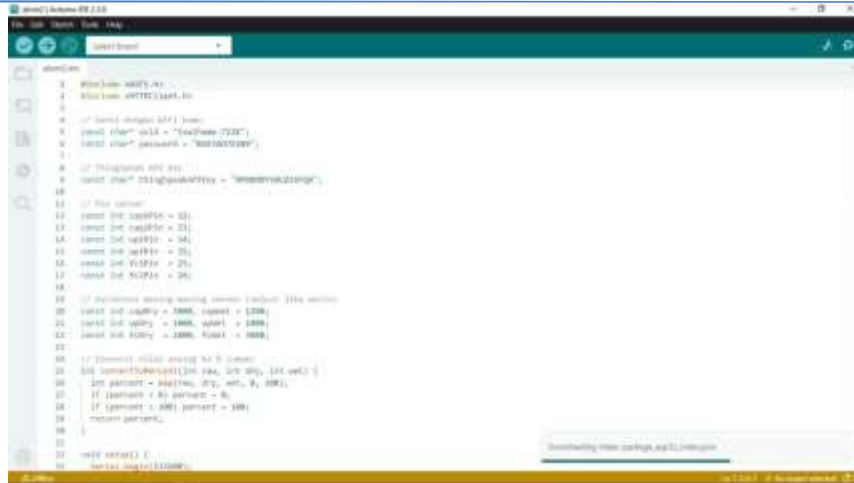
No	Komponen	Jumlah
1	<i>Capacitive Soil moisture sensor v1.2</i>	2
2	<i>Sensor waterproof & anti-karat</i>	2
3	<i>Soil moisture sensor FC-28</i>	2
4	<i>Mikroprosesor ESP32</i>	1
5	<i>Kabel jumper</i>	Secukupnya

Spesifikasi dan kuantitas komponen perangkat keras yang digunakan dalam perancangan sistem monitoring dirangkum pada **Tabel 1**. Komponen-komponen ini mencakup satu unit pemroses utama berupa Mikrokontroler ESP32, serta masing-masing dua unit dari tiga varian sensor kelembaban tanah yang dievaluasi, dan kabel jumper untuk interkoneksi.



Gambar 3. Prototipe Sistem Monitoring

Gambar 3 menunjukkan wujud akhir prototipe sistem monitoring yang telah dirakit dan ditempatkan di dalam sebuah kotak pelindung. Perangkat lunak (firmware) sistem ini dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk memprogram mikrokontroler ESP32. Logika program dirancang untuk secara sekuensial membaca data masukan dari Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Sensor Waterproof & Anti-karat, dan Soil Moisture Sensor FC-28. Setelah data dari ketiga sensor diperoleh, ESP32 mengirimkannya melalui jaringan internet ke platform ThingSpeak. Fungsionalitas ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan nilai kelembaban tanah secara real-time dan dari jarak jauh, yang merupakan esensi dari sistem berbasis IoT.



Gambar 4. Tampilan Data Pemograman

Gambar 4 menampilkan cuplikan kode program (firmware) yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE. Kode tersebut diawali dengan inisialisasi pustaka (library) yang esensial seperti WiFi.h untuk konektivitas internet dan HTTPClient.h untuk komunikasi data. Selanjutnya, didefinisikan variabel-variabel krusial, termasuk kredensial jaringan Wi-Fi (SSID dan kata sandi), API Key unik untuk platform ThingSpeak, serta penetapan pin GPIO untuk setiap sensor. Kode ini juga mencakup fungsi convertPercent() yang bertugas untuk mengkalibrasi dan mengubah nilai mentah (raw) dari sensor menjadi skala persentase (0-100%). Meskipun tidak ditampilkan seluruhnya, logika utama program akan secara periodik membaca data dari setiap sensor, memprosesnya dengan fungsi tersebut, dan mengirimkannya ke server ThingSpeak. Proses ini memungkinkan visualisasi dan pemantauan data kelembaban tanah secara real-time dan dari jarak jauh.



Gambar 5. Tampilan Monitoring Thingspeak

Gambar 5 menunjukkan dasbor monitoring pada platform ThingSpeak yang berfungsi sebagai antarmuka visualisasi data hasil pengujian. Pada tahap ini, kinerja ketiga jenis sensor—Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat—dievaluasi secara komparatif. Sistem secara otomatis mencatat data kelembaban tanah dari semua sensor dengan interval waktu setiap 15 menit, yang hasilnya ditampilkan secara real-time melalui widget gauge seperti terlihat pada gambar. Untuk menguji validitas dan akurasi, setiap data yang terekam oleh sistem IoT ini kemudian dibandingkan dengan nilai pengukuran dari sebuah soil tester digital yang digunakan sebagai nilai acuan. Analisis perbandingan dengan instrumen acuan ini menjadi tolok ukur utama dalam menentukan sensor mana yang memiliki kinerja paling akurat dan andal.



Gambar 6. Tahap Pengumpulan Data

Gambar 6 menampilkan pengaturan eksperimen pada tahap pengumpulan data, di mana prototipe sistem monitoring diuji secara langsung di lapangan. Probe dari ketiga jenis sensor yang dievaluasi ditempatkan pada media tanam (polybag) untuk memulai proses akuisisi data kelembaban tanah secara otomatis dengan interval perekaman setiap 15 menit. Sebagai bagian krusial dari prosedur validasi, dilakukan pengukuran pembandingan menggunakan sebuah soil tester digital komersial yang berfungsi sebagai instrumen acuan (ground truth). Pengukuran manual dengan alat acuan ini dilakukan pada waktu dan lokasi yang berdekatan dengan sensor IoT untuk memperoleh data pembandingan yang akurat. Kumpulan data dari kedua metode pengukuran ini (otomatis dari IoT dan manual dari alat acuan) menjadi dasar utama untuk analisis kuantitatif kinerja, akurasi, dan tingkat kesalahan (error rate) dari setiap sensor yang diuji.

Pembahasan

Hasil pengujian komparatif terhadap ketiga sensor disajikan pada **Tabel 2**. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat pada tiga media tanam yang berbeda, yaitu tomat, terong, dan cabai. Dalam setiap skenario pengujian, nilai kelembaban yang terukur oleh setiap sensor IoT dicatat dan divalidasi dengan membandingkannya terhadap nilai acuan dari soil moisture meter komersial. Tabel berikut merangkum perbandingan langsung antara nilai sensor dan nilai acuan untuk setiap kondisi tanaman.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Data Sensor

Sensor capacitive soil moistor sensor v1.2 terong 2	Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
68	Wet
74	Nor
75	Wet +
76	Nor
76	Wet +
77	Wet+
77	Wet
77	Wet+
78	Wet+
78	Wet+
Sensor capacitive soil moistor sensor v1.2 tomat 1	Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
78	Wet+
79	Wet+
81	Wet+
82	Wet+
84	Wet+
89	Wet+
92	Wet+
94	Wet+

	96	Wet+
	95	Wet+
Sensor waterproof & antikarat tanaman cabai 1		Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
	59	Wet+
	48	Nor
	46	Wet+
	54	Wet+
	56	Wet+
	53	Wet+
	56	Wet
	73	Wet+
	55	Wet+
	55	Wet+
Sensor waterproof & antikarat tanaman tomat 2		Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
	50	Dry
	61	Wet+
	55	Dry
	53	Dry
	49	Dry
	49	Dry
	60	Wet
	53	Wet
	51	Wet
	53	Nor
Sensor soil moistorture fc-28 tanaman cabai 1		Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
	40	Wet+
	50	Wet+
	56	Wet+
	58	Wet
	57	Wet+
	62	Wet+
	59	Wet+
	58	Wet+
	58	Wet+
	63	Wet
Sensor soil moistorture fc-28 tanaman terong 2		Nilai soil moisture meter (nilai acuan)
	34	Dry
	33	Wet
	35	Dry
	35	Dry
	38	Dry
	39	Nor
	43	Dry
	38	Dry
	39	Wet
	39	Dry

Tabel 3. Keterangan

Dry	0 – 20%	tanah sangat kering
Dry +	21-40%	Tanah kering, tapi sedikit lebih lembap
Nor	41-60%	Tanah normal/basah sedang
Wet	61-80%	Tanah basah
Wet+	81-100%	Tanah sangat basah

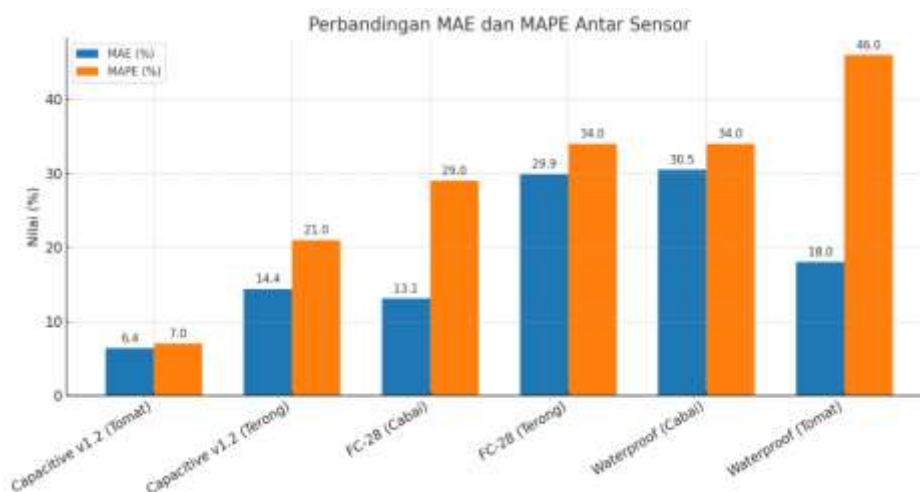
Berdasarkan data komparatif yang telah disajikan, analisis kuantitatif selanjutnya dilakukan untuk menentukan tingkat akurasi dan presisi dari masing-masing sensor. Dalam penelitian ini, metrik evaluasi yang digunakan adalah Mean Absolute Error (MAE) untuk mengukur rata-rata selisih absolut antara nilai sensor dan nilai acuan, serta Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk mengukur rata-rata persentase kesalahan [7]. Hasil perhitungan MAE dan MAPE untuk *Capacitive Soil Moisture Sensor*, *Sensor Waterproof & Anti-Karat*, dan *Soil Moisture Sensor FC-28* pada media tanam cabai, tomat, dan terong dirangkum pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Error (MAE dan MAPE)

Jenis Sensor	Tanaman	MAE (%)	MAPE (%)
Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 (1)	Tomat	6,4	7%
Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 (2)	Terong	14,4	21%
Soil Moisture Sensor FC-28 (1)	Cabai	13,1	29%
Soil Moisture Sensor FC-28 (2)	Terong	29,9	34%
Sensor Waterproof & Anti-Karat(1)	Cabai	30,5	34%
Sensor Waterproof & Anti-Karat(2)	Tomat	18	46%

Analisis kuantitatif berdasarkan data pada **Tabel 4** secara jelas menunjukkan hierarki kinerja yang signifikan di antara ketiga sensor yang diuji, dengan metrik MAE dan MAPE sebagai tolok ukur utama akurasi. Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 terbukti paling unggul, menampilkan tingkat kesalahan terendah dan paling konsisten, dengan performa puncaknya pada media tanam tomat (MAE 6,4%; MAPE 7%). Menyusul di posisi berikutnya, Soil Moisture Sensor FC-28 yang bersifat resistif menunjukkan tingkat kesalahan yang moderat namun tidak stabil, dengan nilai MAPE berkisar antara 29% hingga 34%, yang mengindikasikan sensitivitasnya terhadap kondisi media tanam serta potensi degradasi akibat korosi. Sementara itu, Sensor Waterproof & Anti-Karat menunjukkan akurasi terendah dengan tingkat kesalahan tertinggi, yang puncaknya mencapai MAPE sebesar 46% pada tanaman tomat. Temuan ini secara konklusif menegaskan bahwa teknologi sensor berbasis kapasitansi menawarkan reliabilitas dan akurasi yang jauh lebih superior untuk aplikasi monitoring kelembaban tanah, sehingga direkomendasikan sebagai pilihan utama untuk implementasi sistem IoT yang andal.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa Soil Moisture Sensor FC-28 memiliki akurasi tingkat menengah namun dengan stabilitas yang kurang konsisten; meskipun mencatatkan MAE 13,1% dan MAPE 29% pada tanaman cabai, tingkat kesalahannya melonjak signifikan pada tanaman terong (MAE 29,9%; MAPE 34%). Kinerja terendah ditunjukkan oleh Sensor Waterproof & Anti-Karat, yang secara konsisten menghasilkan tingkat galat (error) tertinggi, dengan puncaknya pada nilai MAPE 46% pada tanaman tomat. Dengan demikian, hasil penelitian ini secara konklusif menegaskan bahwa Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 adalah sensor yang paling akurat dan direkomendasikan untuk aplikasi monitoring kelembaban tanah berbasis IoT. Sebagai bukti visual dari perbedaan kinerja ini, **Gambar 7** menampilkan grafik perbandingan tren pembacaan data kelembaban dari ketiga sensor pada tanaman cabai, tomat, dan terong, yang mengilustrasikan fluktuasi dan konsistensi masing-masing sensor dari waktu ke waktu.



Gambar 7. Grafik Perbandingan

Gambar 7 secara visual merangkum hasil analisis komparatif kinerja sensor melalui metrik MAE dan MAPE. Grafik tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2 memiliki akurasi tertinggi, terutama pada pengujian di media tanam tomat yang menghasilkan nilai MAE 6,4% dan MAPE 7%. Kinerja sensor FC-28 dapat diklasifikasikan pada tingkat menengah, dengan tingkat kesalahan yang cukup signifikan dan bervariasi antar pengujian. Sementara itu, sensor Waterproof menunjukkan tingkat kesalahan paling tinggi di antara ketiganya, dengan puncak MAPE mencapai 46% pada tanaman tomat. Visualisasi ini mengonfirmasi temuan kuantitatif sebelumnya bahwa sensor kapasitif

menawarkan reliabilitas yang jauh lebih superior, sedangkan sensor Waterproof memiliki tingkat akurasi terendah dan kurang direkomendasikan untuk implementasi sistem monitoring presisi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuannya untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sistem monitoring kelembaban tanah berbasis IoT, dengan fokus pada perbandingan kinerja tiga sensor: Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2, Soil Moisture Sensor FC-28, dan Sensor Waterproof & Anti-Karat. Hasil analisis data menunjukkan adanya perbedaan performa yang signifikan di antara ketiganya. Sensor berbasis teknologi kapasitif (Capacitive v1.2) secara konsisten memberikan hasil paling akurat dan andal, dengan nilai MAE dan MAPE terendah di semua skenario pengujian. Sebaliknya, sensor resistif (FC-28) menunjukkan akurasi yang moderat namun tidak stabil, dan Sensor Waterproof menunjukkan tingkat kesalahan tertinggi sehingga tidak direkomendasikan untuk pengukuran presisi. Temuan ini memberikan implikasi praktis yang penting bagi pengembangan sistem IoT di bidang pertanian, yaitu bahwa pemilihan jenis sensor merupakan faktor krusial yang menentukan validitas data. Untuk pengembangan di masa depan, penelitian dapat difokuskan pada pengujian sensor dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk mengevaluasi durabilitas dan pengaruh faktor lingkungan lainnya.

5. Referensi

- [1] Akbar, A. (2023). Implementasi Internet of Things untuk monitoring kelembaban tanah menggunakan mikrokontroler. *Jurnal Kecerdasan Buatan dan Teknologi Informasi*, 2(2), 91–97.
- [2] Daniel, R., Utomo, A. D., & Setyoko, Y. A. (2022). Berencana membangun alat pemantau kelembaban, pH tanah dan pompa otomatis pada tanaman tomat dan cabai. *LEDGER: Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, 1(4), 161–170.
- [3] Effendi, N., Handoko, D., Azim, F., & Farida, F. (2024). Perancangan sistem pemantauan kelembaban tanah pembibitan kelapa sawit berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 5(2), 358–366.
- [4] Hilman, A., Wijaya, D. P., Saidi, B., Budiyo, A., & Adinandra, S. (2022). Sistem monitoring kelembaban tanah pada tanaman tebu (MONTABU) berbasis IoT. *AJIE (Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship)*, 7(1), 1–13.
- [5] Junaidi, J., & Ramadhani, K. (2024). Efektivitas Internet of Things (IoT) pada sektor pertanian. *Jurnal Teknisi*, 4(1), 12–15.
- [6] Khairunisa, N., Sunardi, H., & Antony, F. (2024). Implementasi sistem alarm dan monitoring kelembaban tanah dan suhu terhadap tanaman cabai berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan logika fuzzy. *Journal of Intelligent Networks and IoT Global*, 2(1), 18–29.
- [7] Kushwaha, Y. K., Panigrahi, R. K., & Pandey, A. (2024). Performance analysis of capacitive soil moisture, temperature sensors and their applications at farmer's field. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(9), 793.
- [8] Mukhayat, N., Ciptadi, P. W., & Hardyanto, R. H. (2021, Mei). Sistem monitoring pH tanah, intensitas cahaya dan kelembaban pada tanaman cabai (Smart Garden) berbasis IoT. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Dinamika Informatika (Vol. 5, No. 1)*.
- [9] Mansa, J. W., Kainde, Q. C., & Sangkop, F. I. (2022). Sistem monitor kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT). *JOINTER: Journal of Informatics Engineering*, 3(1), 17–21.
- [10] ProboRetno, D. S., Hirzan, A. M., & File, N. J. F. (2023). Implementasi sistem pengairan otomatis tanaman terong berbasis Internet of Things dan Telegram bot. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 2(2), 55–63.
- [11] Saputra, M. J., & Suryono, R. R. (2025). Implementasi teknologi irigasi tetes pada tanaman jagung menggunakan sensor soil moisture dan mikrokontroler ESP32. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 111–118.
- [12] Putra, I. G. A. A., Ginarsa, I. M., & Dwijanatha, I. M. O. (2021). "Studi Komparasi Sensor Kelembaban Tanah Resistif dan Kapasitif Berbasis Arduino Uno." *Jurnal SPEKTRUM*, 8(2), 70–75.
- [13] Hariono, T., Zulfikar, & Pradana, M. R. P. (2024). "Perancangan Monitoring pH, Kelembaban dan Suhu pada Tanah Berbasis IoT ESP32." *Jurnal Cybernetic Inovatif*, 8(8), 1-14.
- [14] Setiawan, M. I., & Wulandari, S. (2023). "Implementasi Internet of Things (IoT) Pada Sistem Otomatisasi Penyiraman Tanaman Berbasis Mobile." *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 5(3), 149-161.

-
- [15] Restu, R., & Rahmatiani, L. (2023). "Alat Sensor Pendeteksi Kelembaban Tanah Berbasis Arduino Uno." *Abdima Jurnal Pengabdian Mahasiswa*, 1(4), 8788-8793.
- [16] Akbar, A. (2023). "Implementasi Internet of Things untuk Monitoring Kelembapan Tanah Menggunakan Mikrokontroler." *Jurnal Kecerdasan Buatan dan Teknologi Informasi*, 2(2), 91–97.