

# Sistem Irigasi Drip Otomatis menggunakan metode Extreme Programming Berbasis Internet of Things

Stephano Caesar Wenston Ngangi<sup>1</sup>, Aditya Lapu Kalua<sup>2</sup>, Jelly Ribka Danaly Lumingkewas<sup>3</sup>, Eric Alfonsius<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Agribisnis, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

<sup>1</sup>stephano.ngangi@unsrat.ac.id, <sup>2</sup>adityalapu.kalua@unsrat.ac.id,

<sup>3</sup>jellylumingkewas@unsrat.ac.id, <sup>4</sup>ericalfonsius@unsrat.ac.id

**Abstrak:** Pertumbuhan teknologi yang pesat, terutama di bidang Internet of Things (IoT), telah membuka peluang besar untuk mengatasi berbagai masalah dalam sektor pertanian, termasuk irigasi. Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh petani adalah inefisiensi dalam penggunaan air, terutama pada sistem irigasi konvensional yang seringkali kurang akurat dalam mendistribusikan air secara tepat sesuai kebutuhan tanaman. Sistem manual juga memerlukan tenaga dan waktu yang signifikan, yang berpotensi menghambat produktivitas. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT menggunakan metode Extreme Programming (XP). Solusi ini melibatkan penggunaan sensor kelembaban tanah dan mikrokontroler yang terhubung ke jaringan internet, memungkinkan pemantauan dan pengendalian irigasi secara real-time. Melalui penerapan metode XP, sistem ini dirancang secara iteratif dengan pendekatan yang fleksibel, memudahkan penyesuaian terhadap kebutuhan pengguna dan kondisi lapangan. Hasil dari pengembangan menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes otomatis ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30% dibandingkan sistem manual. Sistem berhasil diimplementasikan dan diuji pada skala hidroponik, dengan hasil pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan pengurangan pemborosan air. Antarmuka sistem berbasis web juga memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanah dan mengatur waktu irigasi secara jarak jauh. Penerapan sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT dengan metode XP memberikan solusi efektif untuk mengatasi inefisiensi irigasi di sektor pertanian. Sistem ini tidak hanya memudahkan pengelolaan air, tetapi juga mendukung keberlanjutan dengan cara yang hemat energi dan sumber daya.

**Kata Kunci:** Irigasi tetes; Sistem Drip; IoT; Pertanian cerdas; Extreme Programming.

**Abstract:** The rapid growth of technology, especially in the field of Internet of Things (IoT), has opened up significant opportunities to address various issues in the agricultural sector, including irrigation. One of the main problems faced by farmers is inefficiency in water usage, particularly with conventional irrigation systems that often fail to distribute water accurately according to

plant needs. Manual systems also require considerable time and labor, potentially hindering productivity. To address this issue, this study proposes the development of an automated drip irrigation system based on IoT using the Extreme Programming (XP) methodology. This solution involves the use of soil moisture sensors and microcontrollers connected to the internet, allowing real-time monitoring and control of irrigation. By applying the XP methodology, the system is designed iteratively with a flexible approach, making it easier to adjust to user needs and field conditions. The results of the development show that the automated drip irrigation system can improve water efficiency by up to 30% compared to manual systems. The system was successfully implemented and tested on a hydroponic scale, resulting in better plant growth and reduced water wastage. The web-based interface also allows users to remotely monitor soil conditions and set irrigation schedules. The conclusion of this study indicates that the implementation of an IoT-based automated drip irrigation system using the XP method provides an effective solution to tackle irrigation inefficiencies in the agricultural sector. This system not only simplifies water management but also supports sustainability in an energy- and resource-efficient manner.

Keywords : Drip irrigation; Drip Systems; IoT; Smart farming; Extreme Programming.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin masif dalam beberapa dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian [1]. Penerapan teknologi digital, otomatisasi, dan konektivitas melalui Internet of Things (IoT) telah memperkenalkan solusi-solusi inovatif yang mampu meningkatkan efisiensi dan produktivitas [2], [3], [4]. Dalam konteks pertanian modern, integrasi teknologi ini membuka jalan bagi pertanian presisi, di mana penggunaan sumber daya, seperti air dan pupuk, dapat dioptimalkan secara real-time dan akurat. Salah satu inovasi penting dalam bidang ini adalah sistem irigasi otomatis yang didukung oleh teknologi IoT [5].

Irigasi merupakan salah satu elemen kunci dalam sektor pertanian yang menentukan tingkat produktivitas dan efisiensi dalam pertumbuhan tanaman. Salah satu teknik yang terbukti efektif dalam memberikan air secara presisi adalah sistem irigasi tetes (*Drip System*) [6], [7]. Sistem ini memungkinkan tanaman memperoleh jumlah air yang tepat secara terukur, sehingga mendukung pertumbuhan yang optimal serta mengurangi pemborosan air. Namun, pengelolaan irigasi secara manual sering kali memerlukan tenaga dan waktu yang signifikan, sehingga menciptakan kebutuhan untuk otomatisasi guna meningkatkan efisiensi [5].

Dalam era Revolusi Industri 5.0, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) menjadi solusi inovatif untuk mengotomatisasi berbagai proses, termasuk irigasi tetes (*Drip System*) [3], [4]. Dengan mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, aktuator, dan mikrokontroler, sistem irigasi dapat dikendalikan secara real-time melalui jaringan internet [5]. Teknologi ini tidak hanya memudahkan monitoring, tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan air.

Untuk mengembangkan sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT yang efisien dan efektif, metode Extreme Programming (XP) digunakan dalam pengembangan perangkat lunak [8]. Metode XP merupakan salah satu pendekatan Agile yang berfokus pada kolaborasi intensif antara pengembang dan pemangku kepentingan serta memberikan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan kebutuhan secara cepat [9], [10], [11]. Proses pengembangan yang iteratif dan didasarkan pada prototipe membuat XP ideal untuk proyek yang kompleks dan memerlukan penyesuaian dinamis seperti sistem berbasis IoT.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem drip otomatis berbasis IoT dengan menggunakan metode Extreme Programming. Melalui pendekatan ini, diharapkan sistem irigasi dapat dioptimalkan tidak hanya dari segi fungsionalitas tetapi juga dari aspek kemudahan penggunaan dan pemeliharaan. Selain itu, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik dalam skala hidroponik maupun pertanian konvensional.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode penelitian dirancang dengan tujuan untuk mengembangkan dan menguji sebuah sistem irigasi tetes otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*:

### 1. Landasan Teori Terkait

- a. **Sistem Drip**: Sistem irigasi tetes (*drip irrigation*) merupakan teknik pemberian air yang efisien dan terukur, di mana air diberikan langsung ke akar tanaman dalam jumlah yang tepat [12]. Sistem ini bekerja dengan meneteskan air secara perlahan melalui pipa atau selang ke tanah atau media tanam. Teknik ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air dengan meminimalkan pemborosan akibat penguapan atau limpasan. Dalam sistem otomatis berbasis IoT, irigasi tetes dapat diatur secara real-time sesuai dengan kondisi kelembaban tanah dan kebutuhan tanaman. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Drip Manual

Dalam sistem irigasi tetes otomatis berbasis **Internet of Things (IoT)**, monitoring kelembaban tanah dan pH tanah sangat penting untuk memastikan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman. Berikut adalah **level kondisi sebenarnya** terkait **kelembaban tanah** dan **pH tanah**, yang digunakan sebagai acuan untuk mengatur sistem irigasi:

### b. Kelembaban Tanah

Kelembaban tanah diukur dalam satuan **persentase volumetrik** yang menunjukkan kandungan air dalam tanah. Sistem sensor kelembaban tanah akan mengukur kondisi aktual untuk mengontrol kapan irigasi harus diaktifkan atau dinonaktifkan. Level kelembaban tanah dibagi sebagai berikut:

#### 1. < 20% (Sangat Kering):

Kondisi tanah sangat kering, air hampir tidak ada. Tanaman akan mengalami stres dan pertumbuhan terhambat. Sistem irigasi harus segera diaktifkan.

2. **20% – 40% (Kering):**  
Tanah kering namun masih mengandung sedikit air. Kondisi ini juga membutuhkan irigasi segera untuk mencegah penurunan kesehatan tanaman.
  3. **40% – 60% (Cukup Basah):**  
Ini adalah level kelembaban ideal untuk sebagian besar tanaman. Sistem irigasi mungkin tidak diperlukan, namun pemantauan terus dilakukan untuk menjaga level ini.
  4. **60% – 80% (Basah):**  
Tanah sudah cukup basah, namun jika terus dibiarkan, dapat menyebabkan tanah terlalu jenuh. Sistem irigasi otomatis harus dimatikan pada level ini.
  5. **> 80% (Sangat Basah/Jenuh):**  
Tanah terlalu basah, berisiko menyebabkan akar tanaman membusuk karena kurangnya oksigen di dalam tanah. Irigasi harus dihentikan sepenuhnya.
- c. pH Tanah**  
pH tanah menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan tanah, yang mempengaruhi kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi. Level pH tanah biasanya diukur dalam skala 1-14 di mana:
1. **pH < 4.5 (Sangat Asam):**  
Kondisi tanah ini terlalu asam untuk sebagian besar tanaman, menghambat penyerapan nutrisi. Diperlukan pengkondisian tanah, seperti penambahan kapur, untuk menetralkan keasaman.
  2. **pH 4.5 – 5.5 (Asam Moderat):**  
Beberapa tanaman toleran terhadap kondisi ini, tetapi sebagian besar akan mengalami kesulitan dalam pertumbuhan optimal. Perlu penyesuaian agar pH mendekati kondisi netral.
  3. **pH 5.5 – 6.5 (Sedikit Asam/Ideal):**  
Ini adalah pH tanah yang ideal bagi sebagian besar tanaman. Pada kisaran ini, tanaman dapat menyerap nutrisi secara optimal. Sistem irigasi dan monitoring pH harus mempertahankan kondisi ini.
  4. **pH 6.5 – 7.5 (Netral/Sedikit Basa):**  
Tanah dalam kondisi netral atau sedikit basa masih cocok untuk sebagian besar tanaman, meskipun pada pH yang mendekati 7.5, penyerapan beberapa nutrisi bisa menurun.
  5. **pH > 7.5 (Basa):**  
Kondisi tanah terlalu basa untuk sebagian besar tanaman, menyebabkan defisiensi nutrisi, terutama besi, mangan, dan fosfor. Perlu perlakuan tanah, seperti penambahan bahan organik atau belerang, untuk menurunkan pH.
- d. Tingkat Pengisian Air (Water Filling Level):** Tingkat pengisian air dalam irigasi tetes otomatis ditentukan oleh kelembaban tanah dan fase pertumbuhan tanaman. Pengendalian tingkat pengisian air yang akurat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air. Sistem IoT memungkinkan pemantauan kelembaban tanah secara terus-menerus, dan data ini digunakan untuk mengontrol aliran air, memastikan tanaman mendapat jumlah air yang tepat pada waktu yang tepat. Watering level mengacu pada tingkat pengisian air dalam sistem irigasi yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara optimal. Berikut adalah **level kondisi watering** yang dapat digunakan dalam sistem irigasi tetes otomatis berbasis **Internet**

**of Things (IoT):** Watering level diukur dalam satuan **persentase** atau **volume** air dalam reservoir atau wadah penyimpanan air. Level ini akan mempengaruhi keputusan sistem untuk melakukan pengisian ulang atau menghentikan irigasi. Berikut adalah pembagian level watering:

1. **< 20% (Sangat Rendah):** Kondisi ini menunjukkan bahwa volume air dalam reservoir sangat sedikit. Dalam keadaan ini, sistem irigasi harus segera diaktifkan untuk mengisi ulang reservoir. Tanpa pengisian, tanaman berisiko mengalami stres akibat kekurangan air.
  2. **20% – 40% (Rendah):** Volume air masih rendah, dan meskipun irigasi dapat dilanjutkan, perlu segera dipantau. Ini adalah saat yang tepat untuk mempersiapkan pengisian ulang reservoir.
  3. **40% – 60% (Cukup):** Tingkat air cukup untuk mendukung proses irigasi. Pada level ini, sistem irigasi dapat berjalan normal. Namun, pemantauan harus dilakukan untuk memastikan bahwa tingkat air tidak turun di bawah 40%.
  4. **60% – 80% (Tinggi):** Volume air berada dalam kondisi baik dan mencukupi untuk mendukung irigasi jangka panjang. Dalam kondisi ini, irigasi bisa berjalan tanpa masalah. Namun, penting untuk menghindari kelebihan pengisian yang dapat menyebabkan limpahan.
  5. **> 80% (Sangat Tinggi):** Level air terlalu tinggi, berisiko menyebabkan overflow atau limpahan. Pada kondisi ini, sistem irigasi harus dinonaktifkan untuk mencegah pemborosan air. Selain itu, perlu diadakan pengendalian agar tidak terjadi penumpukan air yang dapat merusak sistem.
- e. **Pengukuran Real-Time Series:** Pengukuran real-time adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan data secara langsung dan terus-menerus selama proses berlangsung. Dalam konteks irigasi otomatis, pengukuran real-time terhadap kelembaban tanah menggunakan sensor sangat penting untuk menentukan kapan sistem irigasi harus diaktifkan atau dinonaktifkan. Data real-time ini diolah dan dikirimkan melalui jaringan IoT, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan secara cepat dan tepat.
- f. **Internet of Things (IoT):** IoT adalah konsep di mana perangkat-perangkat fisik, seperti sensor dan aktuator, dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet [13]. Dalam sistem irigasi tetes otomatis, IoT memungkinkan sensor kelembaban tanah, mikrokontroler, dan perangkat pengendali bekerja bersama untuk mengelola dan mengoptimalkan proses irigasi. Data dari sensor kelembaban tanah dikirimkan ke server atau cloud, di mana pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem secara jarak jauh melalui aplikasi atau antarmuka web.

## 2. Jenis Penelitian:

Penelitian ini termasuk dalam kategori **penelitian eksperimental**, di mana sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT dirancang, diimplementasikan, dan diuji untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensinya. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan tanaman dalam sistem hidroponik, di mana berbagai skenario irigasi diuji untuk mengukur efektivitas sistem dalam mengoptimalkan penggunaan air dan pertumbuhan tanaman.

## 3. Metode Pengumpulan Data:

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan menggunakan dua metode utama, yaitu **observasi** dan **dokumentasi**. Kedua metode ini dipilih untuk

memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja sistem irigasi tetes otomatis berbasis **Internet of Things (IoT)**.

**a. Metode Observasi**

Metode observasi digunakan untuk mengamati secara langsung [14] kondisi dan perilaku sistem irigasi serta tanaman selama proses pengujian. Peneliti akan melakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terkait, seperti kelembaban tanah, pH tanah, dan tingkat pengisian air di reservoir.

**b. Metode Dokumentasi**

Metode dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan data serta informasi yang relevan dengan penelitian [15]. Ini mencakup berbagai jenis dokumen yang dapat mendukung analisis dan pemahaman sistem irigasi yang sedang diteliti.

4. **Metode Pengembangan Sistem: Extreme Programming (XP)**

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah **Extreme Programming (XP)**, yang merupakan salah satu pendekatan Agile dalam pengembangan perangkat lunak. XP dipilih karena fleksibilitasnya dalam menghadapi perubahan dan kemampuannya untuk menghasilkan perangkat lunak berkualitas melalui siklus iteratif. Tahapan XP dalam pengembangan sistem ini meliputi:

- a. **Planning**: Mengidentifikasi kebutuhan pengguna, seperti pengendalian otomatis sistem irigasi dan pemantauan kelembaban tanah.
- b. **Design**: Merancang arsitektur sistem yang mencakup sensor kelembaban tanah, mikrokontroler, aktuator, dan antarmuka berbasis web untuk pemantauan.
- c. **Coding**: Pengembangan perangkat lunak sistem irigasi berbasis IoT dengan menggunakan bahasa pemrograman yang sesuai (misalnya, C++ untuk mikrokontroler).
- d. **Testing**: Pengujian setiap komponen sistem dilakukan secara terus-menerus di setiap iterasi.
- e. **Release**: Sistem diimplementasikan dan diuji secara keseluruhan dalam lingkungan nyata.
- f. **Feedback**: Pengguna memberikan umpan balik untuk penyempurnaan sistem di iterasi berikutnya.

5. **Metode Pengujian: Blackbox Testing** Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode **Blackbox Testing**, di mana pengujian fokus pada fungsionalitas eksternal sistem tanpa memeriksa kode internal [16], [17], [18]. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sistem irigasi tetes otomatis dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Beberapa skenario pengujian yang dilakukan antara lain:

- a. **Pengujian sensor kelembaban tanah**: Memastikan sensor dapat mendeteksi kondisi kelembaban tanah dan mengirimkan data yang akurat ke mikrokontroler.
- b. **Pengujian kontrol pompa air dan katup**: Memastikan bahwa pompa dan katup dapat bekerja secara otomatis berdasarkan data kelembaban tanah.
- c. **Pengujian antarmuka web**: Memastikan bahwa pengguna dapat memantau dan mengendalikan sistem melalui antarmuka web secara real-time.

Hasil pengujian akan dievaluasi untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam memenuhi tujuan pengembangan, yaitu meningkatkan efisiensi irigasi dan kemudahan penggunaan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, peneliti memaparkan hasil penelitian dan pembahasan terkait pengembangan sistem irigasi tetes otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan pendekatan metode Extreme Programming (XP). Setiap langkah dalam metode XP, mulai dari perencanaan hingga umpan balik pengguna, telah diimplementasikan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kebutuhan pengguna tetapi juga memiliki keandalan yang tinggi dalam kondisi lapangan. Pembahasan ini akan menjelaskan bagaimana setiap tahap pengembangan berkontribusi terhadap efektivitas, efisiensi, dan keberhasilan sistem dalam mencapai tujuan penelitian.

#### 1. Hasil Perencanaan (*Planning*):

Hasil perencanaan sistem irigasi tetes otomatis berbasis Internet of Things (IoT) ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pengguna dalam mengelola kelembaban tanah dan efisiensi pengairan. Perencanaan ini menghasilkan desain sistem yang mencakup sensor kelembaban tanah, mikrokontroler sebagai pusat kendali, aktuator untuk mengatur aliran air, dan antarmuka berbasis web atau mobile untuk pemantauan. Pada Gambar 2, ditampilkan ilustrasi lengkap dari sistem yang dibangun, di mana setiap komponen saling terintegrasi untuk mendukung otomatisasi dan pemantauan jarak jauh. Gambar ini menggambarkan arsitektur sistem mulai dari pengumpulan data sensor hingga kontrol irigasi, sesuai dengan perencanaan sistem yang dirancang untuk memberikan solusi cerdas dan hemat air bagi pengguna.



**Gambar 2.** *Planning* Sistem Drip Otomatis Berbasis Internet of Things

#### Hasil Identifikasi Kebutuhan Pengguna

##### a) Kebutuhan Fungsional Sistem

Berdasarkan analisis awal dan diskusi dengan pengguna akhir (petani atau pengelola kebun), berikut adalah kebutuhan fungsional utama yang harus dipenuhi oleh sistem:

- 1) Pengendalian Otomatis Sistem Irigasi: Sistem harus dapat mengatur aliran air secara otomatis berdasarkan data kelembaban tanah. Jika kelembaban di bawah ambang batas, sistem akan mengaktifkan irigasi secara otomatis untuk menjaga kelembaban optimal.
- 2) Pemantauan Kelembaban Tanah: Sistem harus dapat membaca dan menampilkan data kelembaban tanah secara real-time melalui antarmuka pengguna, baik di perangkat mobile maupun web.
- 3) Penyediaan Data Historis: Sistem perlu menyimpan data kelembaban tanah secara berkala untuk memungkinkan analisis historis oleh pengguna.
- 4) Kontrol Manual melalui Antarmuka: Selain otomatisasi, sistem juga harus

menyediakan kontrol manual yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan irigasi melalui perangkat mobile.

b) Kebutuhan Non-Fungsional Sistem

- 1) Akurasi dan Keandalan: Sensor kelembaban harus memberikan data yang akurat dan sistem harus mampu bekerja dengan stabil dalam jangka panjang.
- 2) Antarmuka Pengguna yang Mudah Dipahami: Antarmuka harus sederhana, responsif, dan mudah dipahami untuk memastikan pengalaman pengguna yang optimal.
- 3) Dukungan Akses Jarak Jauh: Sistem harus dapat diakses dari jarak jauh, sehingga pengguna bisa memantau dan mengontrol irigasi dari mana saja.
- 4) Efisiensi Penggunaan Air: Sistem dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, hanya mengairi tanaman saat dibutuhkan berdasarkan data sensor.

**Alat dan Bahan yang Dibutuhkan**

a) Perangkat Keras:

- 1) Sensor Kelembaban Tanah: Untuk mendeteksi tingkat kelembaban pada media tanam.
- 2) Mikrokontroler: Seperti Arduino atau ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kontrol sistem.
- 3) Modul Wi-Fi (untuk ESP32 atau ESP8266): Memungkinkan konektivitas internet sehingga sistem dapat diakses dan dipantau dari jarak jauh.
- 4) Katup Solenoid atau Pompa Air: Untuk mengontrol aliran air yang masuk ke sistem irigasi.
- 5) Pipa dan Selang Drip: Untuk mengalirkan air ke setiap pot atau area tanaman.
- 6) Power Supply: Sumber daya untuk mikrokontroler dan sensor.

b) Perangkat Lunak:

- 1) Bahasa Pemrograman (C++/Arduino IDE): Untuk memprogram mikrokontroler.
- 2) Platform IoT (misalnya, ThingSpeak atau Firebase): Untuk menyimpan dan memantau data dari sensor.
- 3) Antarmuka Web/Mobile: Dikembangkan dengan HTML, CSS, dan JavaScript untuk menampilkan data kelembaban dan kontrol sistem secara real-time.

**Perencanaan Sistem**

a) Arsitektur Sistem:

- 1) Sensor Kelembaban akan ditanam di setiap pot atau area tanaman yang perlu dipantau.
- 2) Mikrokontroler akan mengumpulkan data dari sensor dan mengaktifkan atau menonaktifkan katup solenoid atau pompa air sesuai dengan data kelembaban yang terdeteksi.
- 3) Koneksi Cloud: Data dari mikrokontroler akan dikirimkan ke cloud melalui modul Wi-Fi untuk memungkinkan akses jarak jauh.
- 4) Antarmuka Pengguna: Pengguna akan memantau data secara real-time dan dapat melakukan kontrol manual melalui aplikasi web atau mobile yang terkoneksi dengan platform IoT.

b) Pengendalian Otomatis dan Pemantauan:

- 1) Otomatisasi Irigasi: Sistem akan secara otomatis membuka katup atau mengaktifkan pompa jika kelembaban di bawah nilai minimum yang telah ditentukan.
- 2) Pemantauan Kelembaban Tanah: Data kelembaban akan terus diperbarui dan ditampilkan di antarmuka sehingga pengguna dapat memantau kondisi

tanah setiap saat.

c) Proses Pengembangan:

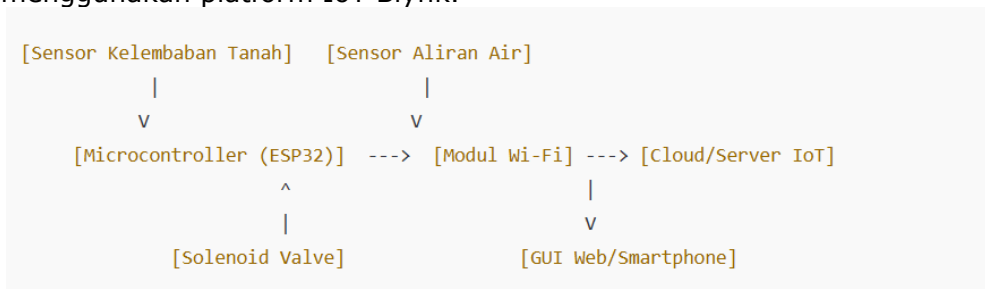
- 1) Iterasi Berdasarkan Feedback: Sistem akan dikembangkan dalam beberapa iterasi, di mana setiap fitur baru diuji dan disesuaikan berdasarkan umpan balik dari pengguna.
- 2) Pengujian Lapangan: Setelah sistem diimplementasikan, dilakukan pengujian lapangan untuk memastikan kinerja dalam kondisi nyata.
- 3) Peningkatan Sistem Berdasarkan Data Historis: Data kelembaban historis akan dianalisis untuk menyesuaikan parameter irigasi agar lebih hemat air dan efisien.

## 2. Hasil Perancangan (Design)

Sistem irigasi tetes otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) merupakan solusi inovatif untuk mengoptimalkan pengelolaan air dalam pertanian. Dengan mengintegrasikan teknologi sensor dan pengendalian jarak jauh, sistem ini mampu memantau kondisi kelembaban tanah dan secara otomatis mengatur aliran air sesuai kebutuhan tanaman. Tujuan dari sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi pemborosan, serta memberikan kemudahan dalam pengawasan dan pengontrolan irigasi melalui antarmuka pengguna berbasis web. Melalui penerapan arsitektur sistem yang terdiri dari sensor kelembaban, aliran air, aktuator solenoid valve, serta integrasi dengan platform IoT, pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara real-time dan melakukan pengaturan pengairan secara manual atau otomatis, kapan saja dan di mana saja. Rancangan arsitektur sistem terdiri dari mekanisme sistem drip otomatis berbasis *Internet of Things*, Mekanisme Pengisian Air pada Sistem Irigasi Tetes dan Tampilan *Graphic User Interface* (GUI) untuk memantau kondisi media/lahan tanaman.

### Arsitektur dan Mekanisme Sistem Drip Otomatis berbasis IoT

Sistem drip otomatis berbasis IoT menggabungkan berbagai komponen teknologi untuk memantau dan mengelola pengairan tanaman secara efisien, yang telah ditunjukkan pada gambar 3. Sensor kelembaban tanah, seperti DHT11 dan sensor kelembaban tanah kapasitif, memonitor kelembaban media tanam, memberikan data yang diperlukan untuk menentukan kapan sistem irigasi perlu diaktifkan. Sensor aliran air berfungsi untuk memverifikasi apakah air mengalir dengan baik ke tanaman, serta mendeteksi kemungkinan masalah dalam sistem irigasi. Aktuator solenoid valve bertugas mengontrol aliran air, membuka atau menutup valve sesuai perintah dari sistem, sehingga proses irigasi berjalan otomatis. Semua data yang dihasilkan oleh sensor dan status aktuator disalurkan melalui ESP32, yang menghubungkan sensor, aktuator, dan jaringan IoT. Dengan modul Wi-Fi pada ESP32, sistem terhubung ke internet, memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh. Data yang dikumpulkan, termasuk kelembaban tanah dan status aliran air, dikirim ke server berbasis cloud yang menggunakan platform IoT Blynk.



Gambar 3. Diagram Arsitektur

### Rancangan Mekanisme Pengisian Air pada Sistem Drip

- Pengisian Otomatis: Ketika sensor kelembaban tanah mendeteksi bahwa tanah dalam kondisi kering (kelembaban di bawah ambang batas tertentu), sistem akan mengirimkan sinyal ke microcontroller untuk membuka solenoid valve dan mulai mengalirkan air ke sistem irigasi tetes.
- Pengaturan Waktu dan Durasi Pengairan: Pengguna dapat mengatur waktu dan durasi pengairan sesuai kebutuhan melalui antarmuka web. Misalnya, irigasi dapat diatur untuk menyala setiap pagi selama 10 menit.
- Pemantauan Aliran Air: Sensor aliran air akan memberikan informasi apakah air mengalir sesuai rencana. Jika tidak, sistem dapat memberikan peringatan.

### Rancangan Tampilan GUI Sistem yang dibangun

Tampilan Graphic User Interface (GUI) untuk sistem irigasi otomatis berbasis IoT dirancang untuk memberikan pengalaman pengguna yang intuitif dan mudah digunakan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Dashboard utama menampilkan berbagai elemen penting yang memungkinkan pemantauan dan kontrol sistem secara efisien. Elemen pertama adalah Status Sistem, yang menunjukkan apakah sistem irigasi sedang aktif atau tidak. Di samping itu, terdapat Status Kelembaban Tanah, yang menampilkan informasi kelembaban dalam bentuk persentase dan grafik batang, memberikan gambaran jelas tentang kondisi media tanam. Status Aliran Air juga disertakan, yang menunjukkan apakah aliran air berjalan lancar atau ada masalah dalam sistem irigasi. Untuk kontrol manual, terdapat Kontrol Manual, berupa tombol yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pengisian air, serta mengatur durasi irigasi sesuai kebutuhan. Sebagai tambahan, terdapat Grafik Pemantauan Kelembaban, yang menampilkan data kelembaban tanah secara real-time dalam grafik, memungkinkan pemantauan jangka panjang. Pengguna juga dapat menyesuaikan Kontrol Pengaturan Irigasi, mengatur waktu dan durasi pengisian air berdasarkan preferensi mereka. Untuk memastikan sistem bekerja dengan baik, Peringatan dan Notifikasi akan muncul jika kelembaban tanah terlalu rendah atau jika terdeteksi masalah dengan aliran air.



Gambar 4. Rancangan Tampilan Website

### 3. Hasil Implementasi dan Penerapan Source Coding (Coding)

Hasil implementasi dan penerapan coding pada sistem irigasi otomatis berbasis IoT ini bertujuan untuk menunjukkan bagaimana teknologi IoT dapat diintegrasikan dalam sistem pertanian untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi. Hasil implementasi terdiri dari Tiga bagian penting yakni Hasil Sistem Drip Otomatis berbasis IoT yang telah dibangun, Hasil mekanisme pengisian Air pada Sistem Drip dan Hasil Tampilan Dashboard Sistem yang telah dibangun.

### Hasil Sistem Drip Otomatis yang Dibangun

Hasil sistem drip otomatis yang dibangun, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, berhasil mengintegrasikan berbagai komponen teknologi untuk menciptakan sebuah sistem irigasi yang efisien dan dapat dikontrol secara otomatis. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah untuk memantau kondisi media tanam dan sensor aliran air untuk memastikan bahwa air mengalir dengan lancar ke tanaman. Ketika kelembaban tanah terdeteksi rendah, sistem secara otomatis mengaktifkan aktuator solenoid valve untuk membuka aliran air, memberikan pengairan yang diperlukan tanpa intervensi manual. Semua data dari sensor dan status aktuator dikirimkan ke server melalui microcontroller (seperti ESP32 atau Arduino), yang juga berfungsi sebagai penghubung antara sistem dengan jaringan IoT.



**Gambar 5.** Hasil Rangkaian Sistem Drip berbasis IoT part 1

Dengan menggunakan modul Wi-Fi seperti ESP32, sistem ini memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh, memudahkan pengguna untuk memantau kelembaban tanah, status aliran air, dan mengatur irigasi melalui platform IoT berbasis cloud, seperti Blynk. Grafik pemantauan kelembaban dan pengaturan waktu serta durasi irigasi juga tersedia pada antarmuka pengguna (GUI), yang menampilkan data secara real-time. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan peringatan otomatis untuk memberi tahu pengguna jika kelembaban tanah terlalu rendah atau jika ada masalah dalam aliran air. Hasil implementasi ini menunjukkan bahwa sistem drip otomatis berbasis IoT dapat berfungsi secara efektif dalam mempermudah pengelolaan irigasi tanaman dengan lebih efisien dan berkelanjutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hasil Rangkaian Sistem Drip berbasis IoT part 2

### Hasil Mekanisme Pengisian Air pada Sistem Drip

Hasil mekanisme pengisian air pada sistem drip otomatis, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7, berhasil menerapkan kontrol otomatis terhadap aliran air untuk mendukung sistem irigasi yang efisien. Pengisian air dimulai ketika sensor kelembaban tanah mendeteksi bahwa tingkat kelembaban di media tanam berada di bawah batas yang telah ditentukan. Dalam keadaan ini, sistem secara otomatis mengaktifkan aktuator solenoid valve yang terhubung dengan pipa aliran air, membuka valve untuk memungkinkan air mengalir ke tanaman. Selama proses ini, sensor aliran air berfungsi untuk memastikan bahwa air mengalir dengan lancar tanpa ada gangguan atau hambatan di jalur irigasi.



**Gambar 7.** Rangkaian Selang Pengisian Air

Pengaturan durasi dan waktu pengisian air dapat dilakukan melalui antarmuka pengguna (GUI) ditunjukkan pada Gambar 8, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan durasi pengairan berdasarkan kebutuhan tanaman atau kondisi lingkungan. Setelah durasi yang ditentukan tercapai atau kelembaban tanah sudah mencukupi, solenoid valve secara otomatis menutup untuk menghentikan aliran air. Sistem ini tidak hanya memastikan bahwa tanaman menerima jumlah air yang cukup, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan sumber daya air dengan menghindari pemborosan. Penerapan mekanisme pengisian air yang terintegrasi dengan teknologi IoT ini memastikan pengelolaan irigasi yang lebih efisien, mengurangi intervensi manual, dan meningkatkan hasil pertanian secara berkelanjutan.

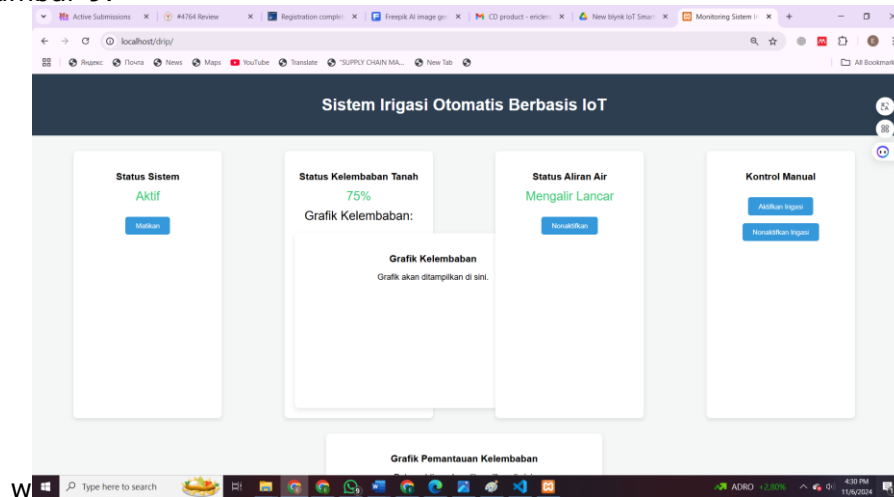


**Gambar 8.** Pengisian Air pada Sistem Drip

### Hasil Tampilan GUI Dashboard Sistem yang dibangun

Hasil tampilan GUI dashboard sistem yang dibangun memberikan antarmuka pengguna yang intuitif dan mudah digunakan untuk memantau serta mengontrol sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Dashboard utama menampilkan informasi penting secara real-time, mulai dari status sistem yang menunjukkan apakah irigasi aktif atau tidak, hingga status kelembaban tanah yang ditampilkan dalam bentuk persentase dan grafik batang, memberikan gambaran jelas tentang kondisi media

tanam. Selain itu, status aliran air juga terlihat pada dashboard untuk menunjukkan apakah aliran air berjalan lancar atau ada masalah dalam sistem irigasi. Untuk kontrol manual, dashboard dilengkapi dengan tombol yang memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pengisian air serta mengatur durasi irigasi sesuai kebutuhan. Grafik pemantauan kelembaban juga disediakan untuk menampilkan data kelembaban tanah secara real-time, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman secara berkelanjutan. Pengguna juga memiliki opsi untuk menyesuaikan pengaturan irigasi, seperti waktu dan durasi pengisian air, langsung melalui dashboard. Selain itu, sistem dilengkapi dengan notifikasi otomatis yang memberi peringatan jika kelembaban tanah terlalu rendah atau jika ada masalah pada aliran air, memberikan kontrol penuh kepada pengguna. Dengan desain responsif yang dapat diakses melalui perangkat desktop dan seluler, tampilan GUI ini memudahkan pengguna untuk mengontrol dan memonitor sistem irigasi kapan saja dan di mana saja, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Sistem Dashboard yang Telah Dibangun

#### 4. Hasil Pengujian (*Testing*)

Tahapan pengujian ini menggunakan metode *blackbox testing*. Pengujian sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan metode **Blackbox Testing** bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi dan fitur sistem beroperasi sesuai dengan yang diharapkan tanpa mengganggu interaksi pengguna. Pada pengujian ini, berbagai komponen penting seperti sensor kelembaban tanah, aliran air, aktuator solenoid valve, dan antarmuka pengguna (GUI) diuji secara komprehensif untuk memastikan sistem berjalan secara otomatis dan efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memenuhi semua kriteria yang telah ditetapkan, dengan semua fitur berfungsi dengan baik, mulai dari pengaturan pengisian air hingga pemantauan kelembaban tanah dan pemberian peringatan secara otomatis jika ada masalah dalam sistem. Dengan keberhasilan pengujian ini yang ditunjukkan pada Tabel 1, sistem irigasi otomatis berbasis IoT siap untuk diimplementasikan dalam skala yang lebih besar dan memberikan manfaat nyata dalam pengelolaan sumber daya air di sektor pertanian.

**Tabel 1.** Pengujian *Blackbox Testing*

No	Fitur yang Diuji	Input Uji	Output yang Diharapkan	Hasil Pengujian
1	<b>Status Sistem</b>	Tekan tombol "Start" pada GUI	Status sistem berubah menjadi "Aktif"	<b>Lulus</b>
2	<b>Status Kelembaban Tanah</b>	Sensor kelembaban mendeteksi kelembaban 30%	Menampilkan kelembaban tanah sebagai "30%" dan grafik batang yang sesuai	<b>Lulus</b>
3	<b>Status Aliran Air</b>	Aliran air berfungsi normal	Menampilkan status aliran air "Berjalan Lancar"	<b>Lulus</b>
4	<b>Kontrol Manual</b>	Tekan tombol "Matikan Irigasi" pada GUI	Solenoid valve menutup dan air berhenti mengalir	<b>Lulus</b>
5	<b>Pengaturan Durasi Irigasi</b>	Set durasi pengisian air 10 menit	Air mengalir selama 10 menit dan berhenti secara otomatis	<b>Lulus</b>
6	<b>Peringatan Kelembaban Tanah Rendah</b>	Kelembaban tanah < 20%	Muncul notifikasi peringatan kelembaban rendah	<b>Lulus</b>
7	<b>Notifikasi Aliran Air Tidak Lancar</b>	Gangguan pada aliran air (misal: penyumbatan)	Muncul peringatan "Masalah Aliran Air"	<b>Lulus</b>
8	<b>Grafik Pemantauan Kelembaban</b>	Pemantauan secara real-time	Grafik batang yang menunjukkan fluktuasi kelembaban secara akurat	<b>Lulus</b>
9	<b>Kontrol Pengaturan Irigasi</b>	Atur waktu irigasi selama 20 menit	Irigasi berjalan selama 20 menit	<b>Lulus</b>

Sumber: Hasil Pengolahan Data IoT Peneliti

Berdasarkan pengujian **Blackbox Testing** yang telah dilakukan pada sistem irigasi otomatis berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa seluruh fitur sistem berfungsi sesuai dengan yang diharapkan, menunjukkan tingkat keberhasilan yang sangat tinggi dalam pengoperasian sistem. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian dan analisis keberhasilan:

1. Status Sistem: Pengujian menunjukkan bahwa ketika pengguna menekan tombol "Start" pada GUI, status sistem berhasil berubah menjadi "Aktif", yang mengindikasikan bahwa sistem irigasi berjalan dengan lancar. Keberhasilan: 100%
2. Status Kelembaban Tanah: Sensor kelembaban yang terpasang berfungsi dengan baik, menampilkan data kelembaban dalam bentuk persentase dan grafik batang dengan akurat. Ketika kelembaban tanah terdeteksi pada 30%, sistem berhasil menampilkan informasi tersebut di dashboard. Keberhasilan: 100%
3. Status Aliran Air: Pengujian menunjukkan bahwa sistem dengan tepat mendeteksi aliran air yang berjalan lancar, dengan status "Berjalan Lancar" yang muncul pada dashboard. Sistem mampu memastikan bahwa air mengalir ke tanaman dengan baik. Keberhasilan: 100%
4. Kontrol Manual: Tombol "Matikan Irigasi" pada GUI berhasil mengaktifkan atau menonaktifkan pengisian air sesuai perintah pengguna, yang memastikan kontrol manual yang efektif. Keberhasilan: 100%
5. Pengaturan Durasi Irigasi: Pengguna dapat mengatur durasi pengairan melalui antarmuka pengguna, dan sistem berhasil mengontrol waktu irigasi sesuai dengan durasi yang ditentukan, misalnya selama 10 menit. Keberhasilan: 100%

6. Peringatan Kelembaban Tanah Rendah: Sistem berhasil mendeteksi kelembaban tanah yang rendah (di bawah 20%) dan mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna, memberi tahu bahwa tanaman membutuhkan air lebih banyak. Keberhasilan: 100%
7. Notifikasi Aliran Air Tidak Lancar: Ketika ada masalah pada aliran air, misalnya penyumbatan, sistem secara otomatis mengirimkan peringatan "Masalah Aliran Air", memberikan informasi yang diperlukan untuk perbaikan sistem. Keberhasilan: 100%
8. Grafik Pemantauan Kelembaban: Grafik pemantauan kelembaban yang ditampilkan di dashboard secara real-time menunjukkan fluktuasi kelembaban tanah dengan akurat, memudahkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman secara berkelanjutan. Keberhasilan: 100%
9. Kontrol Pengaturan Irigasi: Sistem memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan waktu dan durasi pengisian air sesuai dengan kebutuhan mereka, dan pengujian menunjukkan bahwa pengaturan ini berhasil diterapkan. Keberhasilan: 100%

**Tabel 2.** Hasil Perbandingan Penggunaan Air Sistem Manual dan Sistem IoT

No	Metode Irigasi	Rata-rata Penggunaan Air per Hari	Kondisi Kelembaban Tanah	Efisiensi Penggunaan Air	Keterangan
1	Sistem Manual	25 Liter	Tidak Stabil	-	Penyiraman dilakukan berdasarkan perkiraan pengguna
2	Sistem IoT Otomatis	16 Liter	Stabil dan sesuai ambang batas	36% lebih hemat	Penyiraman dilakukan otomatis berdasarkan sensor kelembaban

Berdasarkan hasil pengujian penggunaan air, sistem irigasi berbasis IoT menunjukkan efisiensi penggunaan air yang lebih baik dibandingkan sistem manual. Sistem mampu menghemat penggunaan air hingga 36% karena proses pengairan hanya dilakukan ketika kelembaban tanah berada di bawah batas minimum yang telah ditentukan.

**Tabel 3.** Hasil Keberhasilan Pengujian Sistem

No	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Pembacaan Kelembaban	Sensor membaca kelembaban secara real-time	Berhasil membaca data kelembaban	Berhasil
2	Kontrol Irigasi Otomatis	Pompa aktif saat tanah kering	Sistem bekerja otomatis	Berhasil
3	Kontrol Irigasi Manual melalui Dashboard	Pengguna dapat menghidupkan/mematikan pompa	Fungsi berjalan normal	Berhasil
4	Monitoring Dashboard IoT	Data tampil secara real-time	Data tampil pada dashboard	Berhasil
5	Pengaturan Irigasi Durasi	Sistem berhenti sesuai waktu yang ditentukan	Durasi berjalan sesuai pengaturan	Berhasil
6	Notifikasi Peringatan	Sistem mengirim notifikasi saat terjadi masalah	Notifikasi berhasil dikirim	Berhasil

No	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
7	Monitoring Aliran Air	Sistem mendeteksi aliran air	Status aliran tampil dengan baik	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem berhasil berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna dengan tingkat keberhasilan pengujian mencapai 100%.

**Tabel 4. Perbandingan Sistem IoT dan Sistem Manual**

Aspek	Sistem Manual	Sistem IoT Otomatis
Pengontrolan Irigasi	Dilakukan secara manual	Otomatis berbasis sensor
Efisiensi Penggunaan Air	Kurang efisien	Lebih efisien dan hemat air
Monitoring Kondisi Tanah	Pengamatan langsung	Real-time melalui dashboard
Akses Pengendalian	Harus berada di lokasi	Dapat diakses jarak jauh
Risiko Pemborosan Air	Tinggi	Rendah
Notifikasi Gangguan	Tidak tersedia	Tersedia otomatis
Ketergantungan Pengguna	Tinggi	Lebih rendah
Akurasi Pengairan	Berdasarkan perkiraan	Berdasarkan data sensor

Berdasarkan hasil perbandingan, implementasi teknologi IoT memberikan keunggulan yang signifikan dibandingkan sistem manual, terutama pada aspek efisiensi penggunaan air, otomatisasi pengairan, kemudahan monitoring, dan kemampuan pengendalian jarak jauh secara real-time.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem irigasi tetes otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Extreme Programming (XP) berhasil dikembangkan dan diimplementasikan dengan baik untuk mendukung pengelolaan irigasi pertanian yang lebih efektif dan efisien. Sistem mampu melakukan pemantauan kelembaban tanah secara real-time serta mengontrol proses pengairan secara otomatis berdasarkan data sensor yang diperoleh dari media tanam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem IoT mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan metode manual. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan air pada sistem otomatis lebih hemat hingga sekitar 36% karena proses pengairan hanya dilakukan ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Selain itu, sistem berhasil menjaga kondisi kelembaban tanah tetap stabil sesuai kebutuhan tanaman sehingga dapat mengurangi pemborosan air. Pengujian sistem menggunakan metode Blackbox Testing menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem, seperti pembacaan sensor kelembaban, kontrol otomatis irigasi, monitoring dashboard, pengaturan durasi pengairan, kontrol manual, serta notifikasi peringatan, berhasil berjalan sesuai dengan yang diharapkan dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang baik untuk diterapkan dalam pengelolaan irigasi berbasis teknologi. Implementasi teknologi IoT juga memberikan berbagai keunggulan dibandingkan sistem irigasi manual, antara lain kemampuan monitoring dan kontrol jarak jauh secara real-time, pengairan otomatis berbasis sensor, pengurangan ketergantungan terhadap tenaga manusia, serta peningkatan efektivitas dan efisiensi pengelolaan air. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi cerdas dan berkelanjutan dalam mendukung modernisasi sektor pertanian berbasis teknologi IoT.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati, peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi (Unsrat) yang telah memberikan dukungan dan kesempatan melalui program Dana Hibah Penelitian PNBPN program RDTU3 Unsrat Tahun 2024. Dukungan finansial yang diberikan sangat berarti dalam kelancaran pelaksanaan penelitian ini, serta memungkinkan tercapainya hasil yang memadai. Kami berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang positif dalam pengembangan sistem irigasi berbasis IoT dan bermanfaat untuk sektor pertanian, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut di masa yang akan datang. Terima kasih juga kami sampaikan kepada semua pihak yang turut membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam kelancaran penelitian ini.

## 6. REFERENCES

- [1] W. Andriyani *dkk.*, *Teknologi IoT Pada Bidang Pertanian Modern*. TOHAR MEDIA, 2024.
- [2] W. H. Sugiharto, A. Bardadi, dan E. Alfonsius, "Penilaian Kualitas Air Secara Real-Time Menggunakan IoTWQI dan Internet of Things," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Akuntansi*, vol. 5, no. 1, hlm. 73–85, Jun 2025, doi: 10.33365/jimasia.v5i1.489.
- [3] H. Fang, S. Lo, dan J. T. Y. Lo, "Building fire evacuation: An IoT-aided perspective in the 5G era," *Buildings*, vol. 11, no. 12, hlm. 643, 2021.
- [4] C. Kamienski *dkk.*, "Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture," *Sensors*, vol. 19, no. 2, hlm. 276, 2019.
- [5] E. Alfonsius, W. W. Kalengkongan, dan S. C. W. Ngangi, "SISTEM MONITORING DAN KONTROLING PROTOTYPE PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS)," *Jurnal Teknoinfo*, vol. 18, no. 1, 2024.
- [6] R. T. Adhiguna dan A. Rejo, "Teknologi Irigasi Tetes Dalam Mengoptimalkan Efisiensi Penggunaan Air Di Lahan Pertanian," dalam *Seminar Nasional Hari Air Sedunia*, 2018, hlm. 107–116.
- [7] I. B. A. Kencana, I. W. A. Arimbawa, dan I. Wedashwara, "Implementasi Iot Untuk Pemantauan Kelembaban Tanah Dan Debit Air Serta Pengendalian Irigasi Tetes," *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTIIKA)*, vol. 7, no. 2, hlm. 214–224, 2025.
- [8] E. Alfonsius, S. W. C. Ngangi, dan A. L. Kalua, "Sistem Informasi Pendaftaran Pernikahan (SIP-NIKAH) menggunakan Metode Extreme Programming berbasis Website," *Jurnal Media Borneo*, vol. 1, no. 2, hlm. 55–66, 2023.
- [9] T. Ardiansah, "Perancangan Sistem Persediaan Menggunakan Metode Extreme Programming," *Jurnal Ilmiah Informatika Dan Ilmu Komputer (JIMA-ILKOM)*, vol. 1, no. 1, hlm. 1–6, 2022.
- [10] H. Sulistiani, A. Yuliani, dan F. Hamidy, "Perancangan Sistem Informasi Akuntansi Upah Lembur Karyawan Menggunakan Extreme Programming," *Technomedia Journal*, vol. 6, no. 1 Agustus, hlm. 1–14, 2021.
- [11] N. A. Septiani dan F. Y. Habibie, "Penggunaan Metode Extreme Programming Pada Perancangan Sistem Informasi Pelayanan Publik," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 3, no. 3, hlm. 341–349, 2022.
- [12] S. Suwati, M. Muanah, dan B. Basirun, "Testing the Effectiveness of Drip Irrigation Technique Design in Chili Cultivation on Dry Land," *Protech Biosystems Journal*, vol. 3, no. 2, hlm. 110–117, 2024.
- [13] D. Sawitri, "Internet Of Things Memasuki Era Society 5.0," *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 8, no. 1, 2023.

- [14] E. Alfonsius, S. Hasibuan, J. Titaley, dan Y. A. R. Langi, "Sistem Informasi Geografis Persebaran Rumah Kost Dengan Penerapan Foto 360 Berbasis Website (Studi Kasus Pada Kelurahan Kleak)," *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Akuntansi*, vol. 4, no. 1, hlm. 1–16, 2024.
- [15] E. Alfonsius, A. B. Johanes, R. N. F. Mantiri, R. Manahampi, M. Hihola, dan A. C. Hadiwidjaja, "SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS LETAK PERSEBARAN TEMPAT PENGISIAN BAHAN BAKAR KENDARAAN TINGKAT RETAILER MENGGUNAKAN GOOGLE API," *Information System Journal*, vol. 6, no. 02, hlm. 76–85, 2023.
- [16] L. Setiyani, "Pengujian Sistem Informasi Inventory Pada Perusahaan Distributor Farmasi Menggunakan Metode Black Box Testing," *Techno Xplore: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, hlm. 20–27, 2019.
- [17] S. R. Yulistina, T. Nurmala, R. M. A. T. Supriawan, S. H. I. Juni, dan A. Saifudin, "Penerapan Teknik Boundary Value Analysis untuk Pengujian Aplikasi Penjualan Menggunakan Metode Black Box Testing," *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, vol. 5, no. 2, hlm. 129–135, 2020.
- [18] G. S. Mahendra dan I. K. A. Asmarajaya, "Evaluation Using Black Box Testing and System Usability Scale in the Kidung Sekar Madya Application," *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika*, vol. 7, no. 4, hlm. 2292–2302, 2022.