

Design and Implementation of an IoT-Based Smart Drip Irrigation System Using Takagi-Sugeno Fuzzy Logic for Melon Cultivation

Muhammad Sufi Nur Alif^{1*}, Kharisma Monika Dian Pertiwi^{2*}

* Universitas Telkom

mhmdsufinuralif@students.telkomuniversity.ac.id¹, kharismamonikadp@telkomuniversity.ac.id²

Article Info

Article history:

Received 2025-10-03

Revised 2025-11-01

Accepted 2025-11-08

Keyword:

Fuzzy Logic,
Greenhouse,
IoT,
Melon,
Smart Irrigation,
Takagi-Sugeno.

ABSTRACT

The melon plant (*Cucumis melo* L.), a species of the Cucurbitaceae family, requires precise water management to support optimal growth. This study developed an Internet of Things (IoT)-based innovative irrigation system employing Takagi-Sugeno fuzzy logic to regulate water supply for melon cultivation in a greenhouse. The system integrates a capacitive soil moisture sensor and a DS18B20 temperature sensor, both connected to an ESP8266 microcontroller, which controls a solenoid valve used in the drip irrigation method. Sensor data are transmitted in real-time to Firebase Realtime Database (cloud platform) for monitoring through a web-based interface. The solenoid valve opening duration ranges from 0 to 720 seconds per irrigation session, dynamically adjusted according to soil moisture and temperature inputs. Experimental results demonstrate that the proposed system effectively maintains soil moisture within the optimal range of 60%–80%. However, plant growth evaluation indicates that the system has not fully promoted healthy development, particularly in plant height and leaf width, likely due to additional factors such as soil conditions, humidity, and nutrient availability. Despite these limitations, the proposed smart irrigation system shows strong potential for further refinement to enhance water efficiency and support sustainable melon cultivation.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Melon (*Cucumis melo* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang termasuk dalam famili *Cucurbitaceae* dan memiliki nilai ekonomi tinggi di pasar lokal maupun internasional [1], [2]. Budidaya melon umumnya dilakukan di dalam *greenhouse*, karena lingkungan terkontrol mampu meminimalisasi pengaruh faktor eksternal seperti iklim, curah hujan, dan serangan organisme pengganggu tanaman [3]. Keberhasilan pertumbuhan dan produktivitas melon sangat ditentukan oleh berbagai faktor, di antaranya ketersediaan nutrisi, intensitas cahaya, suhu lingkungan, serta yang paling krusial adalah ketersediaan air yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman [4]. Pertumbuhan melon ditentukan oleh banyak faktor salah satunya adalah pemberian air yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman [5]. Irigasi merupakan faktor penting dalam proses budidaya tanaman melon di *greenhouse*. Namun, seringkali kurangnya pengaturan irigasi pada tanaman melon mengakibatkan masalah seperti kekurangan

air yang menghambat pertumbuhan tanaman, kekeringan pada daun dan buah, serta berkurangnya hasil panen. Di sisi lain, kelebihan air juga dapat terjadi akibat pemberian air yang berlebihan, yang dapat menyebabkan pembusukan akar, penyakit jamur, dan kehilangan nutrisi yang larut dalam air [6]. Mengacu pada acuan agroklimat budidaya melon, kisaran suhu 25–30 °C dan kelembapan tanah 60–80% menjadi target kendali irigasi di *greenhouse* [7].

Pemberian air pada tanaman dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti penggenangan (*flooding*), penyemprotan (*sprinkling*), dan tetesan (*drip*), namun irigasi tetes dianggap paling efisien karena mampu menyalurkan air secara langsung ke zona akar tanaman dengan volume yang terukur [8]. Nora dkk [9] melakukan penelitian teknik budidaya melon *hidroponik* dengan sistem irigasi tetes. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa *drip irrigation* dapat mengurangi kehilangan air akibat evaporasi, meningkatkan efisiensi penggunaan air (*water use efficiency*) serta menjaga kelembapan tanah tetap stabil pada level optimal untuk pertumbuhan tanaman [10]. Dengan keunggulan tersebut,

irigasi tetes menjadi pilihan utama dalam budidaya melon di greenhouse, terutama pada iklim tropis, karena dapat menekan laju evapotranspirasi sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman [11] [12].

Beberapa penelitian penerapan sistem kontrol irigasi tetes berbasis IoT dengan logika fuzzy, seperti model Takagi-Sugeno, telah berhasil menunjukkan efektivitas dalam menjaga kelembaban tanah serta mendukung pengendalian jarak jauh dengan latensi rendah [13]. Misalnya, Liu et al. (2025) memperkenalkan sistem irigasi cerdas otomatis dengan kontrol fuzzy berbasis IoT yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real time, dengan konsumsi daya rendah dan responsif terhadap perubahan lingkungan [14]. Namun demikian, penelitian tersebut tidak secara spesifik menyebutkan jenis tanaman atau kondisi *greenhouse* secara mendalam. Mereka menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban tanah model SKU:SEN0193, dan sensor level air HC-SR04, sementara pengendalian dilakukan menggunakan Raspberry Pi 3 Model B sebagai mikrokontroler utama. Dengan demikian, penelitian ini berupaya melengkapi kekurangan tersebut dengan menerapkan sistem yang lebih terfokus terhadap tanaman melon dalam lingkungan *greenhouse*. Selain itu Novianto dkk [15] melakukan pengembangan alat penyiram tanaman otomatis berbasis IoT menggunakan metode Logika Fuzzy. Pada penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler ESP32 dan aktuator berupa mini pompa. M Chaer dkk [16] mengembangkan aplikasi berbasis mikrokontroller Arduino pada sistem irigasi tetes untuk tanaman sawi. Penelitian tersebut tidak menggunakan logika fuzzy, namun masih dilakukan secara manual.

Kendali irigasi berbasis fuzzy telah banyak dilaporkan, namun sebagian besar tidak memaparkan perancangan parameter dan aturan yang disesuaikan dengan fisiologi melon di *greenhouse* tropis atau tidak menyajikan integrasi cloud beserta metrik kinerjanya secara rinci, sehingga aspek reproduktibilitas dan relevansi agronomis masih terbatas [17], [18]. Penelitian ini akan menggunakan logika fuzzy jenis Takagi-Sugeno karena mampu melakukan pemetaan input ke *output* secara *non-linier* dengan lebih akurat dibandingkan metode *linear* konvensional, yang sangat penting dalam sistem irigasi dimana durasi buka *solenoid valve* tidak selalu berbanding lurus dengan tingkat kelembaban tanah. Misalnya, penelitian [19] berhasil menunjukkan bahwa metode Takagi-Sugeno dapat menyesuaikan durasi irigasi secara dinamis berdasarkan variasi kelembaban dan suhu tanah sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan air. Selain itu, metode ini sangat fleksibel dalam menyesuaikan aturan (*rule*) berdasarkan kondisi lapangan yang nyata dan mudah dipahami serta dimodifikasi oleh manusia. Kelebihan-kelebihan tersebut [20][21] membuat logika fuzzy Takagi-Sugeno sangat sesuai diterapkan pada sistem irigasi cerdas berbasis IoT, yang menuntut respons adaptif terhadap perubahan lingkungan, efisiensi penggunaan air, dan kestabilan dalam mendukung pertumbuhan tanaman melon. Studi ini menawarkan rancangan fuzzy Takagi-Sugeno yang

dituning untuk melon, rule base dua input dengan keluaran singleton berdurasi 0/240/480/720 detik yang ringan di mikrokontroler, serta integrasi *Firestore Realtime Database* dengan autentikasi dan pelaporan latensi-reliabilitas *end-to-end*.

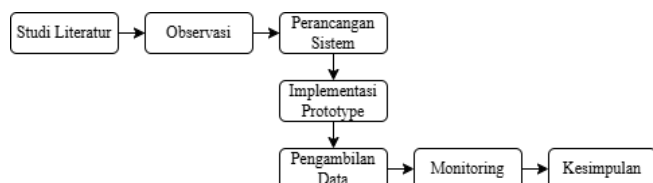
Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi irigasi tetes [22] dengan memanfaatkan parameter suhu dan kelembaban tanah sebagai indikator utama kondisi lingkungan. Perancangan dimulai dengan integrasi unit kendali yang ditempatkan pada *box* kontrol, yang secara langsung terhubung dengan sensor kelembaban tanah dan sensor suhu untuk memperoleh data lingkungan secara akurat. Agar sistem dapat terhubung dengan jaringan internet, digunakan *wireless router* yang memungkinkan kontrol unit berkomunikasi melalui koneksi Wi-Fi. Seluruh data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan dan tersimpan secara *realtime* pada basis data berbasis *cloud* menggunakan *Firestore*, sehingga informasi selalu mutakhir dan dapat diakses kapan pun diperlukan. Proses pemantauan dilakukan melalui antarmuka berbasis web yang dirancang sederhana namun informatif, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lahan secara langsung sekaligus mengendalikan sistem irigasi secara tepat waktu. Dengan integrasi teknologi ini, penelitian diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi pada efisiensi penggunaan air, tetapi juga menjadi solusi inovatif yang praktis dan aplikatif dalam mendukung pertanian modern berbasis *Internet of Things* (IoT) [23], [24].

Penerapan logika fuzzy Takagi-Sugeno dalam penelitian ini berperan penting dalam menghubungkan data suhu dan kelembaban tanah dengan seperangkat aturan fuzzy yang dirancang secara sistematis, sehingga mampu menghasilkan rekomendasi durasi buka-tutup *solenoid valve* yang paling optimal bagi kebutuhan pertumbuhan tanaman melon. Rekomendasi tersebut kemudian diimplementasikan dalam sistem irigasi tetes berbasis *Internet of Things* (IoT) yang berfungsi untuk mengontrol aliran air secara presisi, sehingga kelembaban tanah dapat dijaga pada tingkat yang ideal sesuai kebutuhan fisiologis tanaman. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266, hal ini karena perangkat tersebut sudah dilengkapi modul *wifi* dan *Bluetooth* [25], [26]. Sensor kelembaban tanah yang digunakan adalah YL-69 [27]. Untuk mengevaluasi kinerja sistem, dilakukan perbandingan pertumbuhan dan hasil panen tanaman yang menggunakan sistem irigasi berbasis fuzzy-IoT dengan tanaman yang ditanam tanpa sistem, sehingga dapat diidentifikasi secara objektif efektivitas teknologi yang diusulkan. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya berkontribusi pada peningkatan efisiensi penggunaan air, tetapi juga memberikan pemahaman lebih dalam mengenai keterkaitan antara suhu, kelembaban tanah, dan produktivitas tanaman melon, sekaligus menunjukkan potensi teknologi cerdas berbasis IoT sebagai solusi inovatif dalam mendukung pertanian presisi yang berkelanjutan. Tidak seperti studi terdahulu yang bersifat generik atau tidak spesifik melon, penelitian ini menampilkan rule design TS berdurasi yang diikat ke rentang

kelembapan optimal melon dan melaporkan metrik cloud operasional yang dapat direplikasi [18].

II. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dengan metode irigasi tetes yang dikendalikan oleh logika fuzzy, khusus untuk tanaman melon di dalam *greenhouse*. Integrasi metode irigasi tetes berbasis IoT dengan *fuzzy logic* yang adaptif, yang dirancang untuk menyesuaikan kebutuhan air tanaman berdasarkan parameter lingkungan secara real-time.



Gambar 1 Alur Penelitian

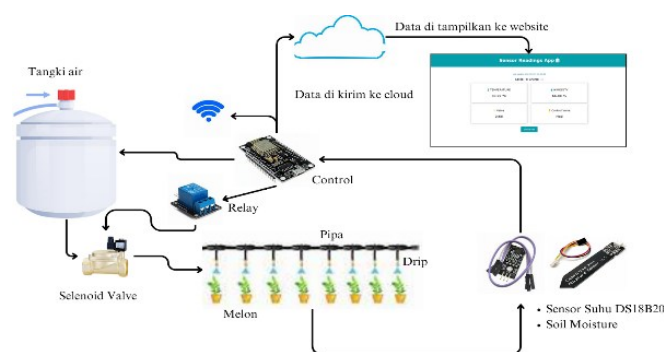
Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini diawali dengan studi literatur, yaitu melakukan telaah mendalam terhadap penelitian terdahulu serta referensi ilmiah yang relevan dengan topik sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan logika fuzzy. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat sekaligus mengidentifikasi celah penelitian yang dapat dikembangkan. Selanjutnya, dilakukan observasi lapangan guna mengumpulkan data empiris serta memahami kondisi aktual pada budidaya tanaman melon di dalam *greenhouse*. Data hasil observasi ini menjadi dasar penting dalam proses perancangan sistem, di mana dirumuskan rancangan awal mencakup arsitektur perangkat keras, alur komunikasi data, serta penerapan algoritma fuzzy logic pada sistem irigasi tetes berbasis IoT.

Tahap berikutnya adalah implementasi prototipe dan sistem monitoring, yang bertujuan untuk merealisasikan rancangan ke dalam bentuk fisik dan perangkat lunak sehingga dapat diuji kinerjanya. Apabila sistem mampu membaca dan mengolah data sensor sesuai dengan aturan fuzzy yang telah ditentukan, penelitian dilanjutkan pada tahap pengambilan data sampel untuk memperoleh dataset yang akan dianalisis lebih lanjut. Setelah sistem beroperasi secara stabil dan mampu melakukan monitoring serta pengendalian irigasi sesuai logika fuzzy, penelitian berlanjut pada tahap analisis hasil dan penarikan kesimpulan.

A. Desain Arsitektur Sistem

Rancangan arsitektur ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem irigasi cerdas yang diusulkan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu tangki air, *solenoid valve*, *relay*, mikrokontroler ESP8266, pipa distribusi, selang drip, sensor kelembapan tanah (*soil moisture sensor*), dan sensor suhu DS18B20. Pada penelitian ini digunakan tangki air berkapasitas 650 liter yang berfungsi sebagai sumber utama pasokan air. Tangki tersebut dihubungkan ke pipa distribusi yang dilengkapi dengan *solenoid valve*, yang pengoperasiannya dikendalikan oleh

relay dan mikrokontroler ESP8266. Mekanisme ini memungkinkan sistem untuk membuka dan menutup aliran air secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman.



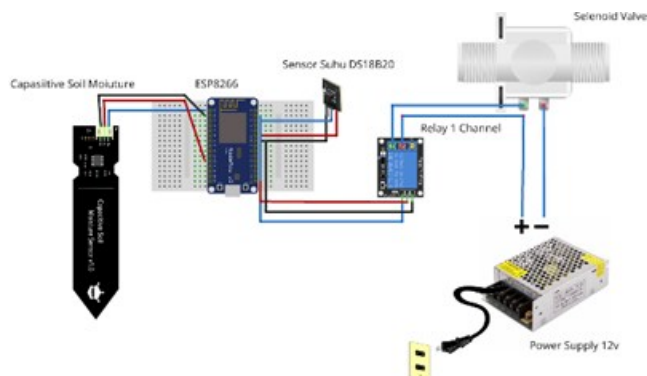
Gambar 2 Desain Arsitektur Sistem

Sensor suhu DS18B20 ditempatkan di sekitar lingkungan tanaman untuk memantau kondisi mikroklimat, sedangkan sensor kelembapan tanah dipasang pada zona perakaran tanaman melon guna memperoleh data kelembapan secara akurat. Data dari DS18B20 dan sensor kelembapan tanah diproses ESP8266 dan dikirimkan secara *real time* ke *Firebase Realtime Database* melalui Wi-Fi untuk sinkronisasi dan penyimpanan. Pemilihan *Firebase* didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan sinkronisasi data secara *realtime*, kemudahan integrasi dengan ESP8266, serta ketersediaan layanan hosting untuk aplikasi web yang memungkinkan monitoring jarak jauh secara efisien. Data yang tersimpan di *cloud* ditampilkan pada antarmuka berbasis web sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan secara langsung terhadap kondisi lingkungan dan status sistem irigasi. Dengan rancangan ini, sistem dirancang tidak hanya untuk mengotomatisasi pemberian air pada tanaman melon, tetapi juga untuk menyediakan monitoring berbasis IoT yang adaptif dan mendukung pengambilan keputusan secara presisi. Data dikirim ke *Firebase Realtime Database* dan divisualisasikan pada dashboard web real-time dengan autentikasi pengguna; latensi sensor-to-dashboard dan keberhasilan pengiriman dicatat sebagai indikator kinerja.

B. Perancangan Hardware

Perancangan hardware yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 3. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah ESP8266, yang berfungsi sebagai pusat kendali dan pengolah data. Mikrokontroler ini terhubung dengan sensor kapasitive *soil moisture* untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah serta sensor suhu DS18B20 untuk memantau kondisi suhu lingkungan di sekitar tanaman. Selain itu, ESP8266 juga dikoneksikan dengan modul *relay* yang berfungsi sebagai pengendali *solenoid valve*, sehingga dapat mengatur aliran air dari tangki menuju sistem irigasi tetes. *Relay* dihubungkan dengan catu daya (*power supply*) agar aktuator dapat beroperasi dengan stabil. Spesifikasi dari seluruh komponen perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada TABEL I, yang meliputi

Nama Komponen, Tegangan, Output dan Pin yang mendukung perancangan sistem irigasi cerdas berbasis IoT.



Gambar 3 Desain Hardware Sistem

TABEL I
SPESIFIKASI HARDWARE SISTEM

Komponen	Tegangan	Output	Pin
Soil Moisture Sensor v1.2	3.3V - 5V	Analog	A0, GND, VCC
Sensor Suhu DS18B20	3.0V - 5.5V	Digital, One-Wire interface	D2, GND, VCC
ESP8266	3.3V	-	-
Relay 1 Channel	3.3V - 5V	Digital, LOW aktif	D1, GND, VCC
Solenoid Valve	12V	-	-
Power Supply	12V DC	-	-

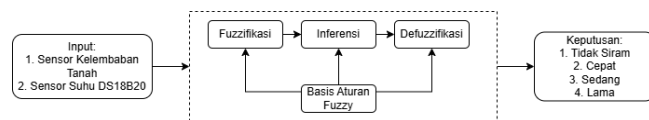
C. Implementasi Logika Fuzzy

Pada penelitian ini, logika fuzzy diimplementasikan pada mikrokontroler ESP8266 yang menerima data dari dua jenis sensor, yaitu sensor suhu DS18B20 dan sensor kelembaban tanah kapasitif. Sistem fuzzy yang dibangun menggunakan dua perangkat lunak pendukung. Pertama, MATLAB digunakan untuk merancang dan melakukan simulasi sistem kendali berbasis fuzzy, termasuk perancangan fungsi keanggotaan dan basis aturan. Kedua, Arduino IDE digunakan untuk membuat program pada mikrokontroler, sehingga sistem mampu memproses data sensor dan menerapkan hasil keputusan fuzzy pada perangkat keras yang telah dirancang. Sistem menggunakan dua input (kelembaban tanah, suhu) dan empat keluaran singleton waktu irigasi (0, 240, 480, 720 detik), dengan fungsi keanggotaan diposisikan terhadap rentang kelembaban 60–80% sebagai kondisi normal tanaman melon di greenhouse.

Pengendali menggunakan model Takagi–Sugeno zero-order dengan dua input, yakni kelembaban tanah dan suhu, tiga himpunan keanggotaan per input, serta empat konsekuen durasi diskret (0/240/480/720 detik) sebagai keluaran, dengan inferensi berbasis produk dan defuzzifikasi rata-rata berbobot yang kemudian dipetakan ke durasi

terdekat untuk eksekusi solenoid valve. Pemodelan ini dipilih karena ringan di mikrokontroler dan kompatibel dengan pipeline cloud real time berbasis Firebase, sehingga keputusan irigasi dan telemetri dapat dipantau dengan latensi ~2–3 detik pada dashboard web ber-autentikasi [28].

Proses perancangan logika fuzzy terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu *fuzzifikasi*, basis pengetahuan (*rule base*), *inferensi*, dan *defuzzifikasi* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Diagram tersebut menggambarkan bagaimana sistem fuzzy menerima input berupa data kelembaban tanah dan suhu lingkungan, kemudian memprosesnya melalui mekanisme inferensi berbasis aturan, hingga menghasilkan keputusan yang dikonversi kembali ke bentuk kuantitatif pada tahap defuzzifikasi. Hasil dari proses ini berupa keputusan otomatis mengenai penyiraman tanaman melon di dalam *greenhouse*, dengan kategori keputusan: tidak menyiram, penyiraman cepat, penyiraman sedang, atau penyiraman lama.



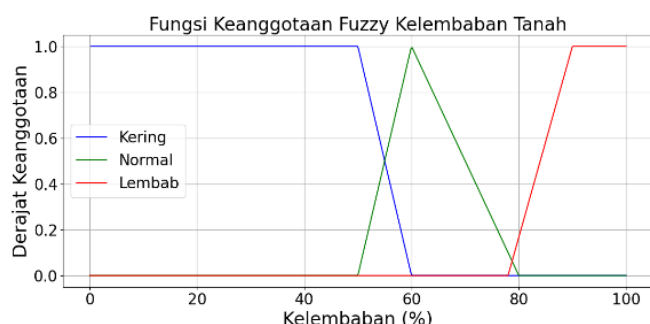
Gambar 4 Desain Implementasi Logika Fuzzy

1) *Input Fuzzy Kelembaban Tanah*: Pada proses fuzzifikasi input kelembaban tanah, ditetapkan tiga kategori himpunan fuzzy, yaitu kering, normal, dan lembab. Rentang kelembaban optimum bagi tanaman melon adalah 60–80%, sehingga nilai tersebut didefinisikan sebagai kondisi normal. Fungsi keanggotaan fuzzy kelembaban tanah yang ditunjukkan pada Gambar 5 dirancang dengan tiga representasi himpunan, yaitu:

- Kering, dengan rentang kelembaban tanah 0% hingga 20%, yang menunjukkan kondisi kekurangan air.
- Normal, dengan rentang kelembaban tanah 15% hingga 60%, yang mencerminkan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman melon.
- Lembab, dengan rentang kelembaban tanah 50% hingga 100%, yang menunjukkan kondisi kelebihan air pada media tanam.

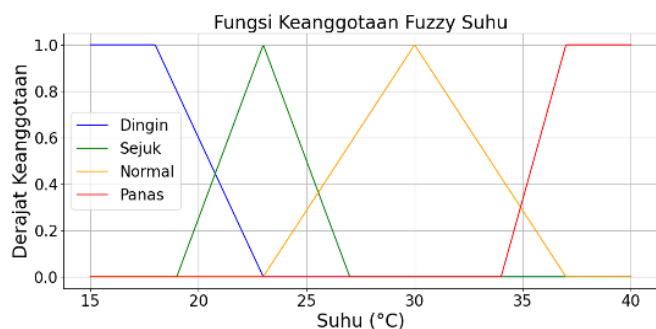
Setiap nilai kelembaban tanah yang diukur oleh sensor dipetakan ke dalam fungsi keanggotaan dengan derajat keanggotaan (μ) dalam rentang 0 hingga 1. Nilai derajat keanggotaan ini menunjukkan tingkat kesesuaian nilai input dengan kategori fuzzy yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem dapat secara adaptif menginterpretasikan kondisi kelembaban tanah yang terukur dan menggunakannya sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses inferensi fuzzy. Input kelembaban tanah m (0–100%) menggunakan tiga label: Kering (trapesium), Normal (segitiga), Basah (trapesium), yang diposisikan terhadap target operasional

melon greenhouse 60–80% sebagai “Normal” agar keputusan irigasi mengikuti fisiologi zona akar.



Gambar 5 Himpunan Fuzzy untuk Kelembaban Tanah sebagai Input

2) *Input Fuzzy Suhu Lingkungan*: Tanaman melon tumbuh optimal pada kondisi suhu lingkungan yang berada pada kisaran 25°C–30°C, sehingga rentang tersebut didefinisikan sebagai kategori normal dalam sistem fuzzy. Input suhu udara T (°C) menggunakan empat label: Dingin (trapesium), Sejuk (segitiga), Normal (segitiga), Panas (trapesium), agar sensitif terhadap beban panas kanopi yang memengaruhi kebutuhan air dan keputusan durasi irigasi



Gambar 6 Himpunan Fuzzy untuk Suhu Lingkungan sebagai Input

Fungsi keanggotaan fuzzy untuk input suhu lingkungan ditunjukkan pada Gambar 6, yang terdiri dari empat himpunan fuzzy, yaitu:

- Dingin, dengan rentang suhu 15°C hingga 20°C, yang mencerminkan kondisi lingkungan terlalu rendah untuk pertumbuhan tanaman melon.
- Sejuk, dengan rentang suhu 18°C hingga 25°C, yang menunjukkan kondisi relatif mendukung, tetapi belum sepenuhnya optimal.
- Normal, dengan rentang suhu 23°C hingga 30°C, yang menggambarkan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman melon.
- Panas, dengan rentang suhu 28°C hingga 40°C, yang menandakan kondisi lingkungan yang berpotensi

mengganggu pertumbuhan tanaman akibat suhu terlalu tinggi.

Masing-masing fungsi keanggotaan diwakili oleh derajat keanggotaan (μ) dengan nilai berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai 1 menandakan bahwa suhu yang diukur sepenuhnya sesuai dengan kategori tertentu. Dengan pemodelan ini, sistem fuzzy mampu menafsirkan variasi suhu lingkungan secara lebih fleksibel, sehingga dapat menghasilkan keputusan pengendalian irigasi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi nyata di dalam *greenhouse*.

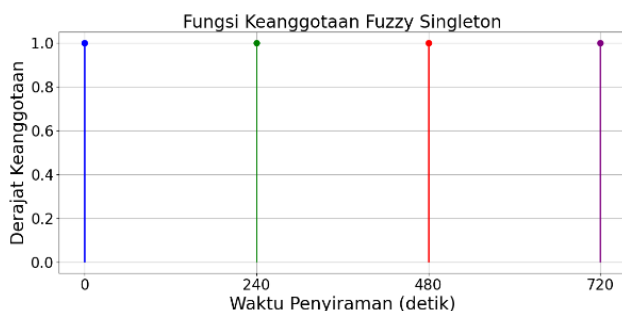
3) *Output Fuzzy Solenoid Valve*: Himpunan keluaran terdiri atas empat kategori (tidak siram, sedang, cepat, lama) dengan representasi *fuzzy singleton* 0, 240, 480, dan 720 detik. Range tersebut didapatkan berdasarkan hasil pengukuran sensor kelembaban tanah dan sensor suhu. Output ketika sensor kelembaban tanah mendeteksi bahwa tanah sudah mencapai batas kelembaban yang diinginkan, sensor akan mengirimkan sinyal ke ESP8266 untuk mematikan *solenoid valve*, sehingga menghentikan aliran air ke tanaman. Basis aturan pada Penelitian ini dikembangkan berdasarkan penelitian terkait dan pengamatan kondisi tanaman melon di *greenhouse*, dengan memanfaatkan data dari sensor kelembaban tanah dan suhu untuk memastikan tanaman melon tersiram berdasarkan kondisi basis aturan yang dibuat. Basis aturan fuzzy untuk solenoid valve ditunjukkan pada Gambar 7.

Suhu \ Tanah			
	Kering	Normal	Lembab
Dingin	Cepat	Tidak Siram	Tidak Siram
Sejuk	Sedang	Tidak Siram	Tidak Siram
Normal	Sedang	Tidak Siram	Tidak Siram
Panas	Lama	Cepat	Tidak Siram

Gambar 7 Fuzzy Rules

Fungsi keanggotaan fuzzy untuk keluaran *solenoid valve* direpresentasikan dalam bentuk *fuzzy singleton* sebagaimana ditunjukkan pada. Fungsi keanggotaan ini terdiri dari empat kategori penyiraman, yaitu tidak siram (0 detik), sedang (240 detik), cepat (480 detik), dan lama (720 detik). Setiap kategori dinyatakan dengan derajat keanggotaan penuh (1,0), sehingga sistem dapat secara tegas menentukan waktu penyiraman berdasarkan hasil inferensi fuzzy. Pemilihan model *fuzzy singleton* dipertimbangkan karena lebih sederhana dalam perhitungan, efisien dalam implementasi pada mikrokontroler ESP8266, serta sesuai dengan kebutuhan sistem penyiraman

otomatis yang membutuhkan keputusan langsung tanpa ambiguitas. Dengan demikian, hubungan antara basis aturan fuzzy (Gambar 7) dan fungsi keanggotaan fuzzy *singleton* (Gambar 8) membentuk mekanisme pengendalian *solenoid valve* yang mampu menyesuaikan waktu penyiraman secara tepat sesuai kondisi kelembaban tanah dan suhu di *greenhouse*.



Gambar 8 Fuzzy Singleton Selenoid Valve

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Alat



(a) Implementasi Greenhouse Mini (b) Implementasi blackbox

Gambar 9 Implementasi Alat

Sistem irigasi pintar yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas dua komponen utama. Pada sisi kiri Gambar 9 ditunjukkan *greenhouse* mini yang berisi dua tanaman melon sebagai objek uji coba. Pada sisi kanan Gambar 9 menunjukkan implementasi alat di dalam *blackbox*. Di dalam *greenhouse* tersebut juga terdapat sebuah *black box* yang berfungsi sebagai pusat kendali dan pemrosesan data. Perangkat ini bertugas menerima data dari sensor, kemudian mengolah informasi tersebut menggunakan algoritma logika fuzzy, serta menghasilkan perintah pengendalian untuk sistem irigasi. Dengan mekanisme ini, sistem mampu menyesuaikan intensitas dan durasi penyiraman secara otomatis sesuai

kebutuhan tanaman. Implementasi ini tidak hanya mendukung efisiensi penggunaan air, tetapi juga memastikan kondisi lingkungan tumbuh tetap optimal, sehingga meningkatkan peluang keberhasilan budidaya melon di dalam *greenhouse*.

B. Kalibrasi Sensor Kelembaban Tanah

Kalibrasi sensor kelembaban tanah dilakukan dengan menentukan nilai batas maksimum dan minimum yang diperoleh dari pembacaan *Analog Digital Converter* (ADC). Nilai maksimum sebesar 700 diperoleh saat sensor berada pada kondisi kering sepenuhnya, sedangkan nilai minimum sebesar 465 diperoleh ketika sensor terendam air secara penuh.

```
// Nilai kalibrasi untuk sensor kelembaban tanah
const int AirValue = 700; // nilai yang dibaca sensor saat di udara atau tanah kering
const int WaterValue = 465; // nilai yang dibaca sensor saat di air atau tanah sangat basah

void loop() {
  int sensorValue = analogRead(SoilSensorPin); // Baca nilai sensor
  int soilMoistureValue = map(sensorValue, AirValue, WaterValue, 0, 100); // Kalibrasi nilai sensor
  soilMoistureValue = constrain(soilMoistureValue, 0, 100); // Batasi nilai antara 0 hingga 100
}
```

Gambar 10 Potongan Kode Pemetaan Nilai Sensor

Rentang ADC dipetakan ke skala 0–100 menggunakan fungsi *map* agar keluaran sensor merepresentasikan kelembapan tanah aktual secara konsisten pada analisis berikutnya Gambar 10. Proses ini memastikan bahwa data keluaran sensor dapat diinterpretasikan secara lebih representatif terhadap kondisi kelembaban tanah yang sesungguhnya, sehingga meningkatkan akurasi sistem dalam menentukan keputusan penyiraman.

C. Hasil Uji Coba Sensor Suhu dan Kelembaban Tanah

TABEL II menyajikan hasil rata-rata pengukuran sensor suhu dan kelembaban tanah selama periode pengujian 10 hari. Berdasarkan data tersebut, nilai kelembaban tanah menunjukkan fluktuasi dalam kisaran 60,1% hingga 70,79%, dengan rata-rata 64,53%. Rentang ini berada dalam batas parameter optimal yang ditetapkan, yaitu 60% hingga 80%, sehingga sesuai untuk mendukung pertumbuhan tanaman melon. Suhu lingkungan menunjukkan variasi harian berkisar 29,66–33,16°C dengan rata-rata 31,48°C, yang sedikit lebih tinggi dari rentang optimal ideal (25–30°C). Rata-rata suhu 31,48 °C yang sedikit supraoptimal berpotensi menekan pemanjangan sel dan luas daun melalui pembatasan stomatal dan gangguan biokimia fotosintesis pada cucurbit [29]. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem irigasi pintar yang dikembangkan mampu menjaga kelembaban tanah tetap berada pada kondisi yang ideal, meskipun terjadi variasi suhu lingkungan harian. Dengan demikian, sistem terbukti efektif dalam mempertahankan stabilitas kelembaban tanah sesuai kebutuhan tanaman.

TABEL II
HASIL RATA-RATA NILAI SENSOR SELAMA 10 HARI

Hari	Temperature (C)	Kelembaban Tanah (%)
Hari 1	29.66	63.88
Hari 2	31.34	70.79

Hari 3	33.16	67.26
Hari 4	32.6	62.24
Hari 5	30.71	68.67
Hari 6	30.96	63.9
Hari 7	31.8	66.97
Hari 8	31.42	60.48
Hari 9	31.4	60.99
Hari 10	31.72	60.1
Rata-rata	31.48	64.53

D. Hasil Pengujian Solenoid Valve

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keakuratan kinerja *solenoid valve* dalam kondisi nyata dengan membandingkannya terhadap hasil simulasi pada perangkat lunak MATLAB. Uji coba dilaksanakan pada hari ke-7, dengan hasil yang ditampilkan pada TABEL III, menunjukkan adanya perbedaan nilai output durasi antara sistem nyata dan simulasi.

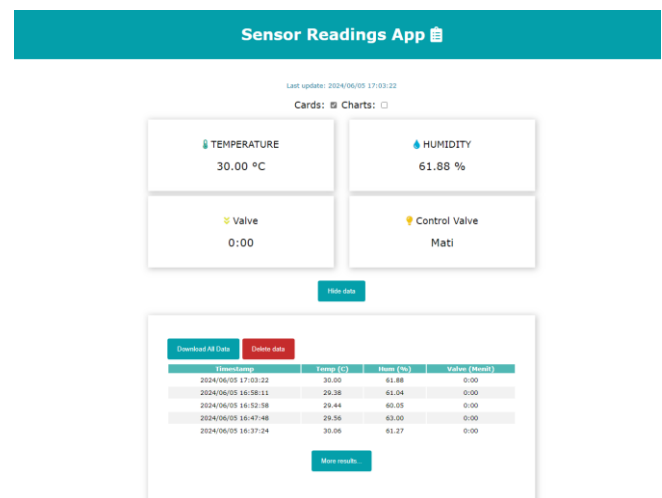
TABEL III
HASIL PENGUJIAN SOLENOID VALVE

Hari ke - 7	Input		Output		Error (%)
	Kelembaban Tanah (%)	Temperature (Celcius)	Valve (detik)	Matlab (detik)	
Jam 07.03	64.46	27	0	0	0
Jam 10.02	58.99	31.7	48	48.5	1.04
Jam 13.05	58.77	33.4	58	59	1.72
Jam 15.08	58.24	32.0	84	84.5	0.59
Jam 17.02	59.23	30.5	36.5	37	1.36
Rata-Rata					1.18

Berdasarkan analisis, Rata-rata selisih *error* antara implementasi nyata dan simulasi MATLAB adalah 1,18%. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh adanya jeda waktu (*time lag*) antara proses akuisisi data oleh sensor dengan eksekusi perintah pada *valve*, yang dalam lingkungan nyata tidak dapat sepenuhnya disinkronkan seperti dalam simulasi. Meskipun demikian, tingkat *error* yang relatif rendah ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem kontrol berbasis logika fuzzy Takagi-Sugeno tetap dinilai efektif dalam mengendalikan irigasi tetes berbasis IoT secara presisi. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan sistem pada kondisi nyata memiliki performa yang mendekati simulasi, sekaligus memperkuat validitas rancangan yang diusulkan untuk mendukung pengelolaan irigasi pertanian modern secara lebih efisien dan adaptif. Desain rule base yang memetakan dua input ke empat keluaran singleton durasi bukaan solenoid 0, 240, 480, dan 720 detik, sehingga keputusan irigasi bersifat tegas, ringan dihitung di ESP8266, dan sesuai ritme fisiologi air melon di media drip. Perbandingan dengan sistem fuzzy-IoT generik dan kontrol drip melon berbiaya rendah menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih transparan dari sisi rule design dan kinerja cloud, sekaligus setara atau lebih unggul pada aspek konsistensi keputusan irigasi terhadap simulasi [30].

E. Pengujian Website Monitoring

Website *monitoring* yang dikembangkan dalam penelitian ini berfungsi sebagai antarmuka utama untuk memantau kinerja sistem irigasi secara *realtime*, dengan menyajikan informasi penting berupa waktu pembaruan data terakhir, nilai temperatur, kelembaban tanah, durasi kerja *solenoid valve*, serta status operasional *solenoid valve*. Selain itu, website ini dilengkapi dengan visualisasi data dalam bentuk chart yang terintegrasi dengan *Firestore Realtime Database*. Komunikasi antara website dan *database* dilakukan melalui *Firestore SDK* yang memungkinkan data sensor ditampilkan secara *realtime* tanpa perlu *refresh* manual pada halaman web. Website ini di-hosting menggunakan *Firestore Hosting* sehingga dapat diakses dari berbagai perangkat melalui koneksi internet. Fitur tampilan tabel juga disediakan guna menampilkan keseluruhan data historis yang terekam, sehingga mempermudah analisis lebih lanjut mengenai pola kebutuhan air tanaman. Integrasi komponen-komponen tersebut tidak hanya meningkatkan transparansi dan akuntabilitas sistem, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam pengelolaan irigasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Website monitoring ini diharapkan mampu memberikan solusi yang praktis, adaptif, dan dapat diandalkan bagi sistem irigasi cerdas berbasis IoT.



Gambar 11 Tampilan Website Monitoring

Aspek keamanan sistem dievaluasi melalui implementasi *Firestore Security Rules* yang membatasi akses *database* hanya kepada pengguna terautentikasi, serta penggunaan protokol *HTTPS/TLS* untuk seluruh komunikasi data. Selama periode pengujian, tidak ditemukan adanya upaya akses tidak sah terhadap *database* atau kebocoran data sensor, sehingga mekanisme keamanan yang diterapkan dinilai efektif dalam melindungi integritas dan kerahasiaan data.

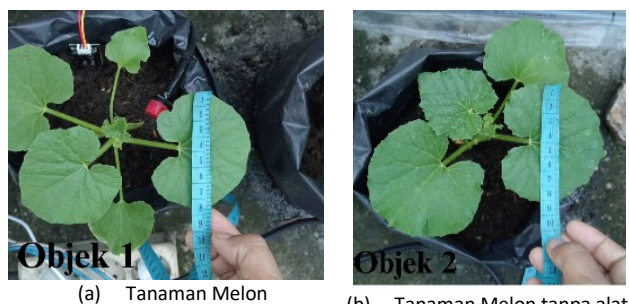
Pengukuran *latency* sistem menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan dari pembacaan sensor hingga data tersimpan di *Firestore* berkisar antara 2-3 detik, dengan komponen terbesar berasal dari proses transmisi data melalui Wi-Fi.

Meskipun latency ini relatif tinggi untuk sistem kontrol industri real-time, namun masih dapat diterima untuk aplikasi irigasi pertanian, karena perubahan kondisi lingkungan tanaman berlangsung secara gradual dan tidak memerlukan respons instan.

Hasil evaluasi reliability menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat uptime sebesar 97,8% dengan keberhasilan transmisi data mencapai 98,5% selama 10 hari pengujian. Mekanisme reconnection otomatis pada ESP8266 terbukti efektif dalam mengatasi gangguan koneksi sementara, sementara mode fail-safe pada solenoid valve memastikan sistem tetap aman meskipun terjadi kegagalan komunikasi. Dengan demikian, sistem irigasi pintar yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang memadai untuk diimplementasikan dalam kondisi nyata.

F. Hasil Perbandingan Perkembangan Tanaman

Evaluasi membandingkan dua kondisi: irigasi otomatis fuzzy-IoT versus irigasi manual dua kali sehari, dengan parameter tinggi tanaman, lebar daun, dan jumlah daun sebagai indikator vegetatif. Kondisi pertama adalah tanaman melon yang disiram menggunakan sistem irigasi otomatis berbasis logika fuzzy, sementara kondisi kedua adalah tanaman melon yang disiram secara manual dua kali sehari, yaitu pada pagi dan sore hari. Perbandingan ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem otomatis mampu memberikan hasil yang lebih konsisten dan optimal dalam mendukung pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan metode konvensional. Dokumentasi proses pengukuran ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Perbandingan 2 Tanaman dengan 2 Kondisi

TABEL IV
HASIL EVALUASI PERTUMBUHAN TANAMAN

Hari ke-	Tinggi Tanaman		Lebar Daun		Jumlah Daun	
	Objek 1	Objek 2	Objek 1	Objek 2	Objek 1	Objek 2
Hari 10	13cm	14cm	7.5cm	8cm	6 daun	4 daun

Hasil evaluasi pertumbuhan tanaman yang disajikan pada TABEL IV menunjukkan adanya variasi pada parameter pertumbuhan antara kedua objek uji. Objek 2 memiliki tinggi tanaman dan lebar daun yang lebih besar dibandingkan objek 1, sementara objek 1 memiliki jumlah daun yang lebih banyak, yang dapat mengindikasikan adanya percabangan lebih intensif. Perbedaan ini mencerminkan bahwa respons tanaman terhadap sistem irigasi dan kondisi lingkungan dapat bervariasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur dan kandungan tanah, kelembaban, serta ketersediaan unsur hara yang berperan penting dalam proses fotosintesis dan pembentukan jaringan baru.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem irigasi pintar yang dikembangkan terbukti mampu menjaga kondisi lingkungan tetap optimal bagi pertumbuhan tanaman melon dengan kinerja yang baik. Sensor kelembaban tanah dan sensor suhu menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi kondisi lingkungan, sehingga data yang dihasilkan dapat diandalkan untuk mendukung proses pengambilan keputusan dalam pengaturan irigasi secara otomatis. Selain itu, *solenoid valve* berfungsi sesuai dengan rancangan dan mampu mengatur aliran air secara efektif, meskipun terdapat sedikit perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil implementasi nyata yang disebabkan oleh faktor respon waktu mekanis dan kondisi lingkungan yang dinamis.

Selain itu, hasil pemantauan terhadap pertumbuhan tanaman melon menunjukkan bahwa sistem irigasi pintar yang dikembangkan masih menghadapi keterbatasan dalam mendorong pertumbuhan tanaman yang sehat secara optimal, khususnya pada aspek percabangan yang relatif kurang baik dibandingkan dengan tanaman yang mendapatkan penyiraman manual. Kondisi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan dalam penyetelan aturan fuzzy yang belum sepenuhnya merepresentasikan kebutuhan air tanaman di berbagai fase pertumbuhan, perbedaan distribusi air yang dihasilkan oleh sistem otomatis dibandingkan penyiraman manual, serta kemungkinan adanya variabel lingkungan lain seperti intensitas cahaya, nutrisi tanah, dan kelembaban udara yang berpengaruh terhadap pola pertumbuhan cabang.

Analisis terhadap data lingkungan dan pertumbuhan tanaman mengungkapkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis *fuzzy-IoT* mampu menciptakan kondisi kelembaban tanah yang stabil dan optimal (rata-rata 64,53% dengan rentang 60,1-70,79%), namun masih terbatas dalam mengatasi dampak negatif suhu lingkungan yang sedikit tinggi (rata-rata 31,48°C). Perbedaan pertumbuhan antara tanaman dengan sistem otomatis dan manual menunjukkan bahwa: (1) sistem otomatis lebih unggul dalam menjaga stabilitas kelembaban untuk mendukung pembentukan daun baru yang konsisten, namun (2) metode manual dengan *overhead irrigation* lebih efektif dalam meningkatkan lebar daun melalui peningkatan kelembaban udara relatif dan regulasi stomata yang lebih optimal. Temuan ini menekankan pentingnya integrasi multi-sensor dan algoritma kontrol yang

lebih kompleks untuk mengoptimalkan tidak hanya kelembaban tanah, tetapi juga parameter-parameter lingkungan lainnya yang secara sinergis mempengaruhi pertumbuhan tanaman melon. Implementasi real time berbasis cloud dengan autentikasi dan visualisasi langsung konsisten dengan praktik platform IoT pertanian modern untuk pengambilan keputusan operasional [31].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* dengan metode drip dan logika fuzzy Takagi-Sugeno yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu menjaga kelembaban tanah pada rentang optimal 60%–80% untuk pertumbuhan tanaman melon di dalam *greenhouse*. Sensor kelembaban tanah kapasitif dan sensor suhu DS18B20 bekerja dengan akurasi yang baik dalam menyediakan data lingkungan secara *real-time*, sementara *solenoid valve* berfungsi efektif dalam mengatur durasi aliran air sesuai aturan fuzzy yang telah ditetapkan. Meskipun demikian, hasil evaluasi pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa sistem masih memiliki keterbatasan dalam mendorong pertumbuhan vegetatif yang sehat, khususnya pada aspek tinggi tanaman dan lebar daun, yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kondisi tanah, distribusi nutrisi, dan intensitas cahaya. Temuan ini menegaskan bahwa sistem irigasi pintar berbasis IoT dengan logika fuzzy berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung budidaya melon secara berkelanjutan, namun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut, baik dari sisi perbaikan algoritma kendali maupun integrasi sensor tambahan, agar kinerja sistem dapat semakin optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Kesh and P. Kaushik, "Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: An update," *Sci Hortic*, vol. 282, p. 110045, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.scienta.2021.110045.
- [2] H. Kesh and P. Kaushik, "Advances in melon (*Cucumis melo* L.) breeding: An update," *Sci Hortic*, vol. 282, p. 110045, May 2021, doi: 10.1016/j.scienta.2021.110045.
- [3] Y. Rouphael and G. Colla, "Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons," *Sci Hortic*, vol. 105, no. 2, pp. 177–195, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.025>.
- [4] A. Ahmad and R. Kumar, "Effect of irrigation scheduling on the growth and yield of wheat genotypes," *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, vol. 35, p. 199, Sep. 2015, doi: 10.5958/0976-0547.2015.00045.2.
- [5] A. Aulia, I. K. Wardani, and A. N. Ichniarsyah, "Penghitungan Evapotranspirasi Aktual (ETc) Tanaman Melon pada Fase Vegetatif di Greenhouse," *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 10, no. 3, pp. 170–180, Dec. 2022, doi: 10.21776/ub.jkptb.2022.010.03.01.
- [6] M. Anshar, "Effect Of Long Time Of Irrigation Water And Kno3 Fertilizer Dosage On Growth And Yields Of Melon Plant (*Cucumis Melo* L.)," *J. Agrotekbis*, vol. 9, no. 5, pp. 1183–1192, 2021.
- [7] R. Ayu Afriyani *et al.*, "Respons Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Melon (*Cucumis melo* L.) Terhadap Macam Media Tanam Dan Pestisida Organik," Jan. 2024.
- [8] T. Handayani, "Perbandingan Pengelolaan Sistem Irigasi Tetes Pada Tanaman Melon dan Cabai".
- [9] S. Nora, M. Yahya, M. Mariana, E. Ramadhani Politeknik Pembangunan Pertanian Medan, and I. Ji Binjai, "Teknik Budidaya Melon Hidroponik Dengan Sistem Irigasi Tetes (Drip Irrigation)," *Paya Geli, Kec. Sunggal, Kabupaten Deli Serdang*, vol. 23, no. 1, 2020, doi: 10.30596/agrium.v21i3.2456.
- [10] S. Liu *et al.*, "Effects of Irrigation Approaches and Mulching on Greenhouse Melon Production and Water Use in Northern China," *Water (Basel)*, vol. 16, no. 14, p. 2013, Jul. 2024, doi: 10.3390/w16142013.
- [11] E.-S. E. Omran and A. M. Negm Editors, "Springer Water Technological and Modern Irrigation Environment in Egypt Best Management Practices & Evaluation." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/13419>
- [12] H. Li, Z. Ma, G. Zhang, J. Chen, Y. Lu, and P. Li, "Performance of a Drip Irrigation System under the Co-Application of Water, Fertilizer, and Air," *Horticulturae*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.3390/horticulturae10010006.
- [13] F. Suryatini, M. Maimunah, and F. I. Fauzandi, "Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep IoT Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 4, no. 1, p. 115, Jun. 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.115-124.
- [14] X. Liu, Z. Zhao, and A. Rezaeipannah, "Intelligent and automatic irrigation system based on internet of things using fuzzy control technology," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-98137-2.
- [15] A. D. Novianto, I. N. Farida, and J. Sahertian, "Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic."
- [16] M. Salman Ibnu Chaer, S. H. Abdullah, and A. Priyati, "Aplikasi Mikrokontroler Arduino Pada Sistem Irigasi Tetes Untuk Tanaman Sawi (*Brassica juncea*) Application of Arduino Microcontroller on Drip Irrigation System for Mustard Plant (*Brassica juncea*)," 2016.
- [17] A. M. Shobri, B. Minto Basuki, and A. Habibi, "Penerapan Irigasi Alur Tanaman Jagung Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Internet of Things di Desa Bringin, Kediri," 2025.
- [18] M. J. Hoque, M. S. Islam, and M. Khaliluzzaman, "A Fuzzy Logic- and Internet of Things-Based Smart Irrigation System †," *Engineering Proceedings*, vol. 58, no. 1, 2023, doi: 10.3390/ecs-10-16243.
- [19] H. Ardiansyah, M. Shodiq, M. A. Mahbubillah, and R. Agustina, "Optimasi Durasi pada Sistem Irigasi Tetes dengan Sensor Kelembaban dan Suhu Tanah Menggunakan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno."
- [20] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Trans Syst Man Cybern*, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116–132, Jan. 1985, doi: 10.1109/TSMC.1985.6313399.
- [21] A. Komparatif, I. F. Tsukamoto, D. S. Terhadap, and A. Burhanuddin, "LEDGER: Journal Informatic and Information Technology," 2023.
- [22] Asep Gustiawan, Muchlisinalahuddin, and Rudi Kurniawan Arief, "Analisis Kebutuhan Debit Air dan Menentukan Jenis Pompa Yang Digunakan Untuk Perumahan 13 Raya Permai," *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 19–26, Jan. 2022, doi: 10.37373/jttm.v3i1.191.
- [23] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [24] M. zurdi hilal Firmansyah and Rini Puji Astutik, "sistem monitoring air dan pemberian pupuk otomatis berbasis IoT di tambak bandeng desa golokan," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 24–30, May 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.5038.

- [25] T. Sulistyorini, N. Sofi, and E. Sova, "Pemanfaatan Nodemcu Esp8266 Berbasis Android (Blynk) Sebagai Alat Alat Mematikan Dan Menghidupkan Lampu," *Jurnal Ilmiah Teknik*, vol. 1, pp. 40–53, Sep. 2022, doi: 10.56127/juit.v1i3.334.
- [26] M. Natsir, D. Bayu Rendra, and A. Derby Yudha Anggara, "Implementasi Iot Untuk Sistem Kendali Ac Otomatis Pada Ruang Kelas Di Universitas Serang Raya," vol. 6, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>
- [27] D. Rahmawati, F. Herawati, G. Saputra, D. Hendro, and L. F. Elektronika, *Karakterisasi Sensor Kelembaban Tanah (YL-69) Untuk Otomatisasi Penyiraman Tanaman Berbasis Arduino Uno*. 2017.
- [28] N. N. Thilakarathne, M. S. A. Bakar, P. E. Abas, and H. Yassin, "Towards making the fields talks: A real-time cloud enabled IoT crop management platform for smart agriculture," *Front Plant Sci*, vol. 13, Jan. 2023, doi: 10.3389/fpls.2022.1030168.
- [29] C. E. Moore *et al.*, "The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: from enzymes to ecosystems," *J Exp Bot*, vol. 72, no. 8, pp. 2822–2844, Apr. 2021, doi: 10.1093/jxb/erab090.
- [30] T. Thongleam, K. Meethaworn, and S. Kuankid, "Enhancing melon yield through a low-cost drip irrigation control system with time and soil sensor," *Research in Agricultural Engineering*, vol. 70, no. 1, pp. 13–22, Mar. 2024, doi: 10.17221/20/2023-RAE.