

PENYIRAMAN TANAMAN MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY BERDASARKAN SENSOR KELEMBABAN TANAH, SUHU, HUJAN DENGAN ESP8266

Abdul Jabar Nur Firdaus^{1*}, Achmad Solichin², Gerald Herlando N³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, Jakarta Selatan, Indonesia

Email: ^{1*}abduljf37@email.com, ²achmad.solichin@budiluhur.ac.id, geraldherlando.ghn@gmail.com³
(*: *corresponding author*)

Abstrak-Penyiraman tanaman secara manual sering kali tidak efisien dan dapat mengakibatkan penyiraman berlebih atau kurang, yang berpotensi merusak tanaman. Masalah ini khususnya terjadi pada pemilik kebun atau pertanian skala kecil yang tidak memiliki sistem otomatisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyiraman cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan metode prototype sebagai solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Sistem ini menggunakan logika fuzzy untuk pengambilan keputusan otomatis berdasarkan data *real-time* dari sensor suhu, kelembaban tanah, dan sensor hujan, dengan parameter yang diukur meliputi kelembaban tanah (0-750), suhu (0-50°C), dan kondisi hujan. Prototipe sistem dibangun menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler yang mengirimkan data sensor ke *platform cloud* Firebase, memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem melalui aplikasi *Android*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30% dibandingkan metode penyiraman manual, serta menjaga kondisi kelembaban tanah dalam rentang optimal hingga 85% dari waktu pengujian. Kesimpulannya, sistem ini menawarkan solusi praktis dan efisien untuk penyiraman tanaman yang dapat diimplementasikan secara luas, terutama dalam konteks pertanian modern yang membutuhkan penggunaan sumber daya air yang lebih cermat.

Kata Kunci: *Smart Garden, Internet Of Things (IoT), Penyiraman tanaman otomatis, NodeMCU ESP8266, Prototyping, Android, Firebase*

PLANT WATERING USING FUZZY LOGIC BASED ON SOIL MOISTURE, TEMPERATURE, RAIN SENSORS WITH ESP8266

Abstract-Manual plant watering is often inefficient and can result in overwatering or underwatering, potentially damaging the plants. This issue particularly affects small-scale garden or farm owners who lack an automated system. This study aims to develop a smart watering system based on the *Internet of Things* (IoT) using the prototype method as a solution to address this problem. The system utilizes fuzzy logic for automatic decision-making based on real-time data from temperature, soil moisture, and rain sensors, with measured parameters including soil moisture (100-750), temperature (0-50°C), and rain conditions. The prototype system is built using NodeMCU ESP8266 as the main microcontroller, which sends sensor data to the *Firestore* cloud platform, allowing users to monitor and control the system through an *Android* application. The test results indicate that this automated watering system can increase water usage efficiency by up to 30% compared to manual watering methods and maintain optimal soil moisture conditions for up to 85% of the testing period. In conclusion, this system offers a practical and efficient solution for plant watering that can be widely implemented, particularly in the context of modern agriculture that requires more careful use of water resources.

Keyword: *Smart Garden, Internet Of Things (IoT), Automatic Plant Watering, NodeMCU ESP8266, Prototyping, Android, Firebase*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin pesat, kebutuhan manusia akan segala sesuatu yang praktis dan mudah semakin meningkat. Salah satu bidang yang merasakan dampak dari perkembangan ini adalah sektor pertanian, khususnya dalam hal penyiraman tanaman. Dengan adanya kebutuhan untuk mempermudah pekerjaan sehari-hari, manusia menciptakan berbagai alat elektronik yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT). *Internet of Things* (IoT) merupakan konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus. Pada dasarnya, *Internet of Things* (IoT) mengacu pada benda-benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai representasi virtual dalam struktur berbasis internet [1].

Saat ini perkembangan usaha tanaman menjadi sangat populer di kota-kota besar, dengan semakin menipisnya lahan kosong, para pengusaha tanaman dan penggiat tanaman selalu mencari cara agar penanaman menjadi lebih efisien dengan kondisi lahan yang sempit dan kondisi air di kota-kota besar yang semakin menipis, karena kondisi lahan yang sedikit para penggiat tanaman membuat inovasi untuk menanggulangi keterbatasan lahan tersebut dengan cara membuat *vertical garden* atau penanaman keatas dengan media tanam khusus.

Teknologi smart garden merupakan salah satu inovasi yang lahir dari penerapan Internet Of Things (IoT) dalam bidang pertanian. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol tanaman di halaman rumah serta menyiram tanaman secara otomatis dan manual. Dalam kondisi di mana pengguna jauh dari lokasi penanaman, monitoring suhu dan kelembaban tanah seringkali menjadi tantangan, dan menyiram tanaman secara manual memerlukan banyak waktu serta sering kali terjadi *human error* yang menyebabkan tanaman layu dan mati, entah itu karena lupa menyiram dan menyebabkan kondisi tanah terlalu kering atau penyiraman yang dilakukan terlalu banyak menyebabkan kondisi tanah terlalu basah dan menyebabkan akar tanaman busuk. Dengan adanya alat ini, pengguna dapat mengetahui kondisi lokasi bercocok tanam secara *real-time* di mana pun dan kapan pun selama terkoneksi dengan internet.

Untuk membuat sistem penyiraman tanaman efektif, diperlukan logika *fuzzy* yang menggunakan tiga parameter utama, yaitu kelembaban tanah, suhu dan hujan, dari tiga parameter itu akan dilakukan perhitungan untuk mencari kondisi akhir lingkungan, apakah kondisi lingkungan buruk dan perlu dilakukan penyiraman, kondisi lingkungan buruk tapi tidak bisa melakukan penyiraman karena suhu terlalu panas yang bisa menyebabkan air terlalu cepat menguap dan membuat daun terbakar, kondisi lingkungan baik dan tidak perlu ada penyiraman. Penelitian terkait bisa dilihat pada tabel 1 berikut

Tabel 1. Tabel Studi Literatur

Nama	Tahun	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
[3]	2021	Mengembangkan sistem penyiraman pintar menggunakan aplikasi blackbox (blynx) dengan mikrokontroler Arduino Uno R3 untuk membantu pengguna merawat tanaman meskipun memiliki kesibukan lain	Metode Prototype	Penelitian ini berhasil menciptakan solusi dari permasalahan penyiraman tanaman yang tidak efektif dan memakan banyak waktu.
[5]	2024	Mengembangkan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan logika fuzzy yang terintegrasi dengan teknologi <i>Internet of Things</i> (IoT) berbasis ESP8266 dan aplikasi Blynk untuk mempermudah pengelolaan irigasi pada tanaman.	Metode Prototype	Sistem yang dikembangkan berfungsi dengan baik dalam mengotomatisasi penyiraman tanaman, memungkinkan pemantauan dan kontrol yang efisien melalui aplikasi Blynk, serta meningkatkan efektivitas irigasi sesuai dengan kebutuhan tanaman.
[6]	2022	Mengembangkan <i>Smart Water Protocol</i> (SWP) untuk irigasi kebun di kota, dengan tujuan meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui sistem irigasi otomatis yang cerdas dan terintegrasi.	Metode Prototype	Protokol SWAP sukses mengatur irigasi secara efisien, mengurangi pemborosan air, dan memastikan bahwa kebun kota mendapatkan jumlah air yang optimal berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan tanaman.

Salah satu manfaat dari implementasi sistem smart garden adalah meminimalisir kegagalan dalam bercocok tanam dikarenakan penyiraman yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan saat ini. Dengan monitoring dan kontrol penyiraman jarak jauh, perangkat yang terpasang di lokasi bercocok tanam, seperti pompa penyiraman dan berbagai perangkat elektronik lainnya, dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui aplikasi yang terhubung ke internet secara realtime dengan sensor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode logika *fuzzy* dengan Firebase dan aplikasi Android. Sistem yang dirancang ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan penyiraman tanaman dengan efisien, serta memungkinkan untuk melakukan monitoring suhu, kelembaban tanah, kelembaban udara, hujan dan intensitas cahaya. Selain itu, pengguna dapat memilih untuk melakukan penyiraman tanaman secara otomatis atau melakukan kontrol penyiraman manual di aplikasi *Android*.

Dalam penelitian ini, penulis membandingkan metode penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya dalam lima tahun terakhir, mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan metode yang digunakan, dan mencari peluang inovasi yang dapat diterapkan pada penelitian ini. Penelitian sebelumnya menemukan bahwa pembuatan alat penyiraman otomatis didasarkan pada dua parameter utama yaitu kelembaban tanah dan suhu lingkungan, seperti pada penelitian [3]. Padahal pada beberapa penelitian sebelumnya hanya kelembaban tanah yang dijadikan parameter utama, misalnya pada penelitian [4]. Penelitian ini juga menambahkan parameter tambahan yaitu intensitas matahari sebagai parameter irigasi otomatis. Perkembangan ini didasarkan pada karya

[3] menyatakan bahwa paparan cahaya pada tanaman juga menjadi salah satu parameter penting. Apabila menggunakan parameter intensitas cahaya, sensor LDR digunakan sebagai alat input.

Hal ini terinspirasi dari karya [2] menggunakan sensor serupa untuk mengembangkan sistem pemantauan smart garden berbasis *Internet Of Things* (IoT) untuk tanaman cabai. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP 8266 dan beberapa alat penginderaan antara lain sensor kelembaban tanah, sensor LDR, dan sensor DHT11. Pada penelitian ini, kami menggunakan relay dan pompa submersible mini DC untuk mengontrol perangkat. Ini dapat dikontrol melalui aplikasi Android yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Tujuan penggunaan perangkat ini adalah untuk memantau kelembaban, suhu, dan kelembaban tanah.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah metode prototyping, Metode ini merupakan metode pembuatan sistem terstruktur yang melibatkan melewati beberapa fase. Pendekatan prototipe untuk merancang perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) digunakan untuk sistem taman cerdas. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai controller utama atau pemrosesan utama, alat ini dan bertindak sebagai pemancar untuk status sensor, seperti DHT-11 dan *Capacitive Soil Moisture* sensor. Data dari ke dua sensor diatas akan ditampilkan dalam aplikasi android yang sudah terkoneksi dengan Firebase.

2.1 Data Penelitian

Pada penelitian ini, data deteksi sensor kelembaban digunakan untuk pengujian. Deteksi kelembaban tanah dilakukan menggunakan Sensor Kelembaban Tanah KAPASITIF V2.0. Sensor ini menggunakan teknologi kapasitif untuk mendeteksi kelembaban tanah melalui kontak fisik. Alat ini memanfaatkan perubahan kapasitas akibat perbedaan kelembaban tanah. Sensor ini memiliki rentang pengukuran kelembaban 0 hingga 750 dan dipasang pada sudut 90 derajat terhadap permukaan tanah. Ketika tanah menjadi lembab, kapasitansi sensor meningkat sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi.

Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur kondisi suhu dan kelembaban lingkungan. Sensor DHT11 mampu mengukur suhu pada rentang 0 hingga 50 derajat *Celcius* dengan akurasi kurang lebih 2 derajat *Celcius*. Sensor ini mengubah suhu menjadi sinyal digital yang dapat diproses lebih lanjut. Sensor ini memungkinkan kondisi suhu di dalam kabin diatur sesuai kebutuhan untuk menjamin kenyamanan penumpang.

2.2 Rancangan Basis Data

Pada Sub bab ini menjelaskan tentang perancangan database yang digunakan pada aplikasi SmartGarden. Firebase Realtime Database digunakan sebagai database utama untuk mendukung kebutuhan aplikasi yang memerlukan pengolahan data secara real-time. Firebase Realtime Database dipilih karena menyinkronkan data antar pengguna secara real time dan memberikan performa pengelolaan data yang tinggi. Rancangan basis data pada aplikasi ini bisa dilihat pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Rancangan Basis Data Skripsi IOT

No	Nama Field	Keterangan
1.	DHT <i>humidity</i>	<i>Humidity</i>
2.	DHT <i>temperature</i>	<i>Temperature</i>
3.	L1	<i>Trigger Relay 1 (Pump)</i>
4.	L6	<i>Fan Status</i>
5.	L3	<i>Manual Control (Lamp)</i>
6.	L4	<i>Trigger Relay 3 (Fan)</i>
7.	L5	<i>Pump Status</i>
7.	<i>SoilMoisture</i>	<i>Soil Moisture</i>
8.	ldr	<i>Light Sensor</i>
9.	rain	<i>Rain Sensor</i>

2.3 Penerapan Metode *Fuzzy Logic*

Pada sub bab ini menjelaskan tentang tabel aturan logika fuzzy yang digunakan pada aplikasi *Smart Garden*. Logika *fuzzy* memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel dan adaptif berdasarkan kondisi lingkungan yang diukur oleh sensor sistem *Smart Garden*.

2.4.1. Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Berikut adalah fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk *Soil Moisture* dan *Temperature*:

a. *Soil Moisture*

$$\mu_{\text{Basah}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq 500 \\ \frac{600 - x}{100} & \text{jika } 500 < x \leq 600 \\ 0 & \text{jika } x > 600 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 500 \\ \frac{z - 500}{100} & \text{jika } 500 < x \leq 600 \\ \frac{750 - z}{150} & \text{jika } 600 < x \leq 750 \\ 0 & \text{jika } x > 750 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Kering}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 600 \\ \frac{z - 600}{150} & \text{jika } 600 < x \leq 750 \\ 1 & \text{jika } x > 750 \end{cases}$$

b. *Temperature*

$$\mu_{\text{Dingin}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \leq 20 \\ \frac{30 - x}{10} & \text{jika } 20 < x \leq 30 \\ 0 & \text{jika } x > 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Normal}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 20 \\ \frac{z - 20}{10} & \text{jika } 20 < x \leq 30 \\ \frac{35 - z}{5} & \text{jika } 30 < x \leq 35 \\ 0 & \text{jika } x > 35 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Panas}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x \leq 30 \\ \frac{z - 30}{5} & \text{jika } 30 < x \leq 35 \\ 1 & \text{jika } x > 35 \end{cases}$$

c. *Rain*

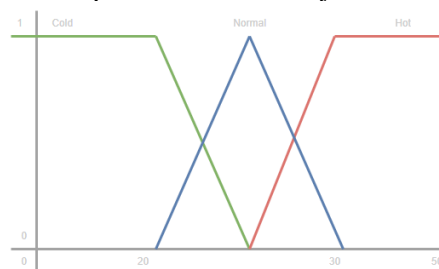
$$\mu_{\text{Rain}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{jika } x = 0 \\ 1 & \text{jika } x = 1 \end{cases}$$

2.4.2. Grafik Keanggotaan *Fuzzy*

Grafik keanggotaan *fuzzy* diperlukan sebelum menentukan tabel aturan *fuzzy*, menerapkan batas atas, bawah, dan tengah, serta menerapkan logika *fuzzy*. Grafik ini digunakan untuk menggambarkan fungsi keanggotaan variabel *fuzzy*, termasuk kondisi seperti kelembaban tanah basah, normal, dan kering, serta suhu dingin, normal, dan panas. Diagram ini memungkinkan Anda untuk memvisualisasikan dan memahami bagaimana nilai masukan dipetakan ke derajat keanggotaan dalam berbagai kategori *fuzzy* dan digunakan dalam proses inferensi *fuzzy*.

a. Grafik Keanggotaan *Temperature*

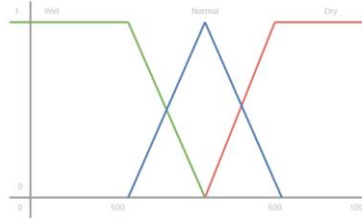
Gambar 1 adalah grafik keanggotaan temperature, pada grafik ini dijelaskan bahwa kondisi *cold* berada pada suhu 0-20 derajat, kondisi normal berada pada suhu 21-30 derajat, *hot* berada pada suhu 31 sampai 50 derajat.



Gambar 1. Grafik Keanggotaan *Temperature*

b. Grafik Keanggotaan *Soil Moisture*

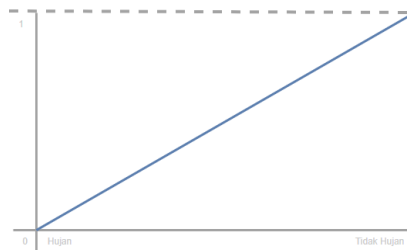
Gambar 2 adalah grafik keanggotaan soil moisture ini dijelaskan bahwa kondisi *wet* berada pada angka 0-500, normal berada pada angka 501-600 dan kondisi *dry* berada pada angka 601-1000.



Gambar 2. Grafik Keanggotaan *Soil Moisture*

c. Grafik Keanggotaan Rain

Pada gambar 3 grafik ini dijelaskan kondisi hujan berada di angka 0, sedangkan kondisi tidak hujan berada pada angka 1, dikarenakan tipe sensor yang dipakai digital, nilai sensor ini hanya bisa menampilkan data 0 dan 1



Gambar 3. Grafik Keanggotaan Rain

2.4.3. Tabel Aturan Fuzzy

Tabel Aturan Fuzzy Di bawah ini adalah tabel aturan *fuzzy* yang menggabungkan kondisi kelembaban tanah dan suhu untuk menentukan keputusan akhir apakah pompa akan menyala atau mati dan untuk menentukan keputusan kipas DC menyala atau mati. Tabel aturan *fuzzy* bisa dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Tabel Aturan *Fuzzy*

No	Rain Status	Soil Moisture	Temperature	Result	Fuzzy Output	
1.	Not Raining	Wet	Cold	Pump OFF	Fan OFF	0
2.	Not Raining	Wet	Normal	Pump OFF	Fan OFF	5
3.	Not Raining	Wet	Hot	Pump OFF	Fan ON	10
4.	Not Raining	Normal	Cold	Pump OFF	Fan OFF	15
5.	Not Raining	Normal	Normal	Pump OFF	Fan OFF	20
6.	Not Raining	Normal	Hot	Pump OFF	Fan ON	25
7.	Not Raining	Dry	Cold	Pump ON	Fan OFF	30
8.	Not Raining	Dry	Normal	Pump ON	Fan OFF	35
9.	Not Raining	Dry	Hot	Pump ON	Fan ON	40
10.	Raining	Wet	Cold	Pump OFF	Fan OFF	45
11.	Raining	Wet	Normal	Pump OFF	Fan OFF	50
12.	Raining	Wet	Hot	Pump OFF	Fan ON	55
13.	Raining	Normal	Cold	Pump OFF	Fan OFF	60
14.	Raining	Normal	Normal	Pump OFF	Fan OFF	65
15.	Raining	Normal	Hot	Pump OFF	Fan ON	70
16.	Raining	Dry	Cold	Pump OFF	Fan OFF	75
17.	Raining	Dry	Normal	Pump OFF	Fan OFF	80
18.	Raining	Dry	Hot	Pump OFF	Fan ON	85

2.4 Rancangan Alat

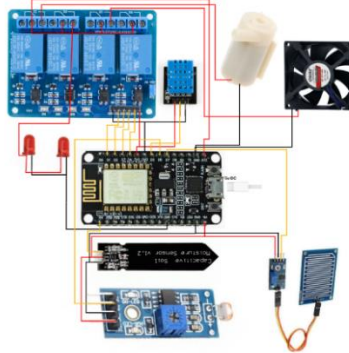
Dalam rancangan prototype ini mikrokontroler NodeMCU ESP8266 digunakan sebagai alat pemrosesan atau kontroller utama, kabel penghubung, 4 chanel relay dengan tipe *low level trigger*, sensor kelembaban tanah, sensor DHT11, sensor LDR dengan tipe *analog/digital out*, kabel adaptor, dan pompa. NodeMCU ESP8266

berperan sebagai controller atau konfigurator untuk semua komponen tersebut, sehingga dapat dihubungkan dan dikontrol melalui aplikasi *Android*. Lihat tabel 4 untuk informasi lebih lanjut tentang komponen-komponen ini.

Tabel 4. Tabel Daftar Komponen

No	Nama Komponen	Fungsi
1.	NodeMCU ESP8266	Berfungsi sebagai <i>microcontroller</i> yang mengatur semua sensor dan <i>relay</i>
2.	Kabel <i>Jumper</i>	Berfungsi sebagai penghubung komponen yang ada
3.	<i>Breadboard</i>	Berfungsi sebagai pengganti papan PCB
4.	4 <i>Chanel Relay</i>	Berfungsi sebagai saklar otomatis yang mengatur arus listrik ke pompa dan kipas
5.	<i>Soil Moisture</i> Sensor	Berfungsi untuk mendeteksi kelembaban tanah.
6.	DHT11	Berfungsi untuk mendeteksi suhu dan kelembaban udara
7.	LDR	Berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya
8.	<i>Rain</i> Sensor	Berfungsi untuk mendeteksi hujan
9.	Pompa dc	Berfungsi untuk memompa air
10.	Kipas dc	Berfungsi untuk menurunkan suhu
11.	LED	Berfungsi untuk penerangan taman

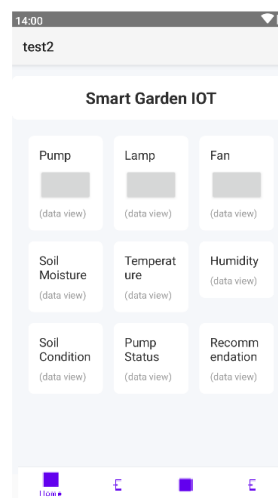
Komponen-komponen tersebut dirangkai menjadi prototipe smart farming berbasis *Internet of Things* (IoT), seperti terlihat pada Gambar 4 dibawah ini. Konfigurasi ini memungkinkan Anda mengatur prototipe dan menghubungkannya ke jaringan Internet untuk memantau dan mengontrol sistem Anda.



Gambar 4. Wiring Diagram

2.5 Rancangan Layar

Perancangan layar menu utama *Smart Garden* ini merupakan layar yang digunakan sebagai patokan pada saat membuat layar kendali pengawasan dengan aplikasi *Android*. Layar ini memiliki beberapa fungsi. Artinya, nilai data suhu yang ditampilkan, nilai data kelembaban, nilai data kelembaban tanah, dan kemampuan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa dan lampu. Rancangan layar dari aplikasi *Smart Garden* bisa dilihat pada gambar 5 berikut



Gambar 5. Rancangan Layar

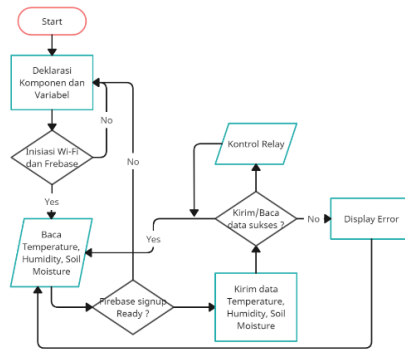
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merinci berbagai tahapan dalam pengembangan prototipe *smart garden* berbasis *Internet Of Things* (IoT). Proses ini meliputi instalasi perangkat, konfigurasi sistem, implementasi lapangan, dan evaluasi kinerja prototipe. Setiap langkah dijelaskan secara rinci, menunjukkan cara memasang perangkat, cara mengkonfigurasi sistem untuk fungsionalitas optimal, cara mengimplementasikan prototipe dalam kondisi dunia nyata, dan cara mendemonstrasikan efektivitas dan efisiensi sistem. Memberikan gambaran yang komprehensif tentang bagaimana melakukan penilaian untuk memastikan penulis telah mengembangkan perangkat untuk mengevaluasi sistem. penulis memberikan penjelasan yang mudah dipahami mulai dari proses pengembangan hingga evaluasi prototipe.

3.1 Flowchart

a. Flowchart Alat

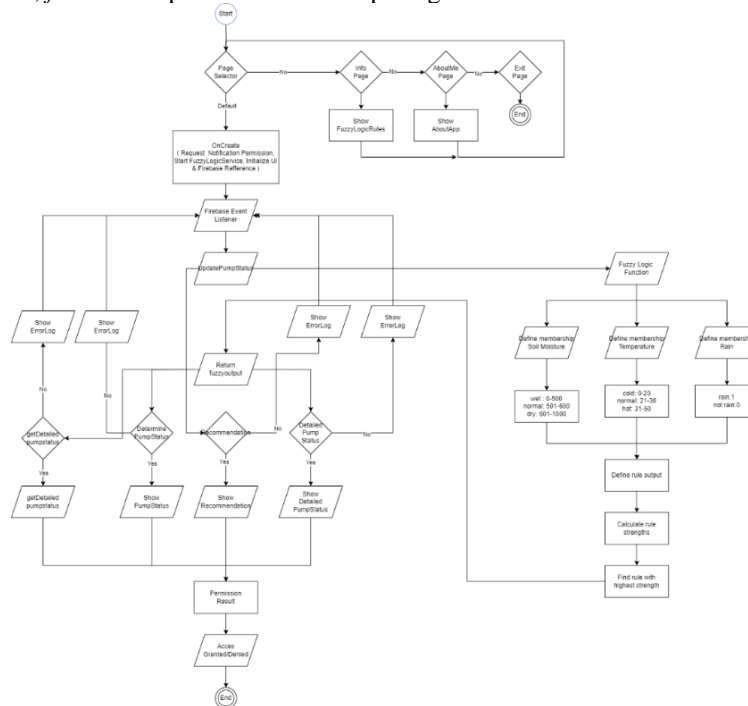
Flowchart ini menggambarkan alur proses dari alat/*hardware* secara menyeluruh, mulai dari deklarasi variabel, koneksi internet, *signup firebase*, kirim/terima data, *flowchart* alat bisa dilihat pada gambar 6 berikut:



Gambar 6. *Flowchart* Alat

b. Flowchart Aplikasi

Flowchart ini memberikan penjelasan tentang proses yang dijalankan di aplikasi *Android*, mulai dari awal hingga proses selesai, *flowchart* aplikasi bisa dilihat pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. *Flowchart* Aplikasi

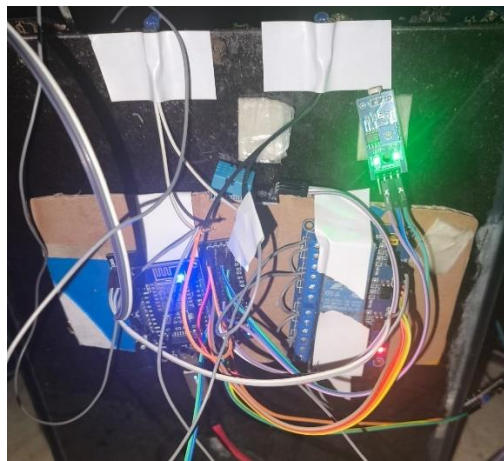
3.2 Pengujian Alat

Selama fase ini, serangkaian pengujian komprehensif pada perangkat yang tersedia dilakukan. Pengujian ini mencakup evaluasi peralatan kontrol dan beberapa sensor yang digunakan dalam aplikasi *smart garden*. Setiap komponen diuji secara individual dan keseluruhan untuk memastikan kinerja optimal dan kesesuaian dengan spesifikasi yang dinyatakan.

Di bawah ini kami sajikan secara detail hasil pengujian tersebut, termasuk analisis performa, daya tanggap, akurasi pengukuran, dan stabilitas operasional setiap alat dan sensor yang digunakan. Hasil pengujian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai efektivitas dan efisiensi perangkat yang digunakan dan mengidentifikasi area untuk perbaikan atau penyesuaian lebih lanjut. Gambar 8 dan 9 merupakan tampilan alat dari sisi depan dan belakang.



Gambar 8. Tampilan Alat Depan



Gambar 9. Tampilan Alat Belakang

3.3 Pengujian Logika Fuzzy

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa logika *fuzzy* berjalan dengan baik sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Tabel pengujian logika *fuzzy* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Tabel Pengujian Logika Fuzzy

No.	Kelembaban Tanah (Nilai Analog)		Suhu (°C)		Status Hujan (Nilai Digital)	Rules	Fuzzy Output
1.	213	Wet	18	Cold	Tidak hujan	0	0
2.	287	Wet	21	Normal	Tidak hujan	1	5
3.	341	Wet	24	Normal	Tidak hujan	1	5
4.	427	Wet	33	Hot	Tidak hujan	2	10

5.	552	Normal	18	Cold	Tidak hujan	3	15
6.	562	Normal	22	Normal	Tidak hujan	4	20
7.	581	Normal	38	Hot	Tidak hujan	5	25
8.	612	Dry	20	Cold	Tidak hujan	6	30
9.	672	Dry	21	Normal	Tidak hujan	7	35
10.	681	Dry	23	Normal	Tidak hujan	7	35
11.	712	Dry	36	Hot	Tidak hujan	8	40
12.	751	Dry	40	Hot	Tidak hujan	8	40
13.	213	Wet	18	Cold	Hujan	9	45
14.	287	Wet	21	Normal	Hujan	10	50
15.	341	Wet	24	Normal	Hujan	10	50
16.	427	Wet	33	Hot	Hujan	11	55
17.	552	Normal	18	Cold	Hujan	12	60
18.	562	Normal	22	Normal	Hujan	13	65
19.	581	Normal	38	Hot	Hujan	14	70
20.	612	Dry	20	Cold	Hujan	15	75
21.	672	Dry	21	Normal	Hujan	16	80
22.	681	Dry	23	Normal	Hujan	16	80
23.	712	Dry	36	Hot	Hujan	17	85
24.	751	Dry	40	Hot	Hujan	17	85

3.4 Hasil Pengujian

Pada tahap ini, berbagai perangkat dan sensor akan diuji untuk memastikan berfungsi sesuai harapan. Pengujian dilakukan tanpa menggunakan kondisi cuaca sebenarnya, namun menggunakan senter untuk mensimulasikan sinar matahari dan menambahkan air untuk meningkatkan kelembaban tanah. Pendekatan ini dipilih karena alasan efisiensi, sekaligus memastikan bahwa hasil pengujian tetap mewakili kondisi lapangan. Pengujian ini memberikan data penting mengenai kinerja dan keandalan perangkat dalam berbagai kondisi yang dikondisikan secara artifisial. Hasil pengujian bisa dilihat pada tabel 6 dan tabel 7

Tabel 6. Tabel Hasil Pengujian

No.	Jam	Kelembaban Tanah (Nilai Analog)	Suhu (°C)	Kelembaban Udara (Nilai Analog)	Status Hujan (Nilai Digital)	Status Pompa (Nilai Digital)	Status Kipas (Nilai Digital)
1.	09:11	442	27	65	Tidak Hujan	Off	Off
2.	10:00	464	27	65	Tidak Hujan	Off	Off
3.	10:05	497	28	64	Tidak Hujan	Off	Off
4.	11:06	485	31	62	Tidak Hujan	Off	On
5.	11:25	501	32	61	Tidak Hujan	Off	On
6.	11:30	521	32	62	Tidak Hujan	Off	On
7.	11:44	556	32	64	Tidak Hujan	Off	On
8.	12:08	641	32	63	Tidak Hujan	On	On
9.	12:20	577	31	60	Tidak Hujan	Off	On
10.	12:36	701	31	59	Tidak Hujan	On	On
11.	12:52	533	30	59	Tidak Hujan	Off	On

Tabel 7. Hasil Kuantitatif

No.	Jam	Nilai Sensor			Hasil Penelitian			
		Kelembaban Tanah (Nilai Analog)	Suhu (°C)	Kelembaban Udara (Nilai Analog)	Status Hujan (Nilai Digital)	Fuzzy Output	Status Pompa	Status Kipas
1.	09:11	442	27	65	Tidak Hujan	1	Off	Off
2.	10:00	464	27	65	Tidak Hujan	1	Off	Off
3.	10:05	497	28	64	Tidak Hujan	1	Off	Off
4.	11:06	485	31	62	Tidak Hujan	1	Off	On
5.	11:25	501	32	61	Tidak Hujan	5	Off	On
6.	11:30	521	32	62	Tidak Hujan	5	Off	On
7.	11:44	556	32	64	Tidak Hujan	5	Off	On
8.	12:08	641	32	63	Tidak Hujan	8	On	On
9.	12:20	577	31	60	Tidak Hujan	5	Off	On
10.	12:36	701	31	59	Tidak Hujan	8	On	On
11.	12:52	533	30	59	Tidak Hujan	4	Off	On

4. KESIMPULAN

Proyek Penerapan Logika *Fuzzy* pada Prototipe Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berdasarkan Parameter Kelembaban Tanah, Suhu dan Hujan Menggunakan Mikrokontroler ESP8266 telah berhasil dikembangkan dan diuji dengan hasil yang memuaskan. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari proyek ini. Sistem *smart garden* ini bekerja menggunakan koneksi *wifi* yang terhubung ke internet, untuk *smartphone* bisa menggunakan internet dari sumber manapun. Sistem ini memiliki fungsi untuk menghitung keputusan akhir penyiraman dengan metode *fuzzy logic* dengan menggunakan parameter hujan, suhu dan kelembaban tanah. Sistem ini membuat penyiraman tanaman menjadi lebih efisien dan membutuhkan lebih sedikit air dan dengan sistem ini, pemilik kebun akan lebih mudah dalam memantau kondisi lahan yang dijadikan tempat tanam. Penggunaan sistem *smart garden* ini tidak hanya untuk satu jenis tanaman khusus, melainkan *universal*, bisa untuk banyak jenis tanaman. *Delay* pada sistem *smart garden* tergantung dari kecepatan internet, semakin cepat dan stabil maka semakin kecil *delay* nya. Semua komponen pada sistem *smart garden* ini menggunakan *power out* dari *NodeMCU ESP8266*, jadi untuk *power backup* bisa menggunakan *powerbank*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Ramdhani, A. Md, D. Haryanto, and M. Kom, "SMART GARDEN DESIGN USING FUZZY LOGIC METHOD WITH CAPACITIVE SOIL MOISTURE SENSOR, HUMIDITY SENSOR AND ARDUINO UNO," *Nusantara Informatics Journal*, vol. 2, no. 1, 2024.
- [2] N. Mukhayat, P. W. Ciptadi, and R. H. Hardyanto, "Sistem Monitoring pH Tanah, Intensitas Cahaya Dan Kelembaban Pada Tanaman Cabai (Smart Garden) Berbasis IoT."
- [3] I. Romli, K. L. Nong Hugo, and I. Afriantoro, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SMART GARDEN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) PADA PERUMAHAN CENTRAL PARK CIKARANG," *Indonesian Journal of Business Intelligence*, vol. 4, no. 2, pp. 42, 2021, doi: 10.21927/ijubi.v4i2.1974.
- [4] A. S. Pambudi, S. Andryana, and A. Gunaryati, "Rancang bangun penyiraman tanaman pintar menggunakan smartphone dan mikrokontroler Arduino berbasis Internet of Things," 2020.
- [5] R. Alamsyah, E. Ryansyah, A. Y. Permana, and R. Mufidah, "SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY DENGAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS BERBASIS ESP8266 DAN APLIKASI BLYNK," *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4007.
- [6] A. Aldegheshem, N. Alrajeh, L. Garcia, and J. Lloret, "SWAP: Smart Water Protocol for the Irrigation of Urban Gardens in Smart Cities," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 39239–39247, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3165579.
- [7] K. Demestichas and E. Daskalakis, "Data lifecycle management in precision agriculture supported by information and communication technology," *Agronomy*, vol. 10, no. 11, 2020, doi: 10.3390/agronomy10111648.
- [8] R. Dwi Pratama, G. Pria Utama, J. C. Chandra, and D. Kusumaningsih, "Prototipe Penyiraman Otomatis Air dan Pupuk Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Website Pada Toko Rezeki Sumber Pot," *SKANIKA: Sistem Komputer Dan Teknik Informatika*, vol. 6, no. 2, pp. 109–118, 2023.
- [9] A. C. D. A. Ferreira, S. L. M. C. Titotto, and A. C. S. Akkari, "Agricultura urbana 5.0: Um estudo exploratório," in *2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2021 - Proceedings*, pp. 1441–1446, 2021, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529771.
- [10] L. García, L. Parra, J. M. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, "IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 4, 2020, doi: 10.3390/s20041042.
- [11] A. D. Gupta, P. Pandey, A. Feijóo, Z. M. Yaseen, and N. D. Bokde, "Smart water technology for efficient water resource management: A review," *Energies*, vol. 13, no. 23, 2020, doi: 10.3390/en13236268.
- [12] I. Kostadinova and V. Totev, "A Model of a Smart Garden Using the Integration of a Set of Components," *TEM Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 1966–1972, 2023, doi: 10.18421/TEM124-06.
- [13] V. P. Kumar, K. C. Ramya, J. S. Abishek, T. S. Arundhathy, B. Bhavvya, and V. Gayathri, "Smart garden monitoring and control system with sensor technology," in *2021 3rd International Conference on Signal Processing and Communication, ICPSC 2021*, pp. 93–97, 2021, doi: 10.1109/ICSPSC51351.2021.9451788.