

# Pengujian dan Evaluasi Sistem Penyiraman Pintar Berbasis IoT untuk Monitoring Kelembapan Tanah

## *Testing and Evaluation of an IoT-Based Smart Irrigation System for Soil Moisture Monitoring*

Yahya Zakaria <sup>\*1</sup>, Imam Husen Al Munawaroh <sup>2</sup>, Siti Nurul Widyaningsih <sup>3</sup>, Erwin Apriliyanto <sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Komputer, Universitas Muhammadiyah Karanganyar

<sup>1</sup>yahyazak30@gmail.com, <sup>2</sup>ihusen826@gmail.com, <sup>3</sup>nurulsiti552@gmail.com,  
<sup>4</sup>itanalisterwin@gmail.com

Received: January 03, 2026 | Revised: January 16, 2026 | Accepted: February 25, 2026

### Abstrak

Penyiraman tanaman manual sering kali tidak mempertimbangkan kondisi kelembapan tanah secara real-time, sehingga berpotensi menyebabkan inefisiensi penggunaan air. Penelitian ini menyajikan evaluasi kinerja sistem penyiraman pintar berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 untuk pemantauan kelembapan tanah dan pengendalian penyiraman otomatis maupun manual. Sistem dikembangkan dengan integrasi sensor kelembapan tanah dan platform IoT untuk mendukung monitoring jarak jauh. Pengujian eksperimental menunjukkan rata-rata delay komunikasi sebesar 1,8 detik serta aktivasi penyiraman otomatis berdasarkan ambang batas kelembapan tanah, yaitu 20 detik pada kondisi sangat kering ( $\leq 20\%$ ), 15 detik pada kondisi kering (21–40%), dan 5–10 detik pada kondisi lembab (41–59%), serta penghentian penyiraman pada kondisi basah ( $\geq 60\%$ ). Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menyediakan kontrol irigasi real-time yang responsif dan konsisten. Namun, pengujian dilakukan pada skala terbatas dan belum mencakup validasi lapangan jangka panjang, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk menguji skalabilitas dan analisis komparatif kinerja dengan sistem lain. Secara akademik, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model evaluasi kinerja sistem irigasi pintar berbasis IoT dengan pendekatan ambang batas adaptif.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), ESP32, penyiraman otomatis, kelembapan tanah, aplikasi mobile

### Abstract

Manual plant watering often does not consider real-time soil moisture conditions, which can lead to inefficient water usage. This study presents a performance evaluation of an Internet of Things (IoT)-based smart irrigation system using ESP32 for soil moisture monitoring and both automatic and manual watering control. The system was developed by integrating a soil moisture sensor with an IoT platform to support remote monitoring. Experimental testing showed an average communication delay of 1.8 seconds and automatic irrigation activation based on soil moisture thresholds: 20 seconds under very dry conditions ( $\leq 20\%$ ), 15 seconds under dry conditions (21–40%), and 5–10 seconds under moist conditions (41–59%), with irrigation stopping under wet conditions ( $\geq 60\%$ ). These results indicate that the system can provide responsive and consistent real-time irrigation control. However, the testing was conducted on a limited scale and did not include long-term field validation, so further research is needed to evaluate scalability and conduct comparative performance analysis with other systems. Academically, this study contributes to the development of a performance evaluation model for IoT-based smart irrigation systems using an adaptive threshold approach.

*Keywords: Internet of Things (IoT), ESP32, automatic watering system, soil moisture, mobile application*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong transformasi berbagai sektor, termasuk pertanian modern, melalui kemampuan perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara real-time. Dalam konteks pertanian, penerapan IoT pada sistem irigasi menjadi pendekatan strategis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan [1]. Dalam dunia pertanian, khususnya pada pengelolaan air untuk tanaman, efisiensi air merupakan isu global karena penyiraman manual masih umum dilakukan dan sering tidak mempertimbangkan kondisi kelembapan tanah aktual, sehingga berpotensi menimbulkan pemborosan air dan distribusi irigasi yang tidak optimal [2]. Selain itu, tidak semua pengguna memiliki waktu untuk memantau kondisi tanaman setiap hari, terlebih lagi bagi mereka yang memiliki aktivitas lain atau lahan yang cukup luas. Kondisi ini mendorong perlunya sistem penyiraman otomatis yang mampu bekerja secara mandiri dengan memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan koneksi internet. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa integrasi IoT dan kecerdasan buatan mampu meningkatkan efisiensi sistem monitoring dan kontrol [3][4]. Studi sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler dan sensor tanah. Misalnya, integrasi ESP32 dengan sensor kelembapan tanah pada tanaman anggrek meningkatkan efisiensi air hingga 20% dengan akurasi 92,5% [1]. Penelitian lain menggunakan ESP32, YL69, dan DS18B20 untuk irigasi tetes tanaman terong menunjukkan akurasi sensor kelembapan 98,2% dan suhu 99,4%, tetapi pengujian masih terbatas pada media polybag selama 6 hari [2]. Penelitian [5] mengembangkan sistem drip irrigation berbasis multi-sensor dengan respons kurang dari dua detik dan efisiensi air meningkat 30%, namun masih terbatas pada satu jenis tanaman dan belum mengevaluasi ketahanan perangkat luar ruang. Sementara itu, sistem monitoring berbasis ESP8266 hanya menyediakan fungsi pemantauan tanpa kendali otomatis [6]. Sistem lain menggabungkan sensor kelembapan dan hujan untuk penyiraman bayam dengan keberhasilan 94,09% dan 83,97%, tetapi menghadapi kendala korosi sensor serta belum menyediakan fitur penjadwalan [7]. Pendekatan yang lebih kompleks juga telah dikembangkan, seperti prototipe irigasi cerdas berbasis multiparameter sensor, Raspberry Pi, CNN, dan panel surya [8], serta arsitektur IoT berbasis cloud dengan telemetry dan automasi threshold [9]. Walaupun menawarkan fitur lengkap, solusi tersebut cenderung memiliki kompleksitas tinggi, ketergantungan konektivitas, serta biaya implementasi besar sehingga kurang sesuai untuk skala kecil. Kajian sistematis menunjukkan bahwa sistem irigasi fotovoltaik mampu mencapai efisiensi energi 90–95%, tetapi masih menghadapi tantangan biaya awal, kompleksitas instalasi, keterbatasan jaringan, dan keamanan data IoT [10]. Penelitian lain menegaskan bahwa sistem penyiraman berbasis kelembapan tanah dapat berjalan baik, namun ketergantungan internet dan perawatan sensor masih menjadi kendala utama [11], sedangkan integrasi parameter waktu dan kelembapan meningkatkan efisiensi tetapi belum mempertimbangkan variabel lingkungan secara komprehensif [12].

Berdasarkan kajian kritis tersebut, penelitian-penelitian terkini cenderung berfokus pada peningkatan fitur atau kompleksitas sistem, tetapi masih menyisakan celah pada aspek kesederhanaan arsitektur, fleksibilitas kendali saat sensor gagal, serta evaluasi performa sistem sederhana yang tetap adaptif. Sebagian besar studi menitikberatkan implementasi perangkat keras atau akurasi sensor tanpa membahas strategi desain minimalis yang tetap mempertahankan reliabilitas operasional dan kemudahan penggunaan. Selain itu, fitur manual override berbasis aplikasi yang penting untuk menjaga fleksibilitas sistem masih jarang diintegrasikan secara sistematis. Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem penyiraman pintar berbasis ESP32 yang mengombinasikan kontrol otomatis berbasis ambang kelembapan tanah

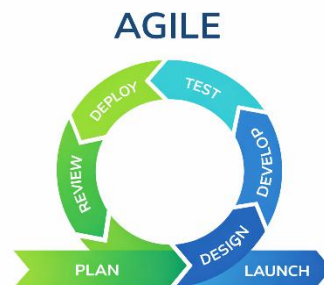
dengan mode manual jarak jauh melalui integrasi platform IoT dan aplikasi mobile. Pendekatan metodologis penelitian ini menekankan desain arsitektur minimalis dengan pompa DC tanpa solenoid valve untuk menyederhanakan sistem sekaligus mempertahankan fungsionalitas kontrol. Sistem dilengkapi indikator status aktuator dan mekanisme kendali ganda guna meningkatkan keandalan operasional. Kontribusi utama penelitian ini tidak hanya pada implementasi sistem, tetapi juga pada evaluasi kinerja empiris arsitektur IoT sederhana yang adaptif dan fleksibel, sehingga relevan sebagai model solusi irigasi cerdas skala kecil yang mendukung efisiensi air dan praktik pertanian berkelanjutan. Selain menggunakan platform Blynk sebagai media monitoring dan kontrol, penelitian ini juga mengembangkan aplikasi mobile mandiri sebagai antarmuka alternatif. Aplikasi tersebut memungkinkan pengguna memantau kelembapan tanah, status pompa, serta melakukan penyiraman manual melalui integrasi API, sehingga sistem tidak bergantung pada satu platform dan memiliki fleksibilitas operasional yang lebih tinggi.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Metode Pengembangan Sistem

#### 2.1.1. Metode Agile

Metode Agile dipilih dalam penelitian ini karena karakteristik pengembangan sistem Internet of Things (IoT) bersifat eksperimental, iteratif, dan membutuhkan penyesuaian parameter secara berulang, khususnya pada tahap integrasi sensor, mikrokontroler, aktuator, serta aplikasi mobile. Pendekatan ini memungkinkan pengujian dan evaluasi dilakukan pada setiap iterasi sehingga kesalahan sistem dapat dideteksi lebih awal dan diperbaiki sebelum tahap berikutnya. Agile dirancang untuk mendukung pengembangan ide secara cepat sebagai respons terhadap perubahan kebutuhan yang dapat terjadi dalam waktu relatif singkat. Prinsip utama dari metode Agile adalah menekankan kerja sama tim serta fokus pada pengembangan aplikasi secara berkelanjutan [13].



Gambar 1. Metode Agile

Selain itu, metode Agile juga mendukung proses pengembangan bertahap yang menekankan kecepatan pengembangan, pengurangan beban dokumentasi yang berlebihan, serta menghasilkan kode perangkat lunak yang berkualitas tinggi. Dibandingkan metode waterfall yang bersifat linear dan sulit mengakomodasi perubahan desain perangkat keras maupun perangkat lunak, Agile lebih sesuai untuk penelitian IoT yang membutuhkan fleksibilitas pengembangan. Metode prototyping memang mendukung eksplorasi desain awal, tetapi tidak menyediakan siklus evaluasi berulang yang sistematis seperti sprint pada Agile. Selama tahap pengembangan, perangkat lunak dikembangkan dengan melibatkan interaksi berkelanjutan antara pengembang dan pengguna untuk memastikan kesesuaian kebutuhan [14]. Dalam konteks pengembangan aplikasi mobile pemantauan suhu, metodologi Agile menekankan proses iteratif dan inkremental

yang dijalankan oleh individu-individu yang bekerja secara mandiri namun tetap berkolaborasi dalam satu tim. Metode agile digunakan dalam penelitian ini karena memiliki pendekatan yang sistematis dan terstruktur, yang sangat sesuai untuk mengembangkan sistem berbasis internet of things (IoT) untuk penyiraman yang menggunakan aplikasi mobile. Metode Agile dalam penelitian ini diterapkan secara iteratif dan inkremental melalui tahapan perencanaan, desain sistem, implementasi, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan. Setiap tahapan dapat diulang apabila ditemukan ketidaksesuaian fungsi atau performa sistem, sehingga risiko kesalahan desain dapat diminimalkan sejak tahap awal pengembangan [15].

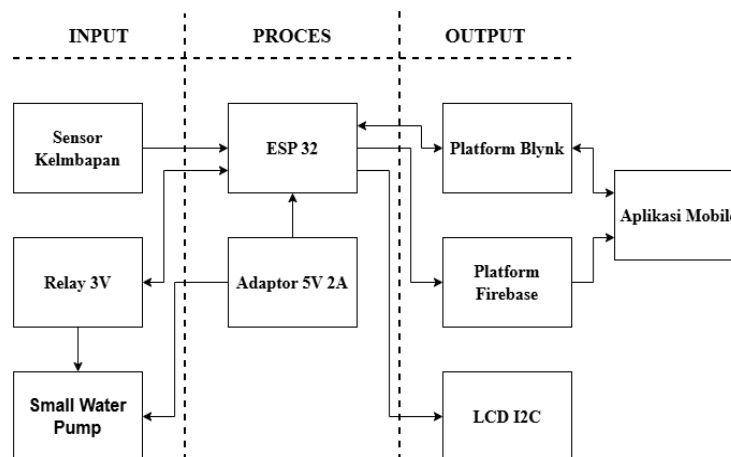
### 2.1.2 Pemilihan Komponen Perangkat Keras

Pemilihan komponen perangkat keras dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengoptimalkan penyiraman pintar dengan memanfaatkan teknologi sensor dan mikrokontroler. Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban di dalam tanah, sehingga penyiraman dapat disesuaikan secara efektif berdasarkan kebutuhan penyiraman [16], [17], [18]. ESP32 memiliki modul Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, sehingga mendukung konektivitas nirkabel tanpa memerlukan perangkat tambahan seperti modul ESP8266. Selain itu, ESP32 memiliki kecepatan prosesor yang lebih tinggi dan kapasitas memori yang lebih besar, memungkinkan pengolahan data lebih kompleks serta lebih hemat biaya dan energi dibandingkan Arduino Uno dan Raspberry Pi [19]. Penggunaan ESP32 juga memungkinkan sistem irigasi terhubung dengan aplikasi IoT, sehingga mempermudah pemantauan dan pengelolaan jarak jauh melalui aplikasi mobile. Aplikasi mobile dirancang khusus untuk Internet of Things (IoT) yang dihubungkan oleh API dari platform Blynk dengan fitur bawaan untuk analisis dan visualisasi data waktu nyata, seperti grafik waktu dan rata-rata data [20]. Firebase, meskipun kuat, lebih kompleks dan memerlukan pengaturan tambahan untuk analitik IoT, namun telah banyak digunakan pada sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things untuk pemantauan dan penyimpanan data kelembaban tanah secara real-time [21]. Kombinasi perangkat keras ini dipilih karena keandalannya, biaya yang terjangkau, serta kompatibilitasnya dengan sistem IoT untuk mengoptimalkan sistem penyiraman.

### 2.1.3 Diagram Alur Sistem

Diagram alur sistem menggambarkan interaksi antara komponen-komponen utama, mulai dari sensor hingga platform pemantauan. Alur sistem adalah sebagai berikut :

1. Sensor Soil Moisture mendeteksi data lingkungan yaitu kelembaban tanah.
2. Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses.
3. Hasil pemrosesan ditampilkan secara langsung pada layar LCD 16x2 I2C untuk monitoring lokal.
4. ESP32 mengirimkan data ke platform blynk dan firebase melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan jarak jauh dan menyimpan record secara realtime.
5. Berdasarkan data kelembaban tanah, mikrokontroler dilanjutkan ke aplikasi mobile untuk di tampilkan dan dapat mengontrol hidup mati small waterpump untuk penyiraman.



Gambar 2. Diagram Alur Sistem

#### 2.1.4 Tahapan Eksperimen Sistem

Prosedur eksperimen dilakukan secara terstruktur agar dapat direplikasi, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perancangan arsitektur sistem
2. Perakitan perangkat keras
3. Integrasi perangkat lunak dan konektivitas jaringan
4. Kalibrasi sensor kelembapan tanah
5. Pengujian komunikasi data
6. Pengujian aktuator pompa air
7. Pengujian sistem terintegrasi
8. Pengambilan dan analisis data performa

#### 2.1.5 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi pembacaan kelembapan tanah. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor terhadap nilai referensi pada beberapa kondisi kelembapan tanah yang berbeda. Setiap kondisi diuji berulang sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai rata-rata dan meminimalkan kesalahan pengukuran. Persentase error dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Referensi}}{\text{Nilai Referensi}} \times 100\%$$

Prosedur ini dilakukan untuk mengurangi bias pembacaan sensor akibat variasi karakteristik tanah maupun kondisi lingkungan.

#### 2.1.6 Lingkungan Pengujian

Pengujian sistem dilakukan pada skala penggunaan kecil dengan media tanah tanam umum bercampur sekam padi yang digunakan untuk tanaman pot. Pengujian dilaksanakan pada kondisi lingkungan terbuka dengan variasi tingkat kelembapan tanah yang disimulasikan melalui penambahan air secara bertahap. Parameter lingkungan yang diperhatikan meliputi kondisi tanah, suhu sekitar, dan kestabilan jaringan Wi-Fi. Pengujian dilakukan dalam beberapa sesi untuk memastikan konsistensi kinerja sistem pada kondisi yang berbeda.

#### 2.1.7 Pengujian Reliabilitas Sistem

Untuk memastikan reliabilitas sistem, setiap skenario pengujian dilakukan berulang sebanyak beberapa kali. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan nilai rata-rata dan

simpangan sederhana guna melihat kestabilan respon sistem. Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya bekerja pada satu kondisi uji, tetapi juga konsisten pada kondisi berbeda.

#### 2.1.8 Aspek Keamanan Data dan Ketergantungan Jaringan

Karena sistem menggunakan komunikasi berbasis internet melalui platform cloud, maka aspek keamanan dan kestabilan jaringan menjadi bagian dari metode evaluasi. Sistem diuji pada kondisi koneksi stabil untuk mengamati respons pengiriman data. Selain itu, penggunaan autentikasi akun pada platform aplikasi mobile IoT berfungsi sebagai mekanisme pengamanan akses data agar hanya akun yang terdaftar yang memiliki akses kontrol. Evaluasi ini dilakukan untuk mengidentifikasi potensi keterbatasan sistem terkait ketergantungan jaringan dan keamanan komunikasi data.

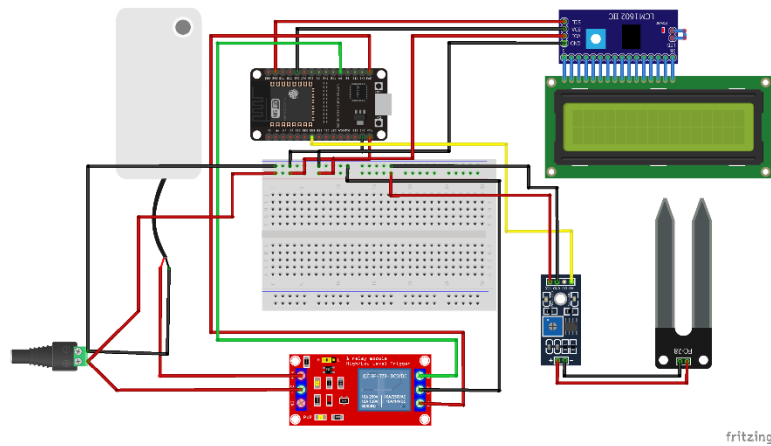
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Perencanaan Sprint Pengembangan Sistem

Sprint merupakan inti dari metode Scrum yang digunakan sebagai satuan kerja dalam pengembangan sistem secara iteratif. Pada penelitian ini, sprint menjadi dasar dalam tahap perencanaan pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT [22]. Pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada penelitian ini menerapkan metode Agile, yang menekankan proses pengembangan secara iteratif dan inkremental melalui beberapa sprint. Setiap sprint dirancang untuk menghasilkan peningkatan fungsionalitas sistem yang dapat langsung diuji dan dievaluasi. Pada tahap perencanaan, kebutuhan sistem diklasifikasikan menjadi beberapa backlog utama, yaitu: (1) akuisisi data kelembapan tanah menggunakan sensor soil moisture, (2) pengolahan dan pengiriman data oleh ESP32, (3) penyimpanan data ke database Firebase sebagai histori kelembapan tanah, (4) penampilan informasi kelembapan pada LCD I2C, (5) integrasi dengan platform Blynk melalui Application Programming Interface (API), serta (6) pengembangan aplikasi mobile berbasis Flutter untuk monitoring dan kontrol otomatis penyiraman. Berdasarkan backlog tersebut, pengembangan sistem dibagi ke dalam beberapa sprint, dengan durasi setiap sprint disesuaikan dengan kompleksitas modul yang dikembangkan. Setiap sprint memiliki tujuan spesifik dan keluaran yang terukur, sehingga kemajuan sistem dapat dipantau secara berkelanjutan.

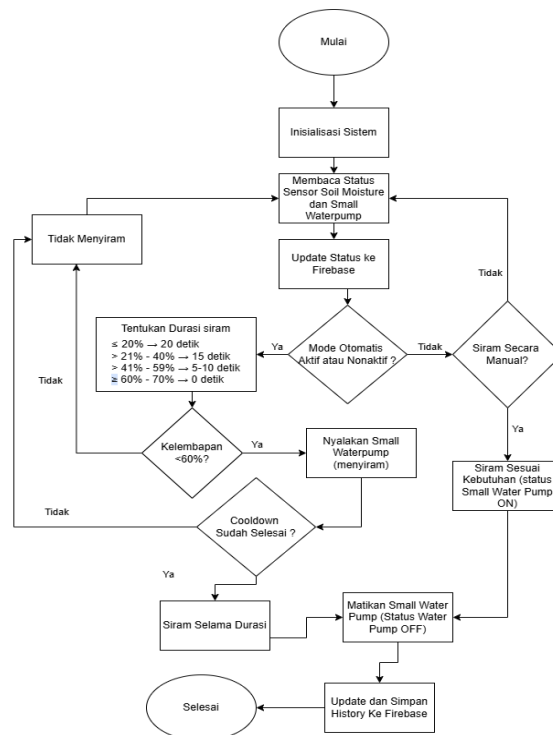
#### 3.2 Implementasi Sistem pada Setiap Sprint

Implementasi sistem dilakukan secara bertahap sesuai dengan perencanaan sprint yang telah ditetapkan. Dilakukan perancangan alat seperti gambar 3 memperlihatkan arsitektur sistem penyiraman pintar berbasis Internet of Things yang dikembangkan pada penelitian ini. Sistem terdiri dari sensor soil moisture sebagai perangkat input, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, serta aktuator berupa relay dan pompa air. Selain itu, sistem terintegrasi dengan platform Blynk dan database Firebase sebagai media monitoring, kontrol, dan penyimpanan data secara real-time, serta aplikasi mobile sebagai antarmuka pengguna.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Penyiraman Pintar Berbasis IoT

Sprint pertama difokuskan pada pengembangan modul akuisisi data kelembapan tanah. Sensor soil moisture diintegrasikan dengan ESP32 untuk membaca nilai kelembapan tanah dalam bentuk data analog. Data tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai persentase kelembapan tanah agar lebih mudah dipahami dan dianalisis yang digambarkan alur sistem dari kerja alat pada gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Alur Sistem

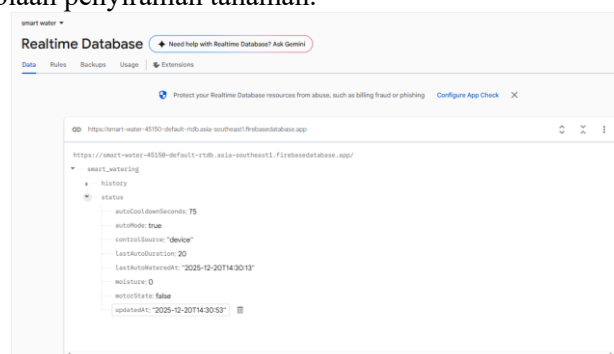
Sprint kedua berfokus pada pengolahan dan visualisasi data secara lokal. ESP32 diprogram untuk menampilkan nilai persentase kelembapan tanah pada LCD I2C. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat memberikan informasi secara langsung tanpa

bergantung pada koneksi internet. Gambar 5 menampilkan hasil visualisasi data kelembapan tanah pada LCD I2C. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai persentase kelembapan. Tampilan ini berfungsi sebagai monitoring lokal sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi tanah secara langsung tanpa harus mengakses aplikasi mobile atau koneksi internet.



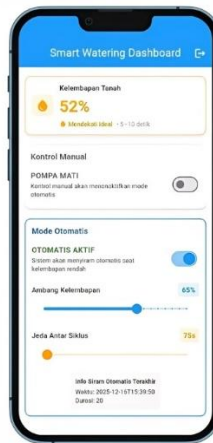
Gambar 5. Tampilan LCD

Sprint ketiga mencakup integrasi sistem dengan database Firebase. Data kelembapan tanah yang diterima ESP32 dikirim dan disimpan ke Firebase secara real-time, sejalan dengan penerapan sistem irigasi pintar berbasis IoT yang memanfaatkan Firebase sebagai media penyimpanan dan monitoring data [21]. Penyimpanan ini berfungsi sebagai histori data yang dapat digunakan untuk analisis kondisi tanah dalam jangka waktu tertentu. Gambar 6 menunjukkan tampilan Realtime Database Firebase yang digunakan sebagai media penyimpanan dan pengelolaan data pada sistem penyiraman pintar berbasis Internet of Things (IoT). Database ini menyimpan data hasil pembacaan sensor kelembapan tanah yang dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 secara real-time melalui koneksi internet. Data yang tersimpan pada Firebase meliputi nilai kelembapan tanah, status pompa air (aktif atau nonaktif), mode penyiraman, serta informasi waktu pembaruan data terakhir. Penggunaan Realtime Database memungkinkan sistem untuk melakukan sinkronisasi data secara langsung antara perangkat keras dan aplikasi mobile, sehingga perubahan data dapat dipantau secara cepat dan akurat oleh pengguna. Selain berfungsi sebagai media penyimpanan data historis, Firebase juga berperan dalam mendukung proses monitoring dan kontrol sistem secara jarak jauh. Dengan adanya pencatatan data secara berkelanjutan, pengguna dapat melakukan evaluasi terhadap kondisi tanah dan kinerja sistem penyiraman, sehingga dapat membantu pengambilan keputusan yang lebih efektif dalam pengelolaan penyiraman tanaman.



Gambar 6. History Record Database Firebase

Sprint keempat difokuskan pada integrasi dengan platform Blynk menggunakan API. ESP32 mengirimkan data kelembapan tanah ke server Blynk, yang selanjutnya diteruskan ke aplikasi mobile berbasis Flutter. Pada tahap ini, komunikasi dua arah juga dikembangkan untuk mendukung kontrol otomatis sistem penyiraman. Pada gambar 7 adalah aplikasi mobile berbasis flutter yang di gunakan untuk memantau kondisi kelembapan tanah dan mengontrol penyiraman small water pump secara otomatis maupun secara manual. Pada bagian otomatisasi dapat di sesuaikan dengan durasi siklus penyiraman otomatisasi (dalam waktu satuan detik) dan penetapan batas ambang penyiraman untuk tolak ukur penyiraman secara otomatis.



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Mobile

Sprint kelima merupakan tahap implementasi aktuator dan logika otomatisasi. Relay dikendalikan oleh ESP32 untuk mengaktifkan pompa air ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas persentase yang telah ditentukan. Setelah penyiraman dilakukan dan kelembapan tanah meningkat hingga nilai yang ditetapkan, relay secara otomatis akan mematikan pompa air berikut adalah logika program otomatisasi pada gambar 8.

```
1 if (autoWatering && autoWatering) {  
2   unsigned long dur = millis();  
3   if (value == autoWatering) {  
4     if (dur > 0) {  
5       // mulai auto watering (non blocking)  
6       digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // nyalakan motor (aktif LOW)  
7       led.setLedOn(1);  
8       led.print("Motor is ON.");  
9       autoWatering = true;  
10      digitalWrite = millis() - ((unsigned long)dur * 2000);  
11      lastAutoWatering = millis();  
12    }  
13    // Simpan ke DB: history dan status.lastAutoWatering  
14    saveCurrentStatus(value, true);  
15    // Simpan status/history juga  
16    saveCurrentStatus(value, true);  
17  }  
18  // Jika dur == 0, berarti tidak perlu siram otomatis untuk range ini  
19  }  
20  }  
21  }  
22  }  
23  }  
24  if (autoWatering) {  
25    if (millis() > autoWatering) {  
26      autoWatering = false;  
27      digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // matikan motor  
28      led.setLedOff(1);  
29      led.print("Motor is OFF.");  
30      // simpan status selesai  
31      saveCurrentStatus(value, false);  
32      saveHistory(value, false, "auto_watering", 0);  
33    }  
34  }  
35  // Simpan status & history default: periodik  
36  saveCurrentStatus(value, autoWatering);  
37  saveHistory(value, autoWatering);  
38  }  
39  }
```

Gambar 8. Logika Otomatisasi

### 3.3 Hasil Pengujian dan Evaluasi Sprint

Pengujian dilakukan pada akhir setiap sprint untuk memastikan bahwa fungsi yang dikembangkan berjalan sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada sprint pertama, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor soil moisture mampu mendeteksi perubahan kelembapan tanah dengan baik dan data dapat dibaca secara stabil oleh ESP32.

Tabel 1. Data Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

No	Delay(Detik)	Nilai Sensor (%)	Kondisi Tanah	Keterangan
1	07.83	43	Lembab	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
2	05.92	20	Sangat Kering	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
3	08.55	47	Lembab	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
4	6.32	66	Basah	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
5	4.83	10	Sangat Kering	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
6	3.77	45	Lembab	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
7	5.67	21	Kering	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
8	8.15	62	Basah	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
9	6.27	38	Kering	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik
10	5.03	26	Kering	Sensor mendeteksi kelembapan dengan baik

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sensor kelembapan tanah diuji sebanyak 10 kali percobaan dengan parameter delay pembacaan sensor, nilai kelembapan, dan kondisi tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi berbagai kondisi tanah, yaitu sangat kering, kering, lembab, dan basah, dengan nilai kelembapan terendah sebesar 10% dan tertinggi sebesar 66%, yang menandakan sensor dapat membaca perubahan kelembapan tanah secara konsisten. Waktu respons sistem berada pada rentang 3,77 detik hingga 8,55 detik di mana variasi delay dipengaruhi oleh proses pembacaan sensor dan pengolahan data oleh sistem dimana masih dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi pemantauan. Hasil pengujian menunjukkan hasil yang baik sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor kelembapan tanah bekerja secara stabil dan layak untuk digunakan pada sistem pemantauan atau penyiraman otomatis berbasis IoT. Pada sprint kedua, tampilan informasi kelembapan pada LCD I2C berhasil menampilkan nilai persentase dan status kondisi tanah secara real-time tanpa keterlambatan yang signifikan.

Tabel 2. Pengujian Tampilan LCD I2C

No	Nilai Sensor ESP32 (%)	Kondisi Tanah	Tampilan LCD (%)	Status Tanah di LCD	Delay Tampilan (detik)	Keterangan
1	18	Sangat Kering	18	Sangat Kering	0.6	Sesuai
2	25	Kering	25	Kering	0.7	Sesuai
3	34	Kering	34	Kering	0.6	Sesuai
4	42	Lembab	42	Lembab	0.8	Sesuai

5	48	Lembab	48	Lembab	0.7	Sesuai
6	55	Lembab	55	Lembab	0.9	Sesuai
7	61	Basah	61	Basah	0.8	Sesuai
8	66	Basah	66	Basah	0.7	Sesuai
9	38	Kering	38	Kering	0.6	Sesuai
10	22	Sangat Kering	22	Sangat Kering	0.7	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, pengujian tampilan LCD I2C dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk mengetahui kesesuaian antara nilai sensor yang dibaca oleh ESP32 dengan informasi yang ditampilkan pada LCD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai sensor ESP32 (%) sesuai dengan nilai yang ditampilkan pada LCD (%) serta kondisi dan status tanah yang ditampilkan, meliputi sangat kering, kering, lembab, dan basah. Delay tampilan LCD berada pada rentang 0,6 detik hingga 0,9 detik, yang menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penampilan data berlangsung cepat dan stabil. Seluruh percobaan menghasilkan keterangan yang sesuai, sehingga dapat disimpulkan bahwa tampilan LCD I2C mampu menampilkan data sensor secara akurat dan real-time, serta layak digunakan sebagai media monitoring kondisi kelembapan tanah pada sistem berbasis IoT. Sprint ketiga menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penyimpanan data ke Firebase berjalan dengan baik, serta data histori dapat diakses kembali tanpa kehilangan data.

Tabel 3. Pengujian Pengiriman Data ESP32 ke Firebase

Percobaan	Waktu(D)	Data Terkirim	Data Tersimpan	Status
1	09.12	YA	YA	Berhasil
2	09.91	YA	YA	Berhasil
3	09.51	YA	YA	Berhasil
4	09.95	YA	YA	Berhasil
5	12.32	YA	YA	Berhasil
6	08.01	YA	YA	Berhasil
7	10.08	YA	YA	Berhasil
8	09.57	YA	YA	Berhasil
9	10.09	YA	YA	Berhasil
10	09.94	YA	YA	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian pengiriman data dari ESP32 ke Firebase menunjukkan kinerja sistem yang berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada waktu yang berbeda dan seluruh percobaan menunjukkan bahwa data berhasil dikirim oleh ESP32 serta tersimpan dengan baik di database Firebase. Tidak ditemukan kegagalan pengiriman maupun penyimpanan data selama proses pengujian, sehingga seluruh percobaan memiliki status berhasil. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan 100% dan komunikasi antara ESP32 dan Firebase berlangsung secara stabil, sehingga sistem layak digunakan untuk mendukung aplikasi Internet of Things (IoT) berbasis penyimpanan data secara daring. Pengujian pada sprint keempat membuktikan bahwa data yang dikirim melalui API Blynk dapat diterima dengan baik oleh aplikasi Flutter, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanah secara jarak jauh.

Tabel 4. Pengujian Integrasi Blynk dan Aplikasi Flutter

Pengujian	Jumlah Pengujian	Parameter Uji	Hasil	Keterangan
1	10	Data Tampil di Aplikasi	Berhasil Tampil	Realtime
2	10	Delay Data	1,798 detik (1.8 detik)	Stabil untuk delay
3	10	Sinkronisasi LCD	Sesuai	Sinkronisasi LCD dan aplikasi sama
4	10	Kontrol Otomatis	Berhasil Dijalankan	Kontrol Penyiraman Otomatis Berhasil Berjalan
5	10	Kontrol Manual	Berhasil Dijalankan	Kontrol Penyiraman Manual Berhasil Berjalan

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian integrasi antara Blynk dan aplikasi Flutter menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap parameter uji, meliputi tampilan data pada aplikasi, delay data, sinkronisasi LCD, serta kontrol otomatis dan manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data berhasil ditampilkan pada aplikasi secara realtime dengan rata-rata delay sebesar 1,798 detik yang masih tergolong stabil. Selain itu, sinkronisasi antara data pada LCD dan aplikasi Flutter menunjukkan hasil yang sesuai. Fitur kontrol otomatis dan kontrol manual juga berhasil dijalankan tanpa kendala, baik untuk penyiraman otomatis maupun manual. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa integrasi Blynk dan aplikasi Flutter telah berfungsi secara optimal dan dapat mendukung sistem IoT yang dikembangkan. Pada sprint kelima, sistem otomatisasi diuji dengan berbagai kondisi kelembapan tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa relay dan pompa air dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan, sehingga proses penyiraman berlangsung secara efisien dan tepat waktu.

Tabel 5. Pengujian Otomatisasi Relay dan Pompa Air

Percobaan	Jumlah Percobaan	Kelembapan Tanah	Kondisi tanah	Waktu Siram	Tindakan Sistem
1	10	$\leq 20\%$	Sangat Kering	20 detik	Menyiram (Pompa ON)
2	10	21% - 40%	Kering	15 detik	Menyiram (Pompa ON)
3	10	41% - 59%	Lembab	5-10 detik	Menyiram (Pompa ON)
4	10	$\leq 60\%$	basah	0 detik	Tidak Menyiram (Pompa Off)

Berdasarkan Tabel 5, hasil pengujian otomatisasi relay dan pompa air menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai dengan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap kondisi kelembapan tanah. Pada kondisi tanah sangat kering ( $\leq 20\%$ ), sistem mengaktifkan pompa air dengan waktu penyiraman selama 20 detik, sedangkan pada kondisi kering (21%–40%) pompa tetap aktif dengan durasi penyiraman 15 detik. Pada kondisi tanah lembab (41%–59%), sistem masih melakukan penyiraman dengan durasi yang

lebih singkat, yaitu 5–10 detik. Sementara itu, pada kondisi tanah basah ( $\geq 60\%$ ), sistem tidak melakukan penyiraman dan pompa berada dalam kondisi mati. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem otomatisasi relay dan pompa air telah berjalan dengan baik dan responsif terhadap perubahan kelembapan tanah, sehingga mampu mendukung proses penyiraman tanaman secara efisien dan terkontrol.

### 3.4 Pembahasan Penerapan Metode Agile

Penerapan metode Agile pada pengembangan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam proses pengembangan. Pendekatan sprint memungkinkan setiap modul sistem dikembangkan dan diuji secara bertahap, sehingga kesalahan atau kekurangan dapat segera diperbaiki pada sprint berikutnya tanpa harus menunggu seluruh sistem selesai. Metode Agile digunakan karena mendukung proses evaluasi berkelanjutan terhadap kebutuhan pengguna, khususnya dalam pengembangan fitur monitoring dan kontrol melalui aplikasi mobile. Perubahan atau penyesuaian ambang batas kelembapan tanah dan logika penyiraman dapat dilakukan dengan cepat tanpa mengganggu keseluruhan sistem. Pada sprint pertama dan kedua, metode Agile memungkinkan fokus pengembangan pada akuisisi data sensor dan visualisasi lokal melalui LCD, yang hasilnya menunjukkan pembacaan data stabil dan sesuai dengan kondisi tanah. Selanjutnya, pada sprint ketiga dan keempat, integrasi dengan Firebase, Blynk, dan aplikasi mobile dapat dilakukan secara bertahap tanpa mengganggu fungsi sistem sebelumnya, sebagaimana dibuktikan oleh keberhasilan pengiriman data dan kontrol jarak jauh dengan delay yang relatif stabil. Sprint kelima menunjukkan bahwa pendekatan Agile mendukung implementasi dan pengujian logika otomatisasi secara efektif. Sistem mampu mengendalikan relay dan pompa air berdasarkan nilai ambang batas kelembapan tanah dengan durasi penyiraman yang bervariasi sesuai kondisi tanah. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa metode Agile membantu menghasilkan sistem yang adaptif, mudah dikembangkan, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi setiap sprint, dapat disimpulkan bahwa metode Agile efektif diterapkan dalam pengembangan sistem IoT ini. Sistem yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sesuai dengan perancangan awal, tetapi juga memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap perubahan kebutuhan dan kondisi lingkungan. Penerapan metode Agile pada pengembangan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam proses perancangan dan implementasi sistem. Pendekatan sprint memungkinkan setiap modul dikembangkan secara bertahap, diuji, dan dievaluasi sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya, sehingga potensi kesalahan dapat diminimalkan sejak awal pengembangan.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem penyiraman pintar berbasis Internet of Things menggunakan ESP32 dengan mekanisme kendali ganda (otomatis dan manual override) dan menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi stabil dengan rata-rata delay komunikasi 1,8 detik serta respons penyiraman yang konsisten berdasarkan ambang kelembapan tanah yang telah ditentukan. Hasil tersebut menegaskan bahwa arsitektur sistem yang ringkas dengan integrasi sensor, mikrokontroler, dan platform cloud dapat memberikan performa terukur dan reliabel pada skala penggunaan terbatas, sekaligus memperkuat temuan literatur terkini dalam bidang irigasi IoT adaptif bahwa optimasi desain arsitektur dan logika kontrol dapat menjadi alternatif efektif dibanding peningkatan kompleksitas perangkat. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada demonstrasi pendekatan metodologis berupa desain sistem minimal dengan strategi kontrol adaptif yang tetap mempertahankan fleksibilitas operasional, sehingga memberikan implikasi

teoretis bagi pengembangan model arsitektur irigasi IoT yang efisien dan aplikatif. Meskipun demikian, pengujian masih terbatas pada satu jenis media tanam dan belum mencakup variabilitas lingkungan seperti suhu, cahaya, dan cuaca, sehingga validitas eksternal sistem masih perlu diuji lebih lanjut; oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan metode algoritmik adaptif seperti regresi prediktif, lightweight machine learning, atau adaptive threshold control serta melakukan evaluasi komparatif lintas kondisi tanah dan tanaman guna meningkatkan generalisasi dan ketahanan sistem dalam skenario pertanian cerdas yang lebih luas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afdal Bintang Syahputra and Agus Ulinuha, "Integrasi Komponen Elektronika Berbasis ESP32 dan Sensor Kelembapan untuk Penyiraman Otomatis Pada Tanaman Anggrek," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 14, no. 1, pp. 47–55, May 2025, doi: 10.23887/jstundiksha.v14i1.93007.
- [2] J. Tarigan, M. Bukit, D. Siprianus, and N. Yilu, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes Otomatis Untuk Budidaya Tanaman Terong Ungu (*Solanum Melongena L.*) Berbasis Internet Of Things (IOT)," vol. 8, no. 2, pp. 30–39, 2023, doi: <https://doi.org/10.35508/fisa.v8i2.12896>.
- [3] E. Apriliyanto, D. F. Nugroho, W. Kurniawan, R. I. Putra, and M. Y. Ariyadi, "Optimalisasi Sistem Dompot Kurban Terintegrasi Peternakan Modern Berbasis AI-IoT dengan Teknologi YOLO," *JURNAL FASILKOM*, vol. 14, pp. 688–694, 2024, doi: <https://doi.org/10.37859/jf.v14i3.8177>.
- [4] N. Sapitri, L. D. Samsumar, and A. Subki, "IoT-Based Smart Parking: Slot Detection and Vehicle Navigation in Parking Buildings," *Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 373–385, Oct. 2025, doi: 10.55537/cosie.v4i4.1262.
- [5] A. Khansa Fadilah and Fitriyani, "Smart Drip Irrigation Untuk Penyiraman Tanaman Bunga Telang Menggunakan Blynk," *JIKA (Jurnal Informatika) Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 9, no. 4, pp. 393–400, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.31000/jika.v9i4.14517>.
- [6] M. Munawaroh, J. Maulindar, and M. Erlinawati, "Implementation of IOT-Based Soil Moisture Monitoring System for Chili Plants," *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 1023–1036, 2025, doi: 10.30811/jaise.v5i3.7243.
- [7] R. A. Syahputra, W. Sanjaya, and F. Hadary, "Rancang Bangun Dan Analisis Monitoring Penyiram Tanaman Otonatis Berbasis Internet Of Things (IoT)," 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtinUNTAN/editor/issueToc/2388-201>
- [8] D. H. Ngoma *et al.*, "Design and Development of IoT Smart Drip Irrigation and Fertigation Prototype for Small and Medium Scale Farmers. A case Study of Tomato Farmers in Tanzania," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 106, no. 2, pp. 373–395, Jun. 2025, doi: 10.1007/s40030-024-00857-7.
- [9] A. Morchid, R. Jebabra, H. M. Khalid, R. El Alami, H. Qjidaa, and M. Ouazzani Jamil, "IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing," *Results in Engineering*, vol. 23, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102829.
- [10] A. R. Sidik, A. Tawakal, G. S. Sumirat, and P. Narpuro, "Smart Irrigation Based on Soil Moisture Sensors with Photovoltaic Energy for Efficient Agricultural Water Management: A Systematic Literature Review," MDPI AG, Aug. 2025, p. 17. doi: 10.3390/engproc2025107017.
- [11] D. Cahya Permatasari *et al.*, "Prototype of Automatic Plant Watering Control Based on Internet of Things Using Blynk App," *Journal homepage: Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 7, no. 2, 2025, doi: 10.33650/jeeecom.v4i2.

- [12] M. I. R. Stiawan and Z. A. I. Supardi, "Smart Farming - Merancang Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Kelembapan Tanah Dan Waktu Menggunakan Mikrokontroler Esp32," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. 13, pp. 124–132, 2024, doi: <https://doi.org/10.26740/ifi.v13n3.p124-132>.
- [13] Z. Fadia, R. Nazli, and W. Febrina, "Perancangan Aplikasi Mobile untuk Otomatisasi Pemberian Pakan Ikan Berbasis Metode Agile," *Technologica*, vol. 4, no. 2, pp. 85–99, 2025, doi: <https://doi.org/10.55043/technologica.v4i2.267>.
- [14] A. Ariesta, Y. Novita Dewi, F. Ayu Sariasih, and F. Wahyuhening Fibriany, "Penerapan Metode Agile Dalam Pengembangan Application Programming Interface System Pada PT XYZ," *Jurnal CoreIT*, vol. 7, pp. 38–42, 2021, doi: <https://doi.org/10.24014/coreit.v7i1.12635>.
- [15] A. N. Yusril, I. Larasati, and P. Al Zukri, "Systematic Literature Review Analisis Metode Agile dalam Pengembangan Aplikasi Mobile," *SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi*, vol. 10, pp. 369–380, 2021, doi: <https://doi.org/10.32520/stmsi.v10i2.1237>.
- [16] W. Wahyudi, A. I. Pradana, and H. Permatasari, "Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 5, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.52436/1.jpti.656.
- [17] S. U. Haj, R. Tjut Adek, and R. Suwanda, "Implementasi Sistem Irigasi Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Optimasi Penggunaan Air Pada Pertanian," vol. 9, p. 2025, doi: 10.47002/metik.v9i2.1123.
- [18] H. Akbar Pratama, A. Ichsan Pradana, and R. P. Indah, "Pengembangan Sistem Penyiraman Otomatis Tanaman Bayam Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains(JINTEKS)*, vol. 7, pp. 1624–1631, 2025, doi: <https://doi.org/10.51401/jinteks.v7i3.5934>.
- [19] I Putu Ardi Wahyu Widyatmika, Ni Putu Ayu Widyanata Indrawati, I Wayan Wahyu Adi Prastya, I Ketut Darminta, I Gde Nyoman Sangka, and A. A. N. G. Saptaka, "Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan," *JOKI*, vol. 13, pp. 37–45, 2021, doi: <https://doi.org/10.5614/joki.2021.13.1.4>.
- [20] P. W. Setiawan, A. L. Hananto, E. Novalia, and A. Hananto, "Sistem Monitoring Dan Visualisasi Data Konsumsi Energi Listrik Rumah Berbasis IoT Dengan Aplikasi Blynk," *Jutisi : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, pp. 455–466, 2026, doi: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v14i1.2675>.
- [21] P. E. Lim Junior, E. M. Dharma, and P. T. Hady Permana, "SMART IRRIGATION BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) Menggunakan Framework Firebase Pada Tanaman Tomat (Studi Kasus Pada Pertanian Tomat Di Desa Tegalcangkring, Kabupaten Jembrana)" *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komputer*, vol. 9, pp. 438–446, 2023, doi: <https://doi.org/10.36002/jutik.v9i4.2549>.
- [22] F. Hardiansyah, A. Rizal, and I. Purnamasari, "Implementasi Metode Agile Scrum Dalam Pengembangan Aplikasi Pembelajaran Olahraga," *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 2, pp. 1242–1247, 2023, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v7i2.6734>.