

Sistem Monitoring Pencegahan Layu Fusarium pada Tanaman *Allium Ascalonicum L.* Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic

Henning Titi Ciptaningtyas, Ridho Rahman Hariadi, dan Kevin Nathaniel
Departemen Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: henning@if.its.ac.id

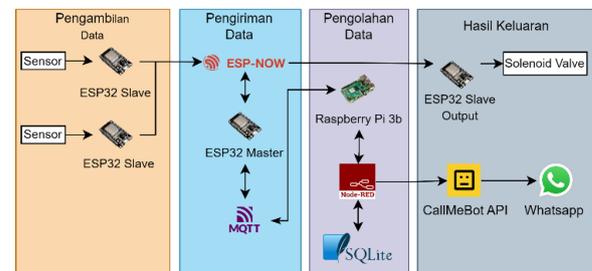
Abstrak—Perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi mendorong inovasi di bidang agrikultur penting untuk pemenuhan kebutuhan pangan manusia. Layu fusarium adalah penyakit utama pada tanaman bawang merah akibat jamur *Fusarium oxysporum*. Beberapa sentra produksi bawang merah di Indonesia mengalami kerugian hingga 50% akibat layu fusarium. Infeksi ditandai dengan pertumbuhan jamur pada akar tanaman, menyebabkan layu dan kematian. Faktor lingkungan seperti pH tanah rendah (4,5-5,5), suhu lingkungan (26,8-28,3°C), dan kelembapan udara (70-80%) serta kelembapan tanah (70-80%) mempengaruhi pertumbuhan jamur fusarium. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan pengawasan dan pengaturan pH tanah agar tidak mendukung pertumbuhan jamur fusarium. Metode fuzzy Takagi-Sugeno digunakan untuk memberikan peringatan kepada pengguna mengenai kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan diukur menggunakan pH meter, soil humidity sensor, dan air humidity sensor. Data dari perangkat-perangkat dikirimkan ke ESP32 master melalui protokol ESP-now, lalu ke Raspberry Pi menggunakan MQTT untuk diolah dan ditampilkan pada dashboard. Data yang diterima digunakan untuk menghasilkan keputusan dan memberikan peringatan kepada pengguna. Sistem ini juga dapat mengirimkan perintah ke ESP-Slave-Output untuk mengeluarkan cairan. Alat ini dilengkapi fitur pendukung, termasuk sistem otomatisasi peringatan dan penyeimbang pH. Sensor-sensor yang digunakan memiliki akurasi tinggi, yaitu 98,36% untuk sensor temperatur BME280, 98,17% untuk sensor kelembapan udara BME280, 96,85% untuk sensor kelembapan tanah, 97,37% untuk sensor pH tanah 1, dan 97,27% untuk sensor pH tanah 2, dengan akurasi rata-rata 97,56%. Alat ini berpotensi mengurangi penyakit layu fusarium pada tanaman bawang merah dan dapat dikembangkan untuk tanaman lainnya. Penggunaan alat ini juga lebih efisien dan ekonomis dibandingkan pemantauan harian oleh tenaga manusia.

Kata Kunci— Fuzzy Logic, IoT, Layu Fusarium.

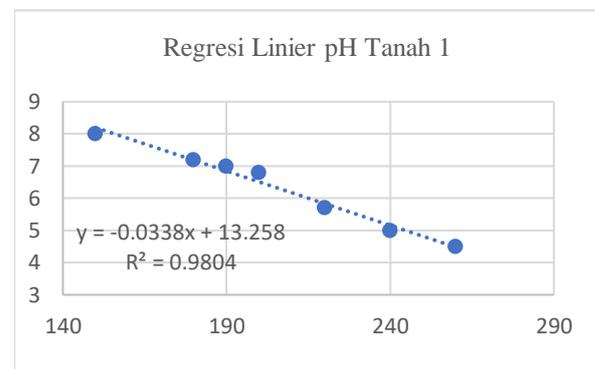
I. PENDAHULUAN

DENGAN perkembangan teknologi yang sangat pesat dalam dunia mikrokomputer dan otomatisasi industri mendorong manusia untuk menciptakan metode baru untuk menunjang pekerjaan di berbagai bidang. Salah satu bidang terpenting yaitu agrikultur. Indonesia merupakan negara ke-4 terbesar dalam produksi rempah-rempah dengan nilai ekonomi mencatat \$774.461.043 atau sekitar 8,44% dari nilai ekspor dunia [1]. Bawang merah atau *Allium ascalonicum L.* menjadi salah satu rempah yang banyak digunakan dalam masakan Indonesia karena kandungannya yaitu asam glutamat yang dapat membuat masakan menjadi lebih gurih.

Salah satu penyakit utama pada tanaman *Allium ascalonicum L.* adalah layu Fusarium. Penyakit ini di beberapa sentra produksi bawang merah di Indonesia dapat



Gambar 1. Arsitektur Sistem.



Gambar 2. Regresi Linear pH Tanah 1.

menimbulkan kehilangan hasil panen sampai 50% [2]. Penyakit layu fusarium disebabkan oleh tumbuhnya jamur fusarium. Tanaman yang terjangkit, daunnya mati dari ujung dengan cepat dan terlihat bahwa akar-akar membusuk yang kelamaan akan menyebabkan tanaman bawang merah layu dan mati [3]. Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) dan Fuzzy logic dapat membantu mengatur pengontrolan sumber daya yang lebih efisien dan konstan serta memberikan kemampuan untuk memantau faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman dari jauh dan memberikan keputusan berdasarkan kondisi lapangan yang diterima.

Penelitian ini membangun sistem pencegahan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman *Allium ascalonicum L.* berbasis IoT menggunakan Fuzzy logic untuk membantu petani bawang merah. Sistem ini akan terdiri dari sensor lingkungan dan kontroler untuk mengendalikan pH tanah. Selain itu, sistem ini juga akan menampilkan data lingkungan yang diambil dan akan melakukan aksi berdasarkan parameter yang telah ditetapkan.

II. DASAR TEORI

Dasar teori yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1.
Alat yang dibutuhkan

Nama alat	Jumlah	Fungsi
Raspberry Pi 3b	1	Pengolahan dan penyimpanan data, pemrosesan logika sistem
ESP32	4	1 Master + 2 Slave + Slave output
Soil pH Sensor	2	Mengukur pH tanah
BME280	2	Mengukur temperatur dan kelembapan udara
Resistive Soil Moisture Sensor	2	Mengumpulkan data pembacaan kelembapan tanah dengan range sekitar 3m
Waterflow Sensor	1	Mengukur jumlah cairan yang keluar dari tangki penampungan dan menutup solenoid water valve jika cairan yang melewati sensor ini melebihi jumlah air sesuai dengan perintah yang dikirimkan
Solenoid Watervalue	1	Aktuator yang berfungsi sebagai valve yang dapat menghentikan dan menjalankan aliran larutan
Relay	1	ESP32-Slave output akan terkoneksi dengan sensor ini untuk memberikan perintah kapan sensor membuka dan menutup
Power Supply 12V	1	memberikan daya ke solenoid water valve

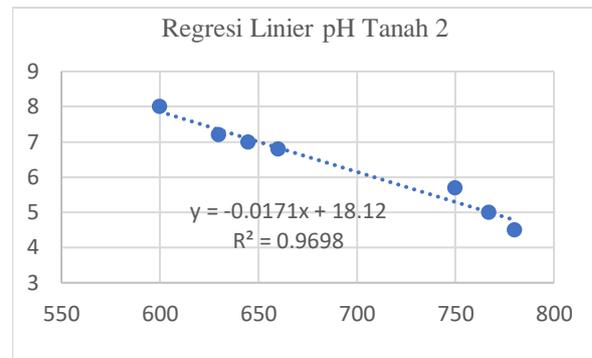
A. Bawang merah dan penyakit layu Fusarium

Bawang merah (*Allium ascalonicum L.*) adalah sebuah tanaman umbi-umbian semusim berbentuk seperti rumput, memiliki batang yang pendek, berakar serabut dan memiliki daun yang panjang. Bawang merah adalah salah satu rempah-rempah yang banyak digunakan sebagai bumbu penyedap masakan. Bawang merah mengandung kandungan flavonoid, polifenol dan senyawa organo sulfur yang mempunyai sifat antioksidan yang kuat dalam mencegah radikal bebas dan sebagai bahan anti-inflamasi yang dapat membantu mencegah penyakit diabetes, diare dan anti alergi [4].

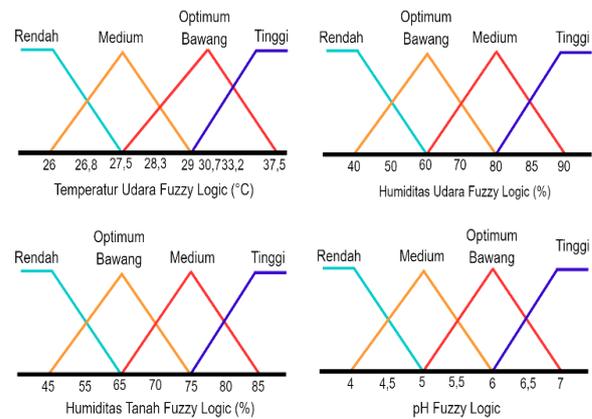
Penyakit layu fusarium disebabkan oleh jamur patogen *Fusarium oxysporum f.sp.cepae*. Tanaman yang terjangkit daunnya mati dari ujung dengan cepat. Jika pangkal tanaman diperiksa, terlihat bahwa akar membusuk yang lama-kelamaan akan menyebabkan tanaman bawang merah layu dan mati. Serangan *Fusarium* mengganas saat musim hujan dan kondisi yang lembap. Penyakit ini biasanya menyerang pada saat tanaman berumur 35-45 hari setelah ditanam. Jika bibit yang digunakan sudah terinfeksi, maka gejala akan terlihat dalam waktu 5-10 hari. Hal yang perlu diperhatikan adalah pH tanah yang sebaiknya tidak rendah, karena jamur ini akan sangat optimal tumbuh di tanah yang memiliki pH rendah sekitar 4,5 hingga 6,0. Studi mengatakan bahwa jamur *Fusarium* tumbuh paling optimal pada lingkungan dengan kelembapan tanah tinggi berkisar 70-80% dan pada suhu sekitar 25-30 °C [5].

B. ESP-NOW

ESP-NOW adalah protocol komunikasi baik searah atau dua arah antar board ESP32. Batasan sistem ini adalah hanya bisa mengirimkan pesan singkat dengan ukuran maksimal 250 bytes. Sistem ini akan berbentuk mirip seperti master-slave dimana ada 1 ESP master yang akan berfungsi mengumpulkan data dari ESP slave lainnya. Protokol ini bisa



Gambar 3. Regresi Linear pH Tanah 2.



Gambar 4. Himpunan Fuzzy.

berkomunikasi tanpa menggunakan paket data, WiFi atau Bluetooth, sehingga sistem ini akan sangat berguna di ladang [6].

C. MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi berbasis publish-subscribe. Protokol ini dirancang untuk digunakan dalam lingkungan dengan sumber daya terbatas, seperti jaringan terdistribusi dan perangkat *Internet of Things* (IoT). Pada protokol MQTT terdapat dua komponen utama yaitu MQTT *client* dan MQTT *server*. MQTT *client* bertindak sebagai *publisher* dan MQTT *server* bertindak sebagai *subscriber* dari sebuah topik. Pada penelitian ini yang bertindak sebagai MQTT *client* adalah mikrokontroller ESP32 *Master*, sedangkan yang bertindak sebagai MQTT *server* adalah Raspberry Pi menggunakan mosquito [7].

D. Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System (TS-FIS)

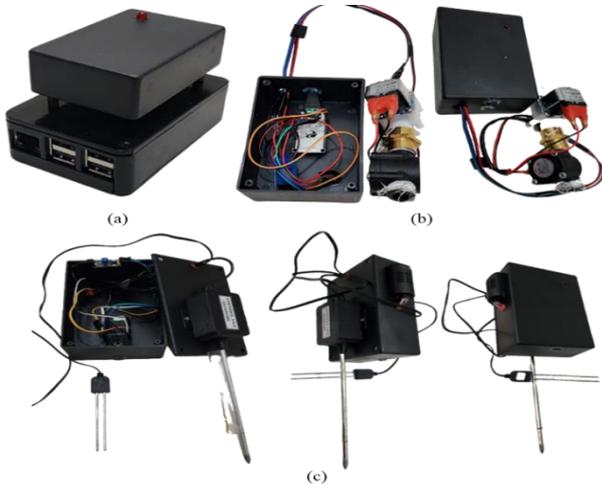
Sistem ini merupakan salah satu penerapan kontrol logika fuzzy yang berbasis dari konsep fuzzy Mamdani. Kontroler Takagi-Sugeno merupakan kontroler yang dimodifikasi outputnya dimana output didefinisikan sebagai fungsi dari input dibandingkan dengan set fuzzy yang sudah ditetapkan. Metode ini menggunakan singleton sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. Singleton adalah sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang pada titik tertentu memiliki sebuah nilai (0-1) dan 0 di luar titik itu. Peraturan mendasar dalam TS-FIS dijabarkan dalam (1).

$$\text{Jika } x_1 = A, x_2 = B \text{ maka } z_1 = ax_1 + bx_2 + c \quad (1)$$

Input dari TS-FIS menggunakan crisp values yaitu nilai yang tetap dan bukan merupakan suatu ambigu seperti 1/0 dan dalam penelitian ini akan menggunakan output model TS-FIS orde 1 yang memiliki bentuk model seperti pada

Tabel 2.
Kondisi Fuzzy

Kondisi	Temperatur	Kelembapan Udara	Kelembapan Tanah	pH Tanah
Minimum Fusarium	Rendah	Medium	Medium	Medium
Maksimum Fusarium	Optimum Bawang	Medium	Tinggi	Tinggi
Optimum Fusarium	Medium	Medium	Medium	Medium
Optimum Bawang	Optimum Bawang	Optimum Bawang	Optimum Bawang	Optimum Bawang



Gambar 5. (a) ESP-Master; (b) ESP-Slave output; (c) ESP-Slave.

persamaan di atas. Metode ini memiliki sistem orde 0 seperti pada persamaan pada (2).

Jika $x_1 = A$ dan $x_2 = B$ dan $x_n = n$ maka $z_1 = c$ (2)

Dengan x_1 dan x_2 merupakan data yang diinput, A dan B merupakan nilai parameter batasannya, z_1 adalah hasil perhitungan fuzzy dan c merupakan konstanta dari fuzzynya, skema kinerja TS-FIS dapat dilihat pada Gambar 2. dimana nilai x_1 dan x_2 sebagai input, z_1, z_2 dan z_3 sebagai output fuzzy dan sum untuk menambahkan bobot dari hasil z_1, z_2 dan z_3 [8].

E. Perangkat lunak yang digunakan

Bahasa pemrograman node red adalah bahasa pemrograman berbasis javascript yang digunakan untuk menghubungkan perangkat-perangkat IoT, API dan layanan online dengan menggunakan editor berbasis browser yang mempermudah penggunaannya untuk membuat aplikasi sebagai sebuah flow [9].

SQLite adalah suatu library yang menggunakan mesin database self-contained, serverless, zero-configuration dan transactional. SQLite memiliki ukuran dan bobot yang sangat ringan jika dibandingkan menggunakan SQL server yang membutuhkan instalasi yang lebih besar [10].

CallMeBot API adalah salah satu API untuk mengirimkan pesan ke Whatsapp yang dapat digunakan untuk penggunaan pribadi secara gratis dengan fitur yang terbatas. Ketika menggunakan layanan berbayar user dapat mengirimkan panggilan telfon suara ke penerima [11].

III. METODOLOGI

Alur metode yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

A. Arsitektur Sistem

Sistem ini memiliki 4 tahap seperti pada Gambar 1, yaitu tahap pengambilan data, tahap pengiriman data, tahap pengolahan data, dan tahap pengiriman data untuk mengirimkan data perintah ke ESP-Slave Output.

Tahap pengambilan data adalah mengambil data lingkungan berupa nilai pH tanah, temperatur udara, kelembapan udara dan kelembapan tanah. Tahap ini dilakukan setiap 5 detik dan hasil pembacaan dari sensor pH tanah akan dirata-rata sebanyak 20 data untuk membuat hasil pembacaan lebih stabil. Tahap pengiriman data dilakukan 2 kali, yaitu:

1. Data dari sensor dikirim dari ESP slave ke ESP Master menggunakan protokol komunikasi ESP-Now dalam bentuk JSON agar mempermudah proses pengolahan data di Raspberry Pi. Data-data dari ESP-slave dikirim langsung dari ESP Master ke Raspberry Pi menggunakan MQTT dan dalam komunikasi ini dibutuhkan jaringan internet untuk bisa terkoneksi dengan MQTT broker yang terletak di Raspberry Pi.
2. Pengiriman data terjadi lagi ketika hasil olahan dari node red menghasilkan aksi jumlah cairan yang harus dimasukkan, perintah berupa data jumlah air akan dikirimkan dari Raspberry Pi kembali ke ESP Master menggunakan MQTT dan ESP Master akan mengirimkan datanya ke ESP slave output untuk menjalankan perintahnya menggunakan ESP Now.

Tahap pengolahan data dilakukan di Raspberry Pi menggunakan Node-red. Metode fuzzy logic digunakan dalam tahap ini untuk menentukan kondisi lingkungan yang terjadi berdasarkan data-data dari sensor yang diberikan. Data yang diterima akan ditampilkan dalam diagram rata-rata yang akan diperbarui setiap 30 detik. Data disimpan di database agar bisa dilihat sejarahnya dan bisa digunakan untuk pengembangan sistem. Database yang dipilih menggunakan SQLite karena ringan dan cukup untuk memenuhi kebutuhan penggunaan yang tidak terlalu berat.

Tahap hasil keluaran dalam sistem ini terdiri dari 2 hal, yaitu notifikasi *warning* (dapat dilihat di dashboard aplikasi dan di whatsapp pengguna) serta perintah untuk memasukkan larutan ke ESP slave output. Perintah berbentuk JSON yang berisikan jumlah air yang harus diinjeksi ke sistem. Perintah ini bisa dihasilkan dari sistem automasi penyeimbang pH maupun dimasukkan manual.

B. Cara Kerja Alat

Sistem ini memiliki beberapa fitur utama, yaitu :

1) Sistem Pemantauan

Sistem ini memiliki input berupa nilai pembacaan sensor dan akan dibandingkan dengan parameter yang dimasukkan oleh pengguna. Output berupa pesan *warning* pada dashboard aplikasi dan pengiriman pesan *warning* ke aplikasi whatsapp. Sistem ini dapat memantau kondisi pH tanah, temperatur dan humiditas udara serta kelembapan tanah.

2) Sistem Automasi Penyeimbang pH

Sistem ini memiliki input dari nilai pembacaan sensor pH tanah dengan menggunakan parameter yang ditentukan oleh user. Parameter yang digunakan yaitu batas atas dan batas bawah kondisi pH tanah serta jumlah air yang dimasukkan

jika melebihi batas atas maupun kurang dari batas bawah, sistem ini bisa diaktifkan dan dimatikan.

3) Sistem Pemantauan Layu *Fusarium* pada Bawang Merah menggunakan Fuzzy Logic

Sistem ini memiliki input dari tiga sensor yang mengukur temperatur, humiditas udara, kelembapan tanah dan pH tanah. Nilai-nilai tersebut akan diproses berdasarkan kondisi fuzzy yang sudah ditetapkan dan akan menghasilkan *warning* kepada user dalam bentuk notifikasi pada dashboard ataupun notifikasi ke whatsapp. Sistem ini dapat dinyalakan dan dimatikan, dan parameternya disesuaikan dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman bawang merah.

IV. UJI COBA DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian dan Kalibrasi

Ujicoba menggunakan alat yang akan digunakan untuk mengukur kondisi lingkungan dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Sensor ini akan memberikan input berupa nilai ADC dan setiap sensor memiliki nilai ADC yang berbeda sehingga setiap sensor harus dikalibrasi terlebih dahulu. Berikut adalah langkah untuk kalibrasi sensor pH :

1. Lakukan proses kalibrasi menggunakan sensor pembanding yang memiliki display mulai dari sampel tanah dengan pH minimum hingga maksimum, hitung rumus persamaan nilai adc yang terbaca.
2. Masukkan data-data proses kalibrasi yang dilakukan ke software excel, lalu cari rumus persamaan antara nilai adc terhadap nilai pH tersebut menggunakan fungsi regresi linier yang ada pada software excel.
3. Masukkan rumus persamaan dari hasil fungsi regresi linier ke Arduino IDE Fungsi regresi linier yang digunakan dapat dilihat pada (4).

$$=LINEST(C7:C13;D7:D13;TRUE;FALSE) \quad (4)$$

Setelah kedua sensor diuji coba, data akan dimasukkan ke dalam excel untuk dilakukan perhitungan fungsi pH dengan menggunakan regresi linier dan hasil pembacaan ADC dari sensor pH tanah 1 dan 2 yang kemudian dihitung dengan menggunakan fitur regresi linier dari excel yang menghasilkan variable pada (5) dan (6). Sehingga rumus yang dihasilkan dari persamaan tersebut untuk sensor pH 1 adalah (5). dan sensor pH tanah 2 dengan (6).

$$pH = 13,258 - x(0,033) \quad (5)$$

$$pH = 18,1202 - x(0,0171) \quad (6)$$

Hasil grafik menunjukkan regresi linier yang dilakukan dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9804 untuk sensor pH 1 (pada Gambar 2) dan 0,96977 untuk sensor pH 2 (pada Gambar 3). Hasil regresi linier yang dilakukan cukup searah dan merepresentasikan nilai-nilai yang diberikan dan tidak ada titik yang sangat berjauhan dari garis regresinya.

B. Integrasi Sistem

Integrasi sistem merupakan langkah untuk menyatukan dan menghubungkan seluruh sistem yang sudah dibuat, dimulai dari pengiriman data, pengolahan data dan memberikan hasil output untuk membentuk sistem secara keseluruhan.

1) ESP-NOW

Setelah uji coba seluruh sensor dilakukan maka sistem siap untuk disambungkan dan mengirim data menggunakan ESP-NOW. Sistem ESP-NOW memerlukan Mac address board receiver untuk dapat mengirimkan pesan. Dalam kasus ini akan digunakan 2 ESP-Slave untuk mensimulasikan kondisi lapangan yang membutuhkan banyak set sensor. ESP-NOW ini bisa terkoneksi dengan maksimal 10 alat. Salah satu ketentuan dalam sistem ESP-NOW yaitu memiliki channel wifi yang sama karena ESP-Receiver akan menjadi wifi access point station untuk diakses oleh ESP-Sender. Untuk menangani masalah ini diberikan fitur Auto Pair dengan mencari channel yang digunakan oleh ESP-Receiver dan terkoneksi dengan channel yang sama agar bisa mengirimkan data. Cara ini dilakukan dengan mengirimkan pesan berupa "PAIRING" ke ESP-Receiver di setiap channel dan mencari channel mana yang memberikan pesan "PAIRING" Kembali. Adapun channel yang digunakan berkisar antara 1-10 untuk mayoritas negara dan 1-11 untuk beberapa negara. Setelah saling terkoneksi ESP dapat mengirimkan data melalui ESP-NOW dengan pesan "DATA".

2) MQTT

Mulai dari Ubuntu versi 18.04, mosquitto sudah menjadi repositori dasar dalam sistem Ubuntu sehingga pemasangannya cukup mudah dengan perintah "sudo apt update -y && sudo apt install mosquitto mosquitto-clients -y". Setelah mengeksekusi perintah tersebut maka mosquitto siap dijalankan pengguna dengan perintah "sudo systemctl start mosquito" dan "sudo systemctl status mosquitto".

C. Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dari penerimaan data melalui MQTT dari ESP-Master ke Raspberry Pi dimana data akan diolah untuk menghasilkan output yang diinginkan seperti dashboard, warning logic, fuzzy logic warning, sistem automasi pH, chart hourly, daily dan weekly, penyimpanan ke database, penampilan diagram dan sistem manual untuk aktuator mengeluarkan cairan pH.

1) Fungsi Database

Database digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor-sensor sehingga data yang akan disimpan adalah data nilai rata-rata bersamaan dengan timestamp penyimpanan data. Database yang digunakan adalah SQLite karena bobotnya yang ringan agar tidak memperberat kinerja Raspberry Pi. Terdapat 7 atribut yaitu ID berupa integer dan auto increment, ValueTemp berupa float, ValueHumid berupa float, ValueSoil berupa float, ValuepH berupa float dan Timestamp berupa integer yang semuanya termasuk ke dalam tabel sensordata.

2) Fitur Warning Automation System

Fitur ini memiliki parameter yang bisa diatur oleh user dan jika pembacaan sensor kurang dari atau melebihi dari parameter yang ditetapkan oleh user, notifikasi akan dikirimkan ke warning log pada dashboard dan akan mengirimkan juga ke whatsapp pengguna menggunakan CallMeBot API.

3) Fitur pH Balancer System

Dalam fungsi ini terdapat 2 flow utama yaitu flow untuk

user melakukan pengaturan parameter dan flow kedua berfungsi untuk menjalankan logika. Flow kedua membandingkan data yang diterima dari sensor dengan parameter yang ditetapkan, kemudian memberikan output berupa perintah untuk membuka solenoid valve dengan jumlah larutan yang dikeluarkan. Data yang dikirimkan dalam bentuk JSON dengan 1 atribut yaitu jumlah air yang dikirimkan ke ESP-Slave Output untuk membuka solenoid valve sejumlah perintah.

4) *Fitur Operasi Manual*

Fungsi ini berfungsi agar user bisa mengatur secara manual untuk mengeluarkan cairan ke sistem. Jumlah cairan dimasukkan ke dalam sistem dengan menentukan berapa ml cairan yang masuk. Nilai yang di-input oleh user akan ditampilkan dalam dashboard dan akan dikirimkan ke ESP-Master menggunakan MQTT untuk diteruskan ke ESP-Slave.

5) *Fungsi Fuzzy Logic Warning*

Sistem ini menggunakan fuzzy logic untuk memberikan keputusan. Fuzzy logic yang dihasilkan berupa angka bobot 0-1 dan sistem akan memilih keputusan untuk mengambil keputusan yang memiliki bobot fuzzy yang lebih besar. Adapun sistem fuzzy yang digunakan memiliki fungsi keanggotaan seperti pada Gambar 4.

Terdapat beberapa parameter pengukuran yaitu rendah, medium, tinggi dan kondisi optimum untuk tumbuhnya bawang. Setiap kondisi memiliki 3 nilai yaitu nilai bawah, nilai tengah dan nilai atas yang menandakan bagian awal pada grafik, bagian akhir pada grafik dan bagian tengah pada grafik. Adapun nilai yang tertulis pada merupakan referensi dari beberapa jurnal. Dari hasil pembagian fuzzy tersebut dilakukan pengelompokan dan pembentukan fuzzy set untuk bisa menentukan kondisi minimum tumbuhnya fusarium, kondisi maksimum tumbuhnya fusarium, kondisi optimum tumbuhnya fusarium dan kondisi optimum tumbuhnya bawah merah. Kondisi-kondisi tersebut akan dijelaskan pembagiannya lebih rinci pada Tabel 2.

D. *Akurasi Pembacaan*

Dalam uji coba penghitungan nilai akurasi akan digunakan penghitungan ralat sistematis (*Systematic Error*) yaitu ralat pengukuran yang bersifat memberikan efek tetap terhadap hasil ukur. Jenis perhitungan ini memiliki fungsi seperti (7) untuk mendapatkan nilai selisih dari pembacaan sensor pembanding dan dihitung dengan (8) untuk mendapatkan nilai eror dalam persentase yang kemudian di rata-rata dan dikurangi 100 untuk mendapatkan nilai akurasi seperti pada (9) dengan X sebagai nilai sensor dan Xi sebagai nilai sensor pembanding.

$$Error = |X - Xi| \quad (7)$$

$$Error\% = \frac{Error}{X} \times 100 \quad (8)$$

$$Akurasi = 100 - Error\% \quad (9)$$

1) *Sensor BME280*

Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan sensor suhu dan kelembapan udara dengan melakukan perbandingan dengan sensor Mestek IR01C untuk temperature udara dan HTC-2 untuk humiditas udara. Hasil uji coba yang didapatkan terbagi menjadi 2 parameter yaitu

uji coba akurasi temperatur udara dan humiditas udara yang menghasilkan akurasi sebesar 98,36% dan 98,18%.

2) *Sensor Soil Moisture*

Uji coba akurasi sensor kelembapan tanah dilakukan dengan membandingkan data pembacaan dengan sensor analog yang memiliki skala 0-8. Dalam pengujiannya skala 0-8 akan dikalikan 12,5, untuk menyesuaikan dengan nilai pembacaan sensor kelembapan tanah yang berada pada rentang 0-100. Dari hasil uji coba akurasi yang dilakukan didapatkan hasil akurasi sebesar 97,38% untuk sensor kelembapan tanah jika dibandingkan dengan sensor kelembapan tanah analog.

3) *Sensor pH Tanah*

Uji coba akurasi pH tanah dilakukan dengan menggunakan data ADC pH dan menggunakan (5) dan (6) untuk mendapatkan nilai pembacaan data dan membandingkan dengan nilai pH seharusnya. Dari hasil uji coba akurasi yang dilakukan dengan menggunakan persamaan yang didapat dari fungsi regresi linear didapatkan nilai akurasi untuk sensor pH 1 sebesar 96,615 % dan nilai akurasi untuk sensor pH 2 sebesar 97,28%.

E. *Rangkaian Alat*

Alat ini terdiri dari 3 set utama yang ketiganya membutuhkan sumber daya untuk penggunaannya. Ketiga set tersebut terdiri dari 1 ESP-Slave, 1 ESP Master dan 1 ESP-Slave Output, gambar dari rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 5, dimana terdapat 3 set alat (a) adalah ESP-Master, (b) adalah ESP-Slave Output dan (c) adalah ESP-Slave.

F. *Pembahasan*

Dari hasil penelitian dan uji coba yang dilakukan, fungsi dan fitur dari sistem ini dapat bekerja dengan benar sesuai dengan maksud dan tujuan sistem dibuat. Penggunaan fuzzy logic dilakukan menggunakan nilai dari nilai rata-rata sensor. Peringatan (*warning*) hasil pengolahan *fuzzy logic* dikirimkan ke dashboard dan ke whatsapp pengguna. Adapun sensor pH yang digunakan harus dilakukan kalibrasi menggunakan fungsi regresi linier pada excel. Sistem ini memiliki rata-rata akurasi sebesar 97,56% dengan akurasi pada sensor BME280 sebesar 98,36% untuk pengukuran temperatur udara, nilai akurasi 98,18% untuk pengukuran humiditas udara, nilai akurasi sebesar 97,38% untuk sensor kelembapan tanah, nilai akurasi 96,85% untuk sensor pH 1 sebesar 96,62% dan sensor pH 2 sebesar 97,27%. Sistem ini terdiri dari 3 set alat yaitu 1 set untuk ESP-Slave, 1 set untuk seperangkat ESP-Master dan Raspberry Pi dan 1 set untuk ESP-Slave Output.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba, kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:(1)Pengembangan sistem berhasil dilakukan dengan pengambilan 4 data lingkungan berupa data temperatur udara, kelembapan udara, kelembapan tanah dan pH tanah. Hasilnya akan dimasukkan ke logika fuzzy untuk mendapatkan hasil, dimana user dapat menambahkan cairan untuk bisa menangkal atau mencegah terjadinya layu fusarium;(2)Fitur dalam sistem ini dapat melakukan monitoring pada kondisi lahan dan memberikan peringatan ke pada user jika ada indikasi layu fusarium

menggunakan fuzzy logic agar user bisa melakukan pencegahan/penanganan;(3)Fitur Sistem ini memiliki nilai rata-rata nilai akurasi sebesar 97,56% yang merupakan nilai yang cukup tinggi untuk memastikan kebenaran data dan keputusan yang dihasilkan.

Untuk pengembangan lebih lanjut, pengembangan bisa dilakukan antara lain:(1)Sensor pH tanah lokal yang sifatnya kurang stabil dan kalibrasinya yang cukup sulit sehingga disarankan untuk menggunakan pH yang lebih akurat dan stabil untuk meningkatkan keakuratan sistem;(2)Output aktuator dari penelitian ini yang kurang maksimal karena hanya mengandalkan gaya gravitasi untuk keluarnya cairan yang menyebabkan kecilnya aliran air sehingga jika terlalu dekat jarak cairan dan sensor waterflow maka jumlah volume air yang keluar tidak terdeteksi. Untuk menyelesaikan masalah ini bisa ditambahkan pompa untuk meningkatkan tekanan air yang keluar;(3)Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor lain untuk mendeteksi penyakit layu fusarium dengan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Anggrasari and W. A. Saputro, "Comparative advantage of Indonesia with competitive countries for exporting of world spices," *Journal of ASEAN Dynamics and Beyond*, vol. 2, no. 1, pp. 1–48, 2022.
- [2] S. Wiyatiningsih, "Kajian asosiasi *Phytophthora* sp. dan *Fusarium oxysporum* f. sp. cepae penyebab penyakit moler pada bawang merah," *Mapeta*, vol. 2, pp. 1–6, 2003.
- [3] Haryono Semangun, *Penyakit Penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*, 2nd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2007. ISBN: 979-420-137-5.
- [4] R. D. Pramesti, "Pemanfaatan Flavonoid Kulit Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.) dan Bunga Kana Merah (*Canna Coccinea* Mill) Sebagai Pewarna Alami Kaya Antioksidan Terhadap Karakteristik Mie Basah." Departemen Ilmu Komunikasi. Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2021.
- [5] I. R. Sastrahidayat, "Penyakit Layu pada Tanaman Tomat," in *Fitopatologi: Ilmu Penyakit Tumbuhan*, in *International Standard ISO/IEC 27001/2*, "ISO/IEC, Switzerland, 2013.", Switzerland, 2013.
- [6] M. I. Labib, M. ElGazzar, A. Ghalwash, and S. N. AbdulKader, "An efficient networking solution for extending and controlling wireless sensor networks using low-energy technologies," *PeerJ Comput Sci*, vol. 7, p. 780, 2021, doi: 10.7717/peerj-cs.780.
- [7] B. M. Susanto, E. Setiyawan, J. Atmadji, and W. L. Brenkman, "Implementasi Mqtt protocol pada smart home security berbasis web," *Jurnal Informatika Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 1–201, 2018, doi: <https://doi.org/10.33795/jip.v4i3.207>.
- [8] J. Kopjak and G. Sebestyen, "Event-Driven Fuzzy Inference System Implementation in Node-Red," in *2019 IEEE 17th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, 2020. doi: doi.org/10.1109/sisy47553.2019.9111512.
- [9] K. erencz and J. Domokos, "Using Node-Red platform in an industrial environment," in *Jubileumi Kandó Konferencia*, 2020, pp. 1–35. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/339596157>
- [10] A. Setiyad and T. Harihayati, "Penerapan sqlite pada aplikasi pengaturan waktu ujian dan presentasi," *Majalah Ilmiah*, vol. 13, no. 2, 2015, doi: doi.org/10.34010/miu.v13i2.128.
- [11] P. Titirloloby, "Development of whatsapp for english learning at saumlaki state high school tanimbar islands," *Internet of Things and Artificial Intelligence Journal*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: [doi.org/https://doi.org/10.31763/iota.v3i1.578](https://doi.org/10.31763/iota.v3i1.578).