

# Smart Sprout: Irigasi Cerdas Berbasis AIoT untuk Pertanian Modern dan Ramah Lingkungan

Angga Ariawan<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Universitas Media Nusantara Citra

Jl. Arteri Kedoya, Green Garden Blk. A1 No.8, Jakarta Barat, Indonesia

angga.ariawan@mncu.ac.id

Article history:

Received 26 Nov 2024;  
Revised 28 Nov 2024;  
Accepted 02 Des 2024;  
Available online 27 Des 2024

Keywords:

AIoT  
Food Security  
Smart Farm  
Smart Irrigation System  
Smart Sprout

Abstrak

Pertanian modern menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan pangan global sembari menjaga kelestarian lingkungan. Sistem irigasi tradisional sering kali tidak efisien, menyebabkan pemborosan air dan energi. Penelitian ini memperkenalkan SMART SPROUT, sebuah sistem irigasi cerdas berbasis Artificial Intelligence of Things (AIoT) yang dirancang untuk mendukung pertanian modern yang efisien dan ramah lingkungan. Sistem ini mengintegrasikan teknologi sensor IoT untuk memantau parameter lingkungan, seperti kelembapan tanah, suhu, dan curah hujan, serta algoritma kecerdasan buatan untuk mengoptimalkan jadwal irigasi secara real-time. Selain itu, SMART SPROUT memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber daya operasional, sehingga mendukung prinsip keberlanjutan. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi konsumsi air hingga 30% dibandingkan dengan metode irigasi konvensional, tanpa mengorbankan produktivitas tanaman. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pertanian pintar yang mendukung efisiensi sumber daya sekaligus melestarikan lingkungan. Sistem ini memastikan bahwa tanaman menerima jumlah air yang optimal untuk pertumbuhannya, terutama di daerah dengan curah hujan yang tidak konsisten atau tidak mencukupi, sekaligus mengoptimalkan waktu dan upaya yang dihabiskan petani untuk irigasi. Ini menggunakan logika fuzzy, algoritma kecerdasan buatan, untuk menentukan kebutuhan air berbagai jenis tanaman berdasarkan data suhu dan kelembapan yang dikumpulkan dari sensor lingkungan. Data ini terintegrasi dengan teknologi IoT menggunakan ESP32 untuk memberikan pembaruan irigasi secara real-time. Dengan mengotomatiskan proses, sistem menghilangkan risiko jadwal irigasi yang terlupakan atau tidak konsisten, yang sering menyebabkan gagal panen.

## I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim menyebabkan pola curah hujan yang semakin tidak menentu, dengan risiko kekeringan yang lebih sering dan hujan yang tidak konsisten. Tanpa solusi yang efektif, ancaman terhadap ketahanan pangan akan meningkat, dengan kemungkinan penurunan hasil pertanian dan risiko kegagalan panen [1]. Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh sejumlah faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan tanah [2]. Keduanya harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman. Irigasi yang berlebihan dapat menyebabkan kelembapan tanah tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu, irigasi yang dilakukan secara manual oleh petani memerlukan waktu yang cukup lama, menguras energi, dan menyebabkan pemborosan air. Sistem irigasi yang efisien dan cerdas menjadi salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini [3]. Teknologi irigasi berbasis AIoT dapat memanfaatkan integrasi data dari sensor kelembapan, sensor suhu, dan sensor hujan yang membaca kondisi lingkungan secara real-time untuk mengoptimalkan penggunaan air, mengurangi pemborosan, dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat. Dengan cara ini, petani dapat mengatasi dampak perubahan iklim, meningkatkan hasil produksi tanaman, dan mendukung keberlanjutan sumber daya air serta ketahanan pangan di masa depan [4].

Integrasi Artificial Intelligence of Things (AIoT) dalam pertanian menawarkan pendekatan revolusioner terhadap irigasi cerdas, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi manajemen air sekaligus mengurangi biaya

\* Corresponding author

operasional dan tenaga kerja [5]. Studi terbaru menunjukkan potensi besar AIoT dalam mengoptimalkan proses irigasi melalui distribusi air yang presisi dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Misalnya, tinjauan komprehensif oleh Muhammed dkk., mengeksplorasi peran AIoT dalam pertanian cerdas, dengan penekanan pada aplikasi seperti estimasi hasil panen, konservasi tanah dan air, serta manajemen hama, sambil juga membahas tantangan yang ada dan arah penelitian masa depan di bidang ini [6]. Penelitian oleh Putri dkk. yang berjudul "Perancangan Alat Penyiram Tanaman Otomatis pada Miniatur Greenhouse Berbasis IoT" berfokus pada pengembangan sistem irigasi otomatis untuk greenhouse miniatur. Dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT), penelitian ini mengotomatiskan irigasi tanaman berdasarkan data real-time dari sensor kelembaban tanah dan suhu. Sistem yang mengintegrasikan mikrokontroler Arduino dan modul ESP8266 memungkinkan pemantauan serta pengendalian irigasi secara jarak jauh melalui web, memudahkan petani dalam memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat. Penggunaan logika fuzzy sebagai metode pengendalian meningkatkan efisiensi penggunaan air, menghemat waktu, dan mendukung keberlanjutan pertanian pada skala kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi sistem irigasi dan memberikan dasar penting untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi irigasi cerdas yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan lingkungan [7].

## II. LITERATURE REVIEW

Dalam beberapa tahun terakhir, integrasi logika fuzzy dengan teknologi Internet of Things (IoT) telah menjadi area penelitian yang signifikan dalam pengembangan sistem pertanian cerdas [8]. Teknologi IoT menyediakan infrastruktur untuk pengumpulan dan transmisi data real-time melalui sensor yang terhubung, sementara logika fuzzy menawarkan metode pengambilan keputusan yang adaptif dan fleksibel berdasarkan data yang tidak pasti atau variabel. Penelitian terbaru menunjukkan berbagai aplikasi inovatif dari kombinasi ini. Misalnya, Syafiqah N. telah mengembangkan sistem irigasi pintar untuk tanaman cabai yang menggunakan logika fuzzy untuk mengelola penggunaan air berdasarkan data kelembaban dan pH yang dikumpulkan oleh sensor IoT. Sistem ini tidak hanya mengoptimalkan konsumsi air tetapi juga meningkatkan hasil panen dengan cara yang lebih efisien [9].

Dalam penelitian lainnya yang dilakukan oleh munir dkk., sebuah Sistem Irigasi Pintar (Smart Watering System, SWS) cerdas diperkenalkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air di kebun dan ladang kecil hingga menengah. Sistem ini menonjolkan penggunaan Logika Fuzzy sebagai komponen utama dalam pengendalian proses irigasi. Dengan memanfaatkan serangkaian sensor untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time, seperti kelembaban tanah, intensitas cahaya, dan suhu udara, Logika Fuzzy digunakan untuk mengatur jadwal irigasi secara adaptif dan cerdas. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang lebih fleksibel dan tepat berdasarkan data variabel, sehingga mengoptimalkan penggunaan air secara efisien. Sistem ini juga terintegrasi dengan teknologi Blockchain untuk memastikan keamanan data, dan dikendalikan melalui aplikasi Android, menawarkan solusi yang tidak hanya efektif tetapi juga aman dalam mengelola irigasi tanaman [10]. Penelitian ini menghadirkan inovasi signifikan dengan menerapkan sistem irigasi cerdas berbasis Logika Fuzzy dalam konteks kebun terbuka dengan variasi tanaman. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada kebun atau greenhouse dengan tanaman homogen seperti cabai [11], tanaman terung [12] penelitian ini mengatasi tantangan spesifik dalam pengelolaan kebun urban yang menanam berbagai jenis tanaman dalam satu lahan pertanian. Sistem ini memanfaatkan integrasi kecerdasan buatan (Logika Fuzzy) dan *Internet Of Thing* yang selanjutnya disebut sebagai AIoT untuk menangani kebutuhan irigasi yang bervariasi untuk setiap jenis tanaman dalam satu lokasi, menjadikannya solusi adaptif yang dapat mengoptimalkan penggunaan air secara efisien di lingkungan perkotaan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan irigasi tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan pertanian urban dengan cara yang terpersonalisasi dan inovatif.

Dalam penelitian ini, sistem irigasi cerdas berbasis Smart Sprout AIoT menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan dengan metode irigasi manual. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem fuzzy logic dalam mengoptimalkan pengaliran dengan mengurangi konsumsi air secara substansial. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas hanya memerlukan rata-rata 21,69 liter air per sesi irigasi, sementara metode manual menggunakan sekitar 60 liter. Pengurangan ini sebesar 63,85% membuat efisiensi dan penghematan air.

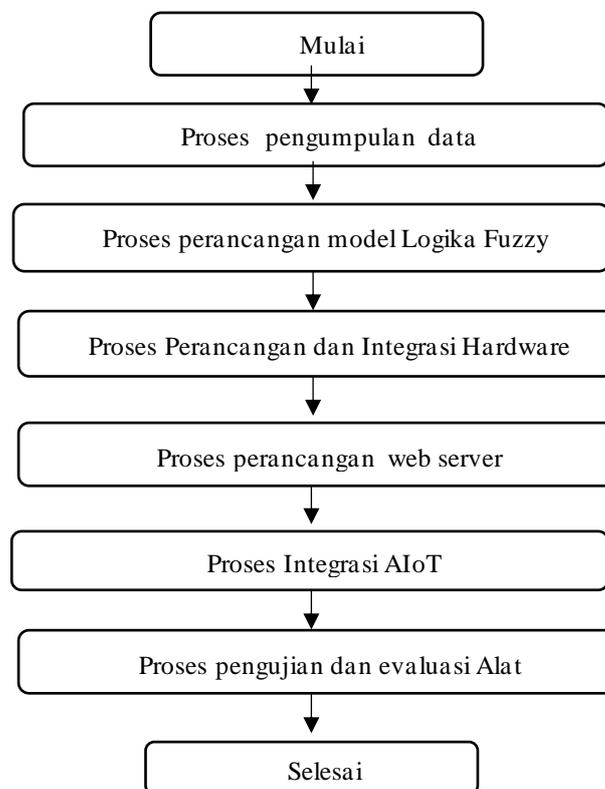
Efisiensi ini dapat dimaknai dalam konteks teori manajemen sumber daya air yang telah dikembangkan dalam literatur ilmiah. Sebagai contoh, studi oleh Benyezza H, dkk. dalam *Journal of Water Resources Management* menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis IoT dalam sistem irigasi dapat mengurangi penggunaan air hingga 46,81% dibandingkan dengan metode konvensional, yang sejalan dengan hasil penelitian ini [13]. Penelitian tersebut menekankan bahwa teknologi IoT memungkinkan pemantauan dan kontrol yang lebih tepat terhadap penggunaan air dengan mempertimbangkan variabel lingkungan secara real-time.

Selain itu, penelitian oleh Bhardwaj p, dkk menyoroti pentingnya sistem berbasis IoT dalam optimasi irigasi. Sistem IoT, seperti yang digunakan dalam penelitian ini, dapat mengatasi ketidakpastian dalam estimasi kebutuhan air dengan cara yang lebih adaptif dibandingkan dengan metode tradisional [14]. Penelitian mereka menunjukkan bahwa implementasi IoT dapat meningkatkan efisiensi irigasi dengan mengoptimalkan jumlah air

yang diberikan sesuai dengan perubahan kondisi lingkungan. Hasil penelitian ini juga mendukung temuan dari penelitian oleh Mohammed, dkk. yang diterbitkan dalam *Journal of Smart Agriculture*. Mereka menemukan bahwa sistem irigasi pintar yang terintegrasi dengan sensor lingkungan dapat mengurangi konsumsi air dan meningkatkan produktivitas tanaman. Penggunaan sensor untuk mengumpulkan data suhu dan kelembaban yang kemudian diolah dengan algoritma fuzzy logic memungkinkan penyesuaian otomatis yang lebih efektif dibandingkan dengan metode manual yang tidak dapat beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kondisi [15]. Dari hasil penelitian ini, jelas bahwa teknologi AIoT dan fuzzy logic memberikan kontribusi penting dalam pengelolaan air yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan kemampuan sistem untuk mengadaptasi jumlah air yang diberikan berdasarkan analisis data secara real-time, sistem ini tidak hanya mengurangi pemborosan air tetapi juga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan produktif. Penghematan air yang signifikan dan penerapan teknologi cerdas dalam irigasi menunjukkan potensi besar untuk adopsi lebih luas dalam praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini, sejalan dengan temuan dari studi-studi terkini, membuktikan bahwa teknologi modern dapat secara efektif meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan memberikan solusi berkelanjutan untuk tantangan-tantangan dalam manajemen air di sektor pertanian.

### III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem berbasis AIoT (Artificial Intelligence of Things) untuk menciptakan sistem irigasi cerdas. Berikut adalah *flowchart* tahapan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian smart sprout

Langkah Langkah Dalam menyelesaikan penelitian ini adalah :

1. Proses Pengumpulan Data  
Proses ini dilakukan dengan cara mengumpulkan semua data yang berhubungan dengan smart sprout irigasi cerdas berbasis AIoT untuk pertanian ramah lingkungan
2. Proses perancangan model Logika Fuzzy  
Perancangan Model dilakukan sesuai dengan kebutuhan smart sprout irigasi cerdas berbasis AIoT untuk pertanian ramah lingkungan
3. Proses perancangan dan Integrasi Hardware menggunakan Sensor DHT22
4. Proses Perancangan Web Server  
Sensor DHT22 yaitu sensor suhu dan kelembaban dan sensor pendeteksi hujan di kebun urban yang memiliki berbagai jenis tanaman seperti kangkung, bayam, terong, dan cabai. Data yang dikumpulkan

secara real-time oleh sensor-sensor yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32, yang diprogram menggunakan MicroPython

5. Proses Integrasi AIoT  
 Integrasi perangkat keras dalam sistem irigasi cerdas merupakan tahap krusial yang melibatkan penyatuan berbagai komponen elektronik untuk memastikan seluruh sistem dapat beroperasi dengan optimal
6. Proses Pengujian dan evaluasi alat  
 Pengujian dilakukan pada kebun urban di RPTRA (Ruang Publik Terbuka Ramah Anak) Abdipraja yang terletak di Kelurahan Pesanggrahan, Jakarta Selatan. Pengujian difokuskan pada area kebun dengan luas 5 meter persegi dan hanya melibatkan dua jalur valve irigasi

## IV. HASIL

### A. Proses Pengumpulan data

Dalam penelitian ini, proses pengumpulan data lingkungan dimulai dengan pemasangan sensor DHT22 yaitu sensor suhu dan kelembaban dan sensor pendeteksi hujan di kebun urban yang memiliki berbagai jenis tanaman seperti kangkung, bayam, terong, dan cabai. Data yang dikumpulkan secara real-time oleh sensor-sensor yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32, yang diprogram menggunakan MicroPython. Data lingkungan diambil dengan interval waktu sampling setiap 5 menit untuk memastikan bahwa perubahan kondisi dapat dideteksi dan ditindaklanjuti dengan cepat oleh sistem. Setelah data diambil, dilakukan proses pengolahan di mana data tersebut dirata-rata dalam dua periode sampling, yaitu 12 jam pertama dan 12 jam berikutnya. Dengan pendekatan ini, data pagi dirata-rata dari pengukuran yang dilakukan selama 12 jam pertama, sementara data sore hingga malam, yang berlanjut hingga pagi berikutnya, dirata-rata dari 12 jam berikutnya. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk memahami dan merespons perbedaan kondisi lingkungan antara pagi dan sore-malam secara lebih akurat, sehingga kebutuhan irigasi dapat disesuaikan dengan kondisi spesifik setiap periode waktu tersebut. Hasil dari rata-rata ini kemudian digunakan sebagai input untuk model logika fuzzy yang mengatur irigasi berdasarkan kebutuhan air tanaman yang telah dihitung.

### B. Proses Perancangan Model Logika Fuzzy

Data kelembaban dan suhu diambil dari sensor DHT22, penggunaan sensor DHT22 sudah dianggap cukup untuk beberapa peneliti pada bidang yang sama karena memiliki kelebihan integrasi 2 sensor yaitu kelembaban dan suhu [16]. Variabel-variabel ini kemudian diolah menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy, yang terdiri dari tiga kategori untuk kelembaban (kering, lembab, dan basah) dan suhu (dingin, normal, dan panas). Setiap fungsi keanggotaan memiliki range tertentu, seperti fungsi keanggotaan "kering" yang bernilai 1 saat kelembaban di udara di bawah 75% dan berkurang hingga 0 saat kelembaban mencapai 80%. Demikian pula, fungsi keanggotaan "dingin" bernilai 1 saat suhu di bawah 18°C dan menurun hingga 0 pada suhu 22°C.

Sedangkan fungsi keanggotaan untuk output waktu irigasi dikategorikan ke dalam empat himpunan fuzzy: *sangat cepat*, *cepat*, *sedang*, dan *lambat*. Interval waktu disesuaikan dengan luas bidang tanam dan jenis tanaman. Fungsi-fungsi ini memungkinkan sistem untuk menentukan kondisi lingkungan secara fuzzifikasi. Selanjutnya, beberapa aturan inferensi fuzzy dibangun untuk menentukan durasi irigasi berdasarkan kombinasi input kelembaban dan suhu. Tabel rule inferensi ditunjukkan oleh tabel 1. Sebagai contoh, jika udara "kering" dan suhu "panas", maka durasi irigasi akan menjadi "cepat".

TABEL 1  
 INFERENCE FUZZY

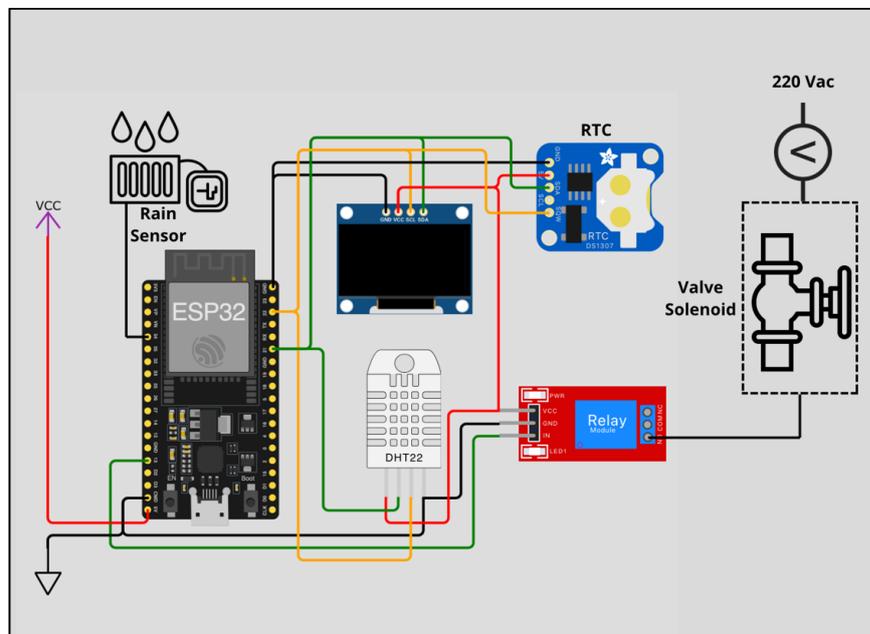
|      |        | Kelembaban |        |        |
|------|--------|------------|--------|--------|
|      |        | Kering     | Lembab | Basah  |
| Suhu | Dingin | Lambat     | Lambat | Lambat |
|      | Normal | Sedang     | Lambat | Lambat |
|      | Panas  | Cepat      | Lambat | Lambat |

Setiap aturan menghasilkan nilai keluaran yang kemudian diolah melalui proses defuzzifikasi untuk menentukan output akhir, yaitu lamanya waktu irigasi dalam satuan menit. Nilai output ini diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata berbobot dari semua output yang dihasilkan oleh aturan-aturan fuzzy yang berlaku.

### C. Proses Perancangan dan Integrasi Hardware

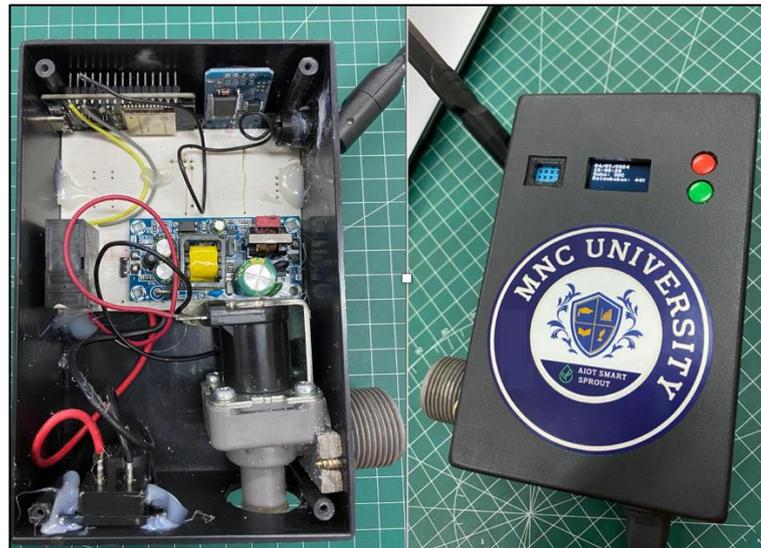
Integrasi perangkat keras dalam sistem irigasi cerdas merupakan tahap krusial yang melibatkan penyatuan berbagai komponen elektronik untuk memastikan seluruh sistem dapat beroperasi dengan

optimal. Proses ini diawali dengan pemasangan Power Supply yang bertugas menyediakan daya stabil bagi seluruh rangkaian. Pada inti sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali utama, yang diprogram menggunakan MicroPython. ESP32 ini bertanggung jawab untuk memproses data dari berbagai sensor dan mengendalikan perangkat lainnya berdasarkan hasil pengolahan data tersebut. Selain itu, Modul RTC (Real Time Clock) diintegrasikan untuk menjaga akurasi waktu, yang sangat penting dalam pengaturan jadwal irigasi, sehingga sistem dapat berfungsi sesuai dengan rencana tanpa terganggu oleh perubahan waktu. Sensor-sensor yang terhubung dengan ESP32 memainkan peran penting dalam mengumpulkan data lingkungan. Sensor DHT22, misalnya, digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, memberikan informasi real-time mengenai kondisi lingkungan. Sensor deteksi hujan juga diintegrasikan untuk mendeteksi adanya curah hujan, memungkinkan sistem untuk menyesuaikan jadwal irigasi secara otomatis berdasarkan kondisi cuaca. Untuk mengontrol aliran air, Modul Relay dipasang untuk mengoperasikan saklar 220 Vac yang mengendalikan valve pengatur air. Valve ini berfungsi sebagai aktuator yang membuka atau menutup aliran air berdasarkan perintah dari ESP32, yang diputuskan berdasarkan data yang diterima dari sensor-sensor tersebut. Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul display OLED yang digunakan untuk menampilkan informasi penting secara real-time, seperti kondisi suhu, kelembaban, status sistem, atau data lainnya yang relevan perancangan wiring hardware ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2 Wiring komponen

Gambar 3 menampilkan sistem hardware yang telah diintegrasikan dengan rapi ke dalam sebuah box. Box ini dirancang untuk melindungi komponen-komponen elektronik dari kondisi lingkungan yang dapat merusak, seperti kelembaban tinggi atau paparan debu. Di dalamnya, seluruh perangkat keras, termasuk ESP32, sensor DHT22, sensor pendeteksi hujan, modul RTC, relay, saklar, dan display OLED, telah terhubung dan ditempatkan dengan baik. Setiap komponen tetap aman dan mudah diakses untuk pemeliharaan, berkat pengaturan dan penempatan yang terorganisir dengan cermat. Penempatan ini memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara optimal dan memiliki daya tahan yang baik di lapangan. Antena yang dipasang di bagian luar box berfungsi untuk memaksimalkan jangkauan sinyal, sehingga memastikan komunikasi yang stabil dan efektif antara sistem dan perangkat lainnya. Desain ini tidak hanya meningkatkan keandalan operasional tetapi juga mempermudah proses pemeliharaan dan perbaikan jika diperlukan.



Gambar 3 Hardware yang telah diintegrasikan

Tahap berikutnya adalah perancangan web server, yang dikembangkan untuk menyediakan antarmuka bagi petani agar mereka dapat memantau kondisi kebun dan mengendalikan sistem irigasi dari jarak jauh. Web server ini dikembangkan menggunakan ESP32 yang terhubung ke jaringan lokal atau internet, memungkinkan pengguna untuk mengakses data lingkungan secara real-time serta mengatur jadwal irigasi atau menjalankan irigasi secara manual berdasarkan data yang diterima. Kemudian, dilakukan integrasi AIoT, di mana kecerdasan buatan dalam bentuk logika fuzzy diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk mengotomatisasi proses irigasi. Sistem ini akan bekerja secara otomatis, memberikan jumlah air yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, dan memungkinkan pemantauan serta pengendalian melalui web server atau aplikasi mobile. Terakhir, pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi cuaca. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan konsisten dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil produksi tanaman. Hasil pengujian dibandingkan dengan metode irigasi konvensional untuk menilai sejauh mana sistem irigasi cerdas ini berhasil dalam mencapai tujuan penelitian.

#### D. Proses perancangan web server

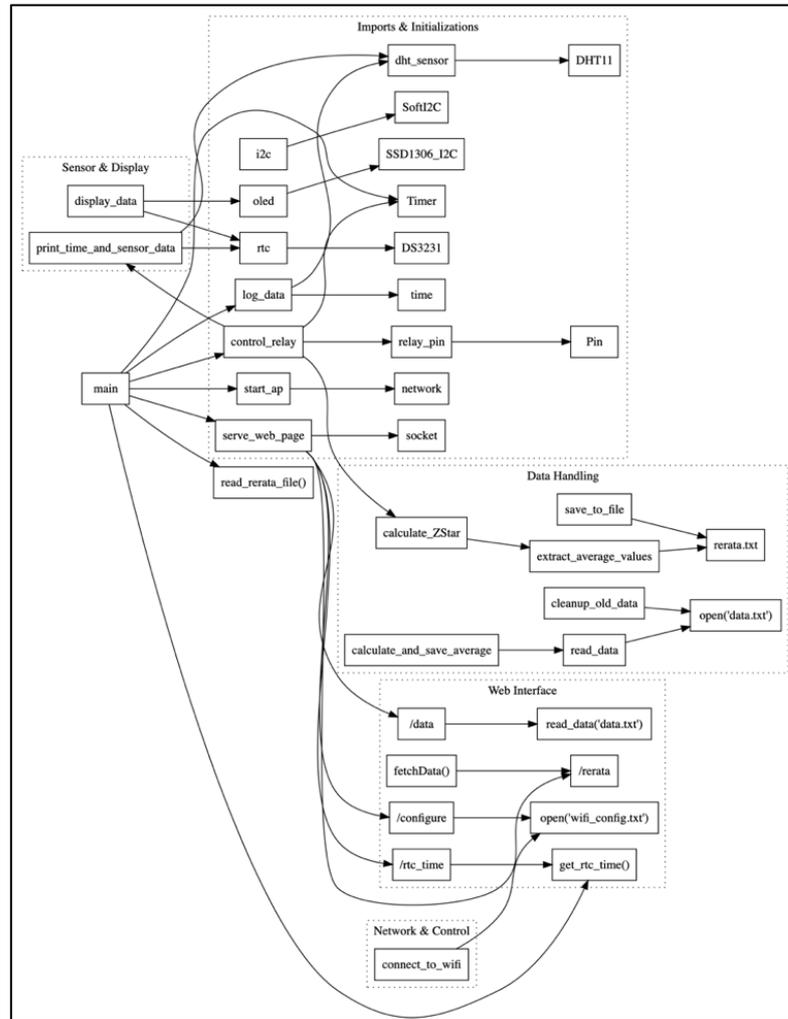
Dalam perancangan web server ini, tiga komponen utama HTML, CSS, dan JavaScript diintegrasikan pada MicroPython untuk mengembangkan antarmuka pengguna yang fungsional dan menarik. HTML digunakan untuk menstrukturkan elemen dasar tampilan web, seperti judul, teks, dan form input yang memungkinkan pengguna berinteraksi langsung dengan sistem irigasi. CSS kemudian diterapkan untuk mengatur gaya dan tata letak halaman, memberikan sentuhan visual yang responsif dan konsisten, termasuk pengaturan warna latar belakang, penataan teks, serta desain form input yang mudah diakses. JavaScript ditambahkan untuk memperkaya fungsionalitas halaman dengan elemen-elemen dinamis, seperti memperbarui waktu secara real-time menggunakan RTC (Real Time Clock) dan menampilkan data suhu serta kelembaban yang diambil langsung dari server MicroPython. Ketiga elemen ini diintegrasikan dalam MicroPython, memungkinkan halaman web untuk berkomunikasi dengan perangkat ESP32, sehingga pengguna dapat mengatur dan memantau sistem irigasi otomatis berbasis IoT dengan lebih efisien. Integrasi ini memastikan bahwa semua interaksi yang dilakukan pengguna melalui antarmuka web diproses secara langsung oleh MicroPython, menjadikannya solusi yang efisien untuk manajemen sistem irigasi. Untuk menggunakan antarmuka web server ini, pertama-tama pengguna harus menghubungkan perangkat mereka ke akses poin yang disediakan oleh ESP32. Setelah terhubung, pengguna dapat membuka halaman web melalui browser untuk mulai mengonfigurasi pengaturan sistem irigasi otomatis. Pengguna membuka halaman web yang di-host oleh ESP32 melalui browser. Di halaman ini pada gambar 4, pengguna akan melihat form input untuk mengatur jaringan WiFi dengan memasukkan SSID dan password yang sesuai. Selain itu, terdapat input waktu untuk menentukan jadwal irigasi pagi dan sore. Setelah semua informasi diisi, pengguna cukup

menekan tombol "Submit," dan data akan dikirim ke server MicroPython untuk diproses. Di halaman yang sama, pengguna juga dapat melihat waktu real-time yang ditampilkan secara otomatis, serta data rata-rata suhu dan kelembaban yang diperbarui secara berkala. Data ini membantu pengguna dalam memantau kondisi lingkungan secara langsung. Untuk mengakses data log atau mengubah pengaturan lainnya, pengguna dapat menggunakan opsi yang tersedia pada antarmuka.

#### **E. Proses Integrasi AIoT**

Integrasi AIoT dalam sistem irigasi cerdas melibatkan penggabungan teknologi logika fuzzy dengan Internet of Things (IoT), yang memungkinkan sistem untuk beroperasi secara otomatis dan responsif terhadap kebutuhan spesifik tanaman ditunjukkan pada gambar 4. Proses ini dimulai dengan mengimplementasikan model logika fuzzy yang telah dirancang untuk mengolah data lingkungan dari sensor, seperti kelembaban udara dan suhu udara, serta informasi cuaca seperti curah hujan. Model ini menetapkan aturan-aturan fuzzy untuk menentukan durasi irigasi yang optimal berdasarkan kondisi yang terukur. Pada tahap integrasi, seluruh komponen hardware seperti ESP32, sensor-sensor, modul RTC, dan relay dipasang dan dikonfigurasi untuk bekerja secara sinergis dalam satu sistem yang terintegrasi dengan baik. ESP32 berfungsi sebagai pusat kontrol utama yang mengolah data sensor dan mengendalikan perangkat lain berdasarkan hasil perhitungan model logika fuzzy. Modul RTC memastikan jadwal irigasi tetap akurat, sementara relay dan valve mengatur aliran air secara otomatis sesuai dengan kebutuhan yang ditentukan. Proses integrasi sistem SMART SPROUT dimulai dengan menyatukan berbagai komponen teknologi untuk menciptakan sistem irigasi cerdas yang mampu beradaptasi secara real-time terhadap kondisi lingkungan. Sistem ini terbagi menjadi tiga tahapan utama: integrasi sensor dan display, integrasi impor dan inisialisasi, serta pengelolaan data yang dilengkapi dengan kecerdasan buatan (AI). Pada tahap pertama, yaitu integrasi sensor dan display, sensor DHT22 berperan dalam mengukur suhu dan kelembaban lingkungan. Data yang diperoleh ditampilkan secara real-time di layar OLED melalui komunikasi I2C. Selain itu, waktu dan tanggal dari modul RTC (DS3231) juga ditampilkan, sehingga memungkinkan pemantauan yang kontinu. Tahap kedua adalah integrasi impor dan inisialisasi, di mana berbagai modul penting seperti sensor DHT22, layar OLED, modul RTC, dan relay yang dikendalikan melalui pin GPIO diinisialisasi. Tahap ini memastikan semua komponen berfungsi secara sinkron untuk mendukung operasi keseluruhan sistem. Tahap terakhir adalah pengelolaan data dan proses AI. Data dari sensor disimpan dan diolah untuk menghasilkan parameter penting seperti nilai rata-rata dan ZStar, yang digunakan untuk pengambilan keputusan otomatis dalam irigasi. Kecerdasan buatan berperan dalam menganalisis data tersebut guna mengoptimalkan pola irigasi sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi lingkungan.

Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan antarmuka web yang memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem secara jarak jauh melalui koneksi Wi-Fi.



Gambar 4 Diagram Integrasi sistem

## V. PEMBAHASAN

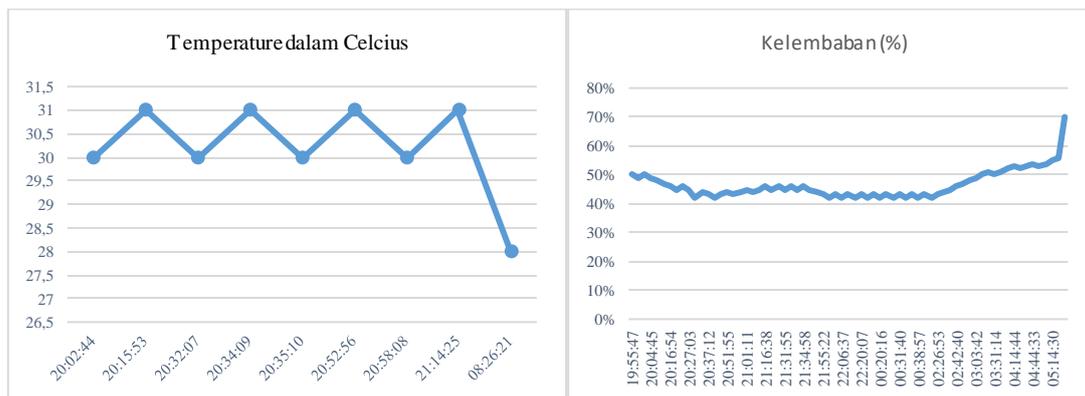
Pengujian dilakukan pada kebun urban di RPTRA (Ruang Publik Terbuka Ramah Anak) Abdipraja yang terletak di Kelurahan Pesanggrahan, Jakarta Selatan. Pengujian difokuskan pada area kebun dengan luas 5 meter persegi dan hanya melibatkan dua jalur valve irigasi. Box alat yang telah diintegrasikan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, dipasang di lokasi tersebut. Box ini dilengkapi dengan integrasi AIoT seperti ESP32 sebagai perangkat IoT, sensor suhu dan kelembaban, serta sensor deteksi hujan dan valve solenoid untuk mengatur aliran air. Pompa pendorong air digunakan.



Gambar 5 Pemasangan smart sprout

Pompa pendorong air digunakan untuk memastikan distribusi air yang efisien dan merata ke seluruh area irigasi. Pompa ini bekerja secara otomatis sesuai dengan bukaan dari valve solenoid yang diberikan oleh sistem kontrol fuzzy, yang telah menghitung kebutuhan air berdasarkan data suhu dan kelembaban yang diperoleh. Ketika valve dibuka, pompa aktif dan mendorong air dengan tekanan yang cukup untuk mencapai semua tanaman dalam area irigasi. Ini memastikan bahwa setiap tanaman menerima jumlah air yang tepat, sehingga tidak ada area yang mengalami kekurangan atau kelebihan air. Efektivitas penggunaan pompa ini tercermin dalam hasil yang ditampilkan pada Tabel 2, yang menunjukkan hubungan antara durasi pembukaan valve dan jumlah air yang didistribusikan, serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman. Pompa ini juga dilengkapi dengan sensor tekanan untuk menghindari kerusakan akibat tekanan berlebih, memastikan sistem irigasi berjalan dengan lancar dan efisien selama operasi.

Pada bagian ini, hasil pengambilan data dari sensor suhu Gambar 6 dan kelembaban pada gambar 10 selama periode 24 jam disajikan dalam bentuk grafik yang menampilkan perubahan nilai-nilai tersebut. Grafik ini hanya mencakup data yang mengalami perubahan signifikan selama periode tersebut, sehingga memudahkan untuk mengamati fluktuasi lingkungan yang relevan. Data ini kemudian diolah dengan menghitung rata-rata dari setiap perubahan yang terjadi dan digunakan sebagai input dalam sistem logika fuzzy. Dengan demikian, grafik ini tidak hanya menggambarkan dinamika kondisi lingkungan secara visual, tetapi juga memberikan dasar yang kuat untuk pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam sistem irigasi cerdas.



Gambar 6 Data Temperature dan Data kelembaban

Setiap pengukuran yang dilakukan akan dihitung rata-ratanya, baik untuk suhu maupun kelembaban, dan hasilnya disimpan dalam file terpisah dengan nama file *rerata.txt*. Data rerata ini kemudian digunakan sebagai input pada sistem fuzzy logic yang telah diimplementasikan. Dengan demikian, sistem ini dapat menentukan keputusan yang lebih akurat dalam mengendalikan irigasi tanaman secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan yang telah dianalisis. Tabel 2 memberikan gambaran mengenai durasi pembukaan valve dan jumlah air yang digunakan dalam setiap siklus irigasi berdasarkan hasil analisis sistem fuzzy logic. Setiap nilai dalam tabel tersebut merupakan hasil dari proses inferensi fuzzy yang mempertimbangkan data suhu dan kelembaban rata-rata dari file *rerata.txt* sebagai variabel input. Dengan memanfaatkan pendekatan ini, sistem irigasi cerdas dapat menyesuaikan penggunaan air secara dinamis, memastikan bahwa tanaman menerima jumlah air yang optimal sesuai dengan kondisi lingkungan aktual. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air tetapi juga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan produktif. Selain itu, pompa pendorong air digunakan untuk memastikan aliran air yang konsisten dan sesuai dengan kebutuhan irigasi yang telah ditentukan oleh sistem fuzzy logic. Tabel 2 menjadi merupakan pengujian yang dilakukan secara soft computing dengan melakukan random sampling pada 9 keadaan yang berbeda sesuai dengan rule inferensi fuzzy. Pengujian ini dimaksudkan untuk membantu mengidentifikasi pola penggunaan air yang efisien serta memberikan panduan untuk penyesuaian lebih lanjut dalam implementasi sistem irigasi cerdas di lapangan.

Dalam sistem irigasi ini, bahwa spesifikasi pompa pendorong yang digunakan mampu mengalirkan air sebanyak 1 liter per menit. Dengan asumsi ini, jika waktu irigasi yang ditetapkan adalah 30 menit, maka volume air yang dihasilkan oleh pompa adalah 30 liter. Dalam perhitungan ini, setiap menit irigasi menghasilkan 1 liter air, sehingga selama 30 menit, total volume air yang digunakan adalah 30 liter. Hasil pengujian dengan logika fuzzy ditunjukkan pada tabel 2.

TABEL 1  
SAMPLING DATA DENGAN LOGIKA FUZZY

| No | Rerata Suhu | Rerata Kelembaban (%) | Lamanya buka valve menit | Banyaknya Air (liter) |
|----|-------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. | 17          | 70                    | 25                       | 25                    |
| 2. | 27          | 75                    | 14,6875                  | 14,6875               |
| 3. | 40          | 60                    | 10                       | 10                    |
| 4. | 18          | 85                    | 25                       | 25                    |
| 5. | 83          | 25                    | 25                       | 25                    |
| 6. | 82          | 38                    | 25                       | 25                    |
| 7. | 19          | 92                    | 22,149                   | 22,149                |
| 8. | 30          | 94                    | 23,4                     | 23,4                  |
| 9. | 45          | 95                    | 25                       | 25                    |

Berdasarkan hasil wawancara dengan operator irigasi di kebun, diketahui bahwa rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan irigasi manual adalah 60 menit, yang menghabiskan sekitar 60 liter air per sesi irigasi. Dalam pengujian sistem irigasi cerdas menggunakan Smart Sprout AIoT, rata-rata konsumsi air yang tercatat adalah sekitar 21,69 liter per sesi irigasi. Dari data tersebut, dapat dihitung efisiensi penggunaan air dari sistem irigasi cerdas dibandingkan dengan metode irigasi manual sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Penggunaan Air} = \frac{\text{Konsumsi Air Manual} - \text{Konsumsi Air Smart Sprout}}{\text{Konsumsi Air Manual}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan demikian, sistem irigasi cerdas Smart Sprout AIoT menunjukkan efisiensi penggunaan air sekitar 63,85% dibandingkan dengan metode irigasi manual. Hal ini berarti bahwa sistem irigasi cerdas mampu mengurangi konsumsi air secara signifikan, memberikan kontribusi besar terhadap penghematan sumber daya dan peningkatan efisiensi dalam pengelolaan irigasi.

## VI. KESIMPULAN

Hasil pengujian sistem irigasi cerdas berbasis Smart Sprout AIoT menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan air yang signifikan dibandingkan dengan metode irigasi manual. Berdasarkan wawancara dengan operator irigasi di kebun, diketahui bahwa metode manual menghabiskan sekitar 60 liter air per sesi irigasi dengan durasi waktu 60 menit. Sebaliknya, sistem irigasi cerdas yang diuji hanya memerlukan rata-rata 21,69 liter air untuk sesi yang sama. Perhitungan efisiensi penggunaan air menunjukkan bahwa sistem irigasi cerdas Smart Sprout AIoT mampu mengurangi konsumsi air sebesar 63,85% dibandingkan dengan metode manual. Pengurangan ini merupakan hasil dari kemampuan sistem untuk menyesuaikan jumlah air yang diberikan berdasarkan analisis data suhu dan kelembaban yang diinputkan melalui sistem fuzzy logic. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menentukan kebutuhan air yang lebih tepat, mengurangi pemborosan, dan memastikan bahwa tanaman menerima jumlah air yang optimal sesuai dengan kondisi lingkungan yang aktual. Efisiensi penggunaan air yang tinggi ini menunjukkan potensi besar dari teknologi AIoT dalam meningkatkan pengelolaan sumber daya air dalam pertanian. Penghematan air yang signifikan ini tidak hanya berdampak positif pada efisiensi operasional, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi jejak konsumsi air. Selanjutnya, hasil ini membuka peluang untuk penerapan teknologi serupa dalam skala yang lebih luas, memungkinkan praktik pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Molotoks, P. Smith, and T. P. Dawson, "Impacts of land use, population, and climate change on global food security," *Food Energy Secur*, vol. 10, no. 1, Feb. 2021, doi: 10.1002/fes3.261.
- [2] W. Dwi Meilianto, W. Indrasari, and E. Budi, "Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2022 Seminar Nasional Fisika 2021 Program Studi Fisika dan Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA," 2022, doi: 10.21009/03.SNF2022.
- [3] C. Wagg, S. Hann, Y. Kupriyanovich, and S. Li, "Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality," *Agric Water Manag*, vol. 247, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106731.
- [4] Y. Prasetyo *et al.*, "APPLICATION OF AUTOMATIC WATERING SYSTEM FOR SMART AGRICULTURE AT PEKARANGAN PANGAN LESTARI SENGKOLO MAKMUR," *Jurnal Layanan Masyarakat (Journal of Public Services)*, vol. 7, no. 3, pp. 369–374, Sep. 2023, doi: 10.20473/jlm.v7i3.2023.369-374.
- [5] R. S. Muthu, "Agricultural Internet of Things: Challenges and Future Research Directions," 2022.
- [6] D. Muhammed, E. Ahvar, S. Ahvar, M. Trocan, M. J. Montpetit, and R. Ehsani, "Artificial Intelligence of Things (AIoT) for smart agriculture: A review of architectures, technologies and solutions," Aug. 01, 2024, *Academic Press*. doi: 10.1016/j.jnca.2024.103905.
- [7] A. Rahma Putri, J. Teknik Elektro Program Studi Teknik Telekomunikasi, P. Negeri Sriwijaya Jl Srijaya Negara, and B. Besar Palembang, "Perancangan Alat Penyiram Tanaman Otomatis pada Miniatur Greenhouse Berbasis IOT," 2019.
- [8] Waluyo, A. Widura, F. Hadiatna, and D. Anugerah, "Fuzzy-Based Smart Farming and Consumed Energy Comparison Using the Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 69241–69251, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3291616.
- [9] N. Syafakilah, *2020 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (2CACIS 2020) : proceedings : 20th June 2020, Shah Alam, Malaysia : virtual conference, Shah Alam, Malaysia*. IEEE, 2020.
- [10] M. S. Munir, I. S. Bajwa, and S. M. Cheema, "An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 77, pp. 109–119, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.compeleceng.2019.05.006.
- [11] T. Dewi Hendrawati and K. Algifary, "Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) Politeknik Sukabumi," 2022. [Online]. Available: <https://sukabumikota.bps.go.id/>,
- [12] M. Taufik *et al.*, "ABSTRACT IRRIGATION CONTROL SYSTEM OF EGGPLANT (SOLANUM MELONGENA) USING FUZZY LOGIC Sistem Kendali Irigasi Tanaman Terung (Solanum Melongena) Menggunakan Fuzzy Logic," 2023. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- [13] H. Benyezza, M. Bouhedda, and S. Rebouh, "Zoning irrigation smart system based on fuzzy control technology and IoT for water and energy saving," *J Clean Prod*, vol. 302, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127001.
- [14] P. Bhardwaj, A. Srivastava, A. K. Pandey, A. Singh, and B. Tripathi, "IoT Based Smart Agriculture Aid System using Raspberry Pi," *Int J Eng Adv Technol*, vol. 10, no. 5, pp. 274–278, Jun. 2021, doi: 10.35940/ijeat.e2767.0610521.
- [15] B. Mohammed, H. Bekkay, A. Migan-Dubois, M. Adel, and A. Rabhi, "An intelligent irrigation system based on fuzzy logic control: A case study for Moroccan oriental climate region." [Online]. Available: <https://hal.science/hal-03312289>
- [16] S. Najmus Sakib, "Application of IoT for Developing Sustainable and Smart Farming," *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*, pp. 78–89, Aug. 2022, doi: 10.34104/ajeit.021.078089.