

Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep IoT Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno

Fitria Suryatini¹, Maimunah², Fachri Ilman Fauzandi³

^{1,3}Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 Dago, Bandung 40135, Indonesia

²Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Mayjend Bambang Soegeng KM 5, Magelang 56172, Indonesia
fitriasuryatini88@gmail.com

Abstrak

Irigasi merupakan faktor penting dalam proses budidaya tanaman. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya pengelolaan air secara tepat khususnya dalam irigasi. Salah satu metode irigasi yang banyak digunakan adalah irigasi tetes. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol irigasi tetes berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan tanah menggunakan kendali logika fuzzy Takagi-Sugeno yang diimplementasikan menggunakan konsep *Internet of Things* (IoT). Perangkat keras yang digunakan adalah Raspberry Pi 3 model B sebagai pusat kendali, sensor suhu DS18B20, dan sensor kelembapan tanah SKU:SEN0193. Keluaran kendali fuzzy menentukan durasi penyalan *solenoid valve* untuk mengairi tanaman. Sumber air irigasi berasal dari tangki yang dapat terisi secara otomatis menggunakan motor pompa dan sensor ultrasonik HCSR04 sebagai pendeteksi level air. Aplikasi Android digunakan untuk kendali jarak jauh dan monitoring parameter yang dikirim secara *realtime* melalui database *online* Firebase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat menjaga kelembapan tanah pada kelembapan rata-rata sebesar 98,4% dengan durasi penyiraman rata-rata sebesar 453,6 detik. Rata-rata volume air yang terpakai pada proses penyiraman sebanyak 10,9 liter. Selain itu, sistem dapat melakukan proses monitoring dan pengontrolan jarak jauh dengan delay rata-rata 1,5 detik.

Kata kunci: irigasi tetes, fuzzy Takagi-Sugeno, suhu, kelembapan tanah, IoT

Abstract

Irrigation is an important factor in the process of crop cultivation. Therefore, it is necessary to have an appropriate water management effort, especially in irrigation. One of the most used irrigation methods is drip irrigation. This study aims to design a drip irrigation control system based on conditions of soil temperature and humidity using Takagi-Sugeno fuzzy logic controls implemented using the concept of Internet of Things (IoT). The hardware used is the Raspberry Pi 3 model B as a control center, DS18B20 temperature sensor, and soil moisture sensor SKU: SEN0193. The fuzzy control output determines the duration of the solenoid valve ignition to irrigate the plant. The source of irrigation water comes from a tank that can be filled automatically using a pump motor and an HCSR04 ultrasonic sensor as a water level detector. The Android application is used for remote control and monitoring parameters that are sent in realtime through the Firebase online database. The results showed that the system can maintain soil moisture at an average humidity of 98.4% with an average watering duration of 453.6 seconds. The average volume of water used in the watering process is 10.9 liters. In addition, the system can carry out remote monitoring and control processes with an average delay of 2 seconds.

Keywords: drip irrigation, fuzzy Takagi-Sugeno, temperature, soil moisture, IoT

I. PENDAHULUAN

Salah satu faktor penting dalam proses budidaya tanaman adalah pengairan atau irigasi. Terdapat

beberapa metode irigasi, yaitu irigasi permukaan, irigasi bawah-permukaan, irigasi curah, dan irigasi tetes. Pemilihan metode irigasi tergantung pada faktor ketersediaan air, tipe tanah, topografi lahan,

dan jenis tanaman [1]. Salah satu jenis metode irigasi yang dapat dipergunakan untuk efisiensi ketersediaan air adalah irigasi tetes. Metode irigasi tetes merupakan teknologi irigasi yang bertujuan memanfaatkan ketersediaan air yang sangat terbatas secara efisien dan meningkatkan nilai pendayagunaan air. Pada sistem irigasi tetes, air didistribusikan dari tangki penampung yang ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi dari lahan pertanian ke setiap daerah perakaran tanaman melalui selang irigasi. Dalam sistem irigasi tetes diperlukan pengontrolan untuk mencegah terjadinya kekurangan dan kelebihan pemberian air. Jika tidak dilakukan pengontrolan, maka proses pengairan akan menjadi tidak efisien.

Beberapa penelitian pengontrolan sistem irigasi tetes telah dilakukan sebelumnya. Sistem kontrol irigasi tetes pada budidaya tanaman sawi telah dibuat berbasis mikrokontroler Arduino [1]. Sistem ini menggunakan kendali ON/OFF berdasarkan kadar lengas tanah yang menunjukkan bahwa hasil jumlah penggunaan air pada irigasi otomatis lebih sedikit dari pada irigasi manual. Selain itu, sistem irigasi tetes otomatis dirancang menggunakan prosesor ARM9 berdasarkan kadar air, dimana sistem dapat menginformasikan kepada pengguna tentang kondisi abnormal melalui pesan singkat [2]. Penyiraman tanaman otomatis menggunakan logika fuzzy telah dikembangkan [3]-[5]. Kendali logika fuzzy pada sistem irigasi tetes telah dirancang dengan input suhu dan kelembapan tanah [6]. Seluruh sistem didukung oleh sel fotovoltaik dan memiliki jalur komunikasi yang memungkinkan sistem dipantau, dikendalikan, dan dijadwalkan melalui pesan singkat. Pada sistem ini dapat dengan cepat dan akurat menghitung jumlah permintaan air tanaman, yang dapat memberikan dasar ilmiah untuk pengairan hemat air. Di sisi lain, pengontrolan jarak jauh saat ini banyak berkembang menggunakan konsep *Internet-of-Things* (IoT) seperti contoh dalam penelitian [7]-[10]. Konsep IoT dan logika fuzzy juga telah dirancang pada *smart farming* [11], [12]. Sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT dapat pula dikembangkan menggunakan modul Wemos D1 [13]. Sistem ini mendeteksi kelembapan tanah menggunakan *rover* yang dijalankan mengelilingi area pertanian. Data kelembapan tanah digunakan untuk *switching* sistem irigasi tetes dengan kendali ON/OFF menggunakan aplikasi Android.

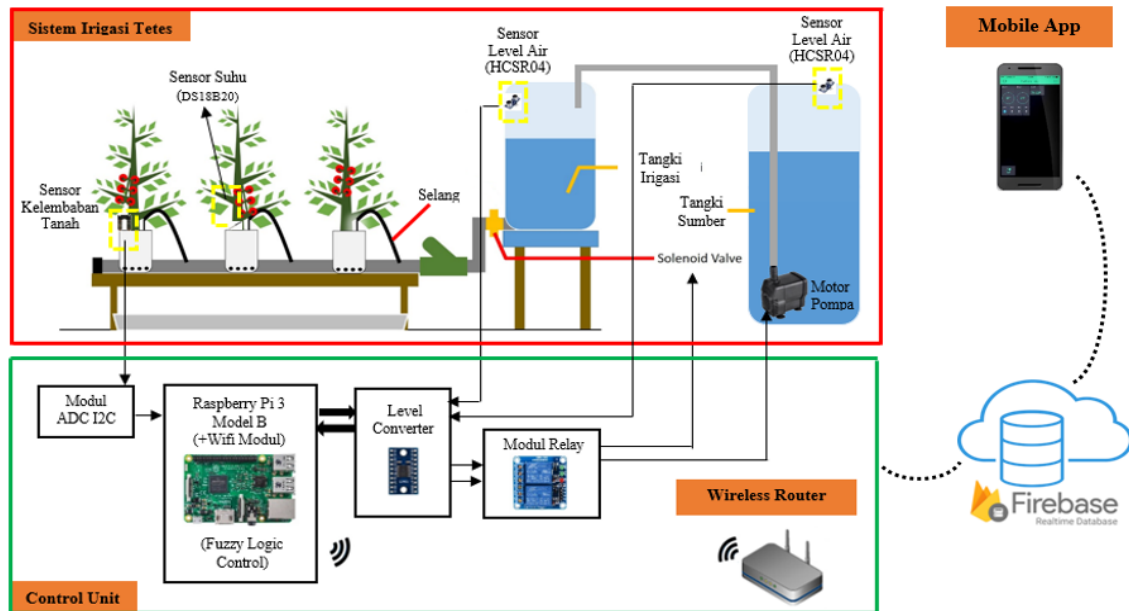
Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol irigasi tetes menggunakan konsep IoT berbasis logika fuzzy. Metode fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah Takagi-Sugeno. Irigasi tetes dikontrol

berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan tanah untuk mengatur waktu penyalan *valve* sebagai pendistribusi air. Air bersumber dari tangki yang dapat terisi secara otomatis berdasarkan level air menggunakan motor pompa. Pada sistem juga dapat dilakukan monitoring dan kendali jarak jauh menggunakan aplikasi Android melalui jaringan internet berbasis IoT.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Perangkat Keras

Sensor suhu dan kelembapan tanah dipasang pada area tanam. Kedua sensor ini menjadi input untuk kendali logika fuzzy untuk menentukan lama penyalan *solenoid valve* untuk mengairi tanaman. Sumber air irigasi berasal dari tangki yang dapat terisi secara otomatis menggunakan motor pompa dan sensor level air sebagai pendeteksi level air pada tangki. Blok diagram sistem terdapat pada Gambar 1. Pada irigasi tetes, air yang dipasok dari tangki penampungan didistribusikan melalui selang irigasi langsung menuju setiap daerah perakaran tanaman sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas pemberian air. Pada bagian *control unit* digunakan Raspberry Pi 3 berkapasitas memori dan *clock speed* yang tinggi untuk memproses kendali logika fuzzy serta telah dilengkapi dengan modul WiFi. Raspberry Pi terhubung ke sensor suhu, level air, dan modul relai melalui *logic level converter* karena level tegangan Raspberry Pi adalah 3,3 V, sedangkan perangkat sensor dan driver adalah 5V. Dengan demikian diperlukan *logic level converter* untuk menghubungkan Raspberry Pi ke devais lain yang berbeda level tegangannya. Modul ADC (*Analog to Digital Converter*) digunakan untuk menghubungkan sensor kelembapan tanah ke Raspberry Pi karena pada Raspberry Pi tidak terdapat I/O analog, sedangkan keluaran sensor kelembapan tanah adalah sinyal analog. *Input* dari sensor akan diolah untuk mengendalikan *solenoid valve* dan motor pompa melalui rangkaian *driver relai*. Pada bagian antarmuka, terdapat *smartphone* yang berfungsi untuk menjalankan aplikasi Android yang dibuat menggunakan Unity. Aplikasi yang dirancang dapat memberikan informasi kepada *user* berupa monitoring kelembapan tanah, suhu, dan level air yang terhubung ke *database online* Firebase. Selain itu, *user* dapat mengontrol motor pompa dan *solenoid valve* melalui aplikasi ini menggunakan jaringan internet sehingga sistem irigasi tetes ini dapat dimonitoring dan dikendalikan kapan saja dan dimana saja. Lebih lengkapnya, sistem perangkat keras yang dirancang pada penelitian ini memiliki spesifikasi yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Tabel 1. Spesifikasi perangkat keras

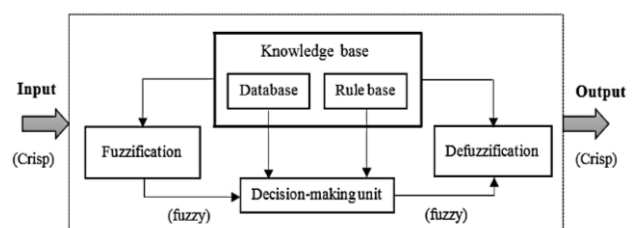
Perangkat	Type	Spesifikasi
Kontroler	Raspberry Pi 3 Model B	64-bit Quad Core - GPIO: 40 pin - BCM4343 8 WiFi & Bluetooth
Sensor:		
a. Kelembapan tanah	SKU:SEN0193	Output: 0 ~ 3,0 VDC
b. Suhu	DS18B20	-55 ~ +125°C
c. Level air	HCSR04	2 ~ 400 cm
Aktuator:		
a. Solenoid valve	NC 1/2 inch 220V AC	0-1 Mpa 5-80°C
b. Motor pompa	HL-3900 60 Watt	- Qmax: 2800 L/H - Hmax: 3m
Modul relai	4 Channel 5 Volt dengan isolasi OPTO	AC250V/ DC30V 10A
Modul ADC I2C	ADS1115	16 bit
Logic level converter	TTL Bi-directional	- High: 5V - Low: 3,3V
Router	TL-MR3420	3G/4G
Smartphone	Xiaomi Redmi 5 plus	4/16GB

B. Perancangan Kendali Logika Fuzzy

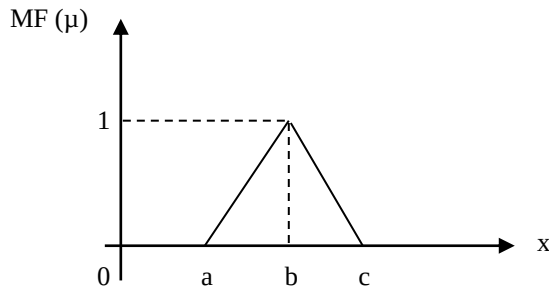
Kendali logika fuzzy pada penelitian ini menggunakan metode Takagi Sugeno Kang (TSK) [14]. Kendali logika fuzzy disebut juga *Fuzzy Inference System* (FIS) adalah sistem kendali yang

menggunakan konsep teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy *if-then*, dan fuzzy *reasoning*. Pada dasarnya *input* FIS dapat berbentuk fuzzy *input* atau *crisp input*, tetapi *output* yang dihasilkan hampir selalu berbentuk fuzzy *set*. Struktur dasar kendali logika fuzzy diperlihatkan pada Gambar 2.

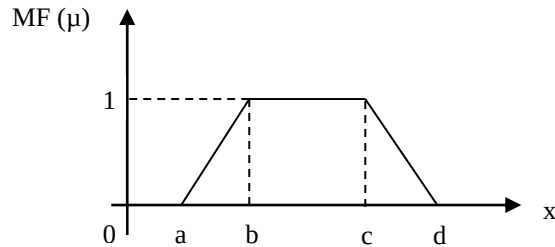
Struktur kendali logika fuzzy berdasarkan Gambar 2 terdiri dari fuzzifikasi, *database* (fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy yang digunakan pada aturan fuzzy), *rule base* (basis kaidah), *decision-making unit* atau disebut juga fuzzy inferensi (operasi inferensi pada aturan fuzzy), dan defuzzifikasi [15]. Fungsi keanggotaan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik data masukan ke dalam nilai keanggotaannya. Fungsi keanggotaan diekspresikan dengan derajat keanggotaan yang nilainya antara “0” dan “1”. Terdapat beberapa kurva yang digunakan untuk mendefinisikan fungsi keanggotaan, yaitu fungsi keanggotaan segitiga, trapesium, Gaussian, lonceng, dan Sigmoidal. Pada penelitian ini, digunakan dua fungsi keanggotaan yaitu segitiga dan trapesium. Fungsi keanggotaan segitiga dapat digambarkan seperti pada Gambar 3, sedangkan fungsi trapesium dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Struktur dasar kendali logika fuzzy



Gambar 3. Fungsi keanggotaan segitiga



Gambar 4. Fungsi keanggotaan trapesium

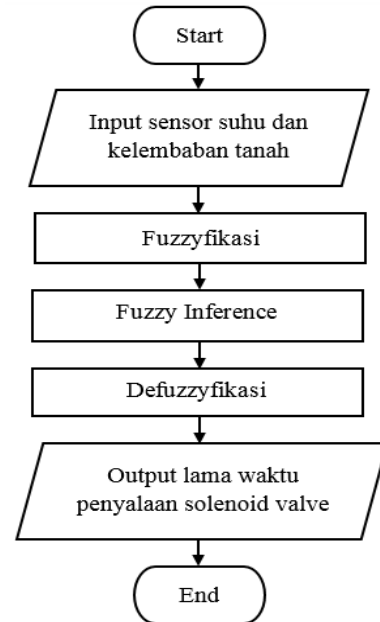
Fungsi keanggotaan segitiga ditentukan oleh tiga parameter yaitu $\{a, b, c\}$ dengan mengikuti aturan persamaan (1), sedangkan fungsi keanggotaan trapesium ditentukan empat parameter $\{a, b, c, d\}$ yang mengikuti persamaan (2). Parameter ini menentukan nilai fungsi keanggotaan (μ) untuk setiap nilai x yang ditentukan.

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2)$$

Salah satu metode logika fuzzy adalah metode fuzzy TSK yang diperkenalkan oleh Takagi dan Sugeno pada tahun 1985 [14]. Fuzzy metode ini merupakan metode inferensi fuzzy untuk aturan yang direpresentasikan dalam bentuk *IF – THEN*, dimana *output* (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linear. Tipe fuzzy rule dalam metode TSK adalah

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = (x, y) \quad (3)$$



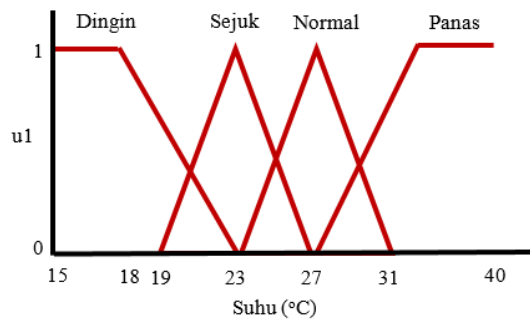
Gambar 5. Rancangan sistem kendali logika fuzzy

A dan B merupakan himpunan fuzzy sebagai anteseden, sedangkan $z = f(x, y)$ fungsi *crisp* sebagai konsekuen. Biasanya $f(x, y)$ merupakan polinomial dari variabel *input* x dan y tetapi dapat juga merupakan fungsi lain yang menjelaskan model *output* fuzzy sesuai dengan anteseden dari aturan fuzzy. Jika $f(x, y)$ polinomial orde satu maka hasil FIS disebut *first-order Sugeno fuzzy model*. Jika f adalah sebuah konstanta, maka disebut *zero-order Sugeno fuzzy model*, dimana fungsi keanggotaan yang digunakan adalah singleton yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai *crisp* tunggal dan 0 pada nilai *crisp* yang lain. Setiap aturan fuzzy pada metode Sugeno mempunyai *output crisp*. Seluruh *output* diperoleh dengan *weighted average* dengan proses penalaran menggunakan rumus *weighted average* yang terdapat pada persamaan (4).

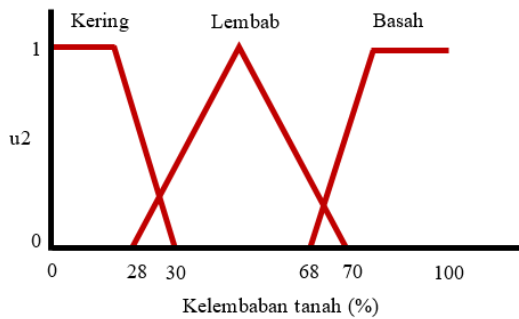
$$z = \frac{w_1 z_1 + w_2 z_2}{w_1 + w_2} \quad (4)$$

Pada penelitian ini, rancangan logika fuzzy untuk kendali irigasi tetes dijelaskan pada Gambar 5. Proses penalaran fuzzy pada sistem kendali irigasi tetes berdasarkan rancangan pada tersebut yaitu:

1. Membaca *input* dari sensor suhu dan kelembapan tanah. *Input* ini masih berupa nilai *input* tegas (*crisp*).
2. Melakukan proses fuzzifikasi untuk mengubah nilai *input* tegas menjadi nilai fuzzy. Pada sistem pengendali irigasi tetes ini terdapat dua *input* masukan yang akan diolah pada proses fuzzifikasi berdasarkan fungsi keanggotaan fuzzy seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 6. Rancangan fungsi keanggotaan input: (a) suhu dan (b) kelembapan

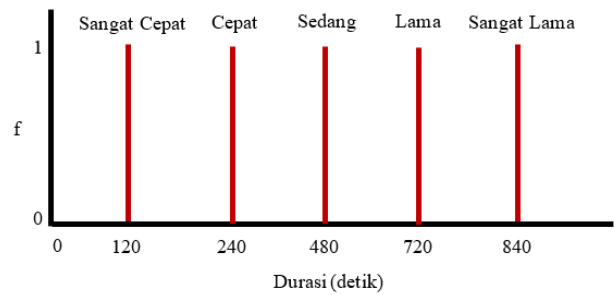
Tabel 2. Rancangan basis kaidah

u1 \ u2	Dingin	Sejuk	Normal	Panas
Kering	Sedang	Lama	Sangat Lama	Sangat Lama
Lembab	Cepat	Sedang	Sedang	Sedang
Basah	Sangat Cepat	Sangat Cepat	Cepat	Cepat

Fungsi keanggotaan suhu dipilih empat buah nilai linguistik yaitu Dingin, Sejuk, Normal, dan Panas. Fungsi keanggotaan kelembapan tanah dipilih tiga buah nilai linguistik yaitu Kering, Lembab, dan Basah. Untuk nilai keanggotaan ditentukan berdasarkan pengujian sistem.

- Melakukan proses inferensi untuk mendapatkan kesimpulan berdasarkan basis kaidah. Proses inferensi terdiri dari tiga tahapan yaitu operasi logika fuzzy, implikasi, dan agregasi. Pada penelitian ini metode yang digunakan pada operasi logika fuzzy yaitu AND, metode implikasi yang digunakan adalah min, dan agregasi menggunakan metode max. Basis kaidah yang dirancang terdapat pada Tabel 2. Berdasarkan basis aturan yang dirancang, terdapat 12 rule fuzzy. Contohnya yaitu:

Jika suhu = dingin dan kelembapan tanah = kering maka durasi valve = sedang



Gambar 7. Fungsi keanggotaan output

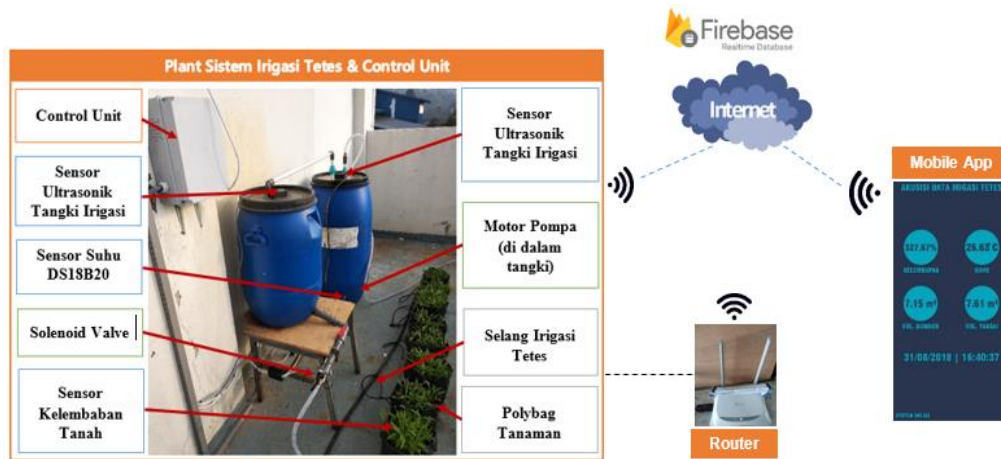
Jika suhu = dingin dan kelembapan tanah = lembab maka durasi valve = cepat

- Melakukan proses defuzzifikasi untuk mengubah nilai fuzzy menjadi nilai tegas. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *weighted average* seperti pada persamaan (4). Pada proses defuzzifikasi ini juga terdapat fungsi keanggotaan untuk menentukan batasan dari output fuzzy yang diinginkan. Pada penelitian ini dipilih lima buah nilai linguistik untuk menentukan durasi penyalan *solenoid valve* yaitu Sangat Cepat, Cepat, Sedang, Lama, dan Sangat Lama dalam bentuk fungsi keanggotaan *singleton* sebagaimana terlihat pada Gambar 7.
- Menentukan output durasi penyalan *solenoid valve* berdasarkan hasil kendali fuzzy. Nilai variabel waktu akan ditentukan berdasarkan hasil percobaan pada sistem irigasi tetes.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Rancangan sistem kontrol irigasi tetes dengan konsep IoT pada Gambar 1 telah diimplementasikan dengan membuat prototipe sistem seperti yang terdapat pada Gambar 8. Prototipe sistem terdiri dari tiga bagian yaitu *plant* sistem irigasi tetes dan *control unit*, *wireless router*, dan *realtime database* serta aplikasi Android. *Control unit* dipasang menggunakan box kontrol yang terhubung dengan sensor kelembapan tanah dan suhu yang dipasang pada area tanam serta sensor level air yang dipasang pada tangki air. Untuk menghubungkan sistem melalui jaringan internet maka digunakan *wireless router* sehingga WiFi pada sistem kontrol dapat terkoneksi ke jaringan internet. Bagian ketiga adalah *realtime database* menggunakan Firebase untuk menyimpan data pembacaan sensor dan parameter-parameter lain seperti parameter fuzzy dan waktu. *Database* ini dapat diakses menggunakan aplikasi Android yang dibuat. Aplikasi Android dapat terhubung dengan sistem melalui jaringan internet sehingga *user* dapat mengakses akuisisi



Gambar 8. Prototipe sistem kontrol irigasi tetes



Gambar 9. Tampilan dan fitur aplikasi Android

data dan pengontrolan manual ON/OFF sistem dari mana saja selama aplikasi Android dan *control unit* terkoneksi internet. Adapun tampilan aplikasi ditunjukkan pada Gambar 9 dengan fitur:

1. *Home*, menampilkan monitoring data suhu ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan tanah (%), level air (cm)
2. Grafik akuisisi data sensor

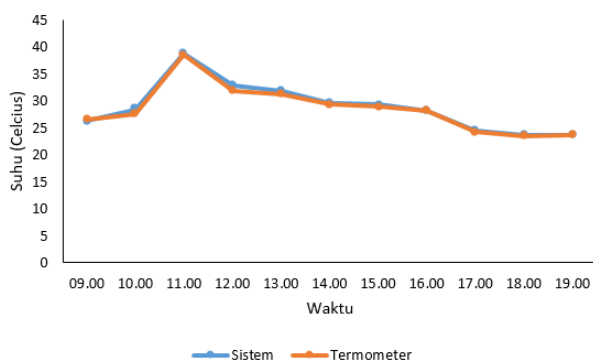
3. Kendali ON/OFF manual untuk lampu, motor, dan valve
4. *History* data sensor-sensor
5. *History* data penyiraman
6. *Membership* fuzzy

B. Pengujian Sensor Suhu

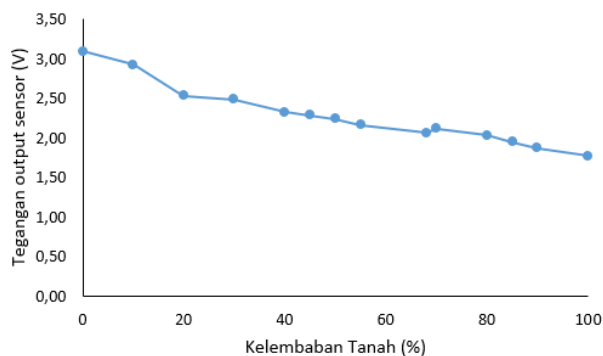
Pengujian sensor suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dan pembacaan pada Thermometer digital. Hasil pengujian sensor suhu terdapat pada Gambar 10. Hasil pengujian sensor suhu dilakukan pada waktu yang berbeda. Setiap waktu diambil beberapa data dan diambil rata-ratanya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil pembacaan suhu pada sistem menghasilkan rata-rata selisih yang sangat kecil terhadap hasil pembacaan Thermometer yaitu sebesar $0,33^{\circ}\text{C}$.

C. Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

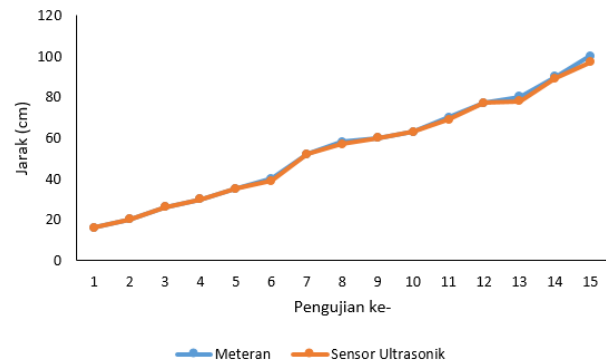
Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan untuk mengetahui rentang nilai yang dihasilkan pada kondisi basah, lembab, dan kering. Pada mulanya sensor kelembapan tanah yang digunakan adalah sensor YL-69 yang bersifat resistif. Tetapi setelah digunakan beberapa lama sensor mengalami korosi. Hal ini terjadi karena sensor bersifat resistif saat ditancapkan ke tanah akan terjadi elektrolisis dan menyebabkan konduktor sensor mengalami korosi. Oleh karena itu, dicari alternatif sensor kelembapan yang lain yaitu menggunakan sensor kelembapan tanah SEN0193 yang bersifat kapasitif sehingga tidak akan terjadi korosi walaupun ditancapkan ke tanah secara terus-menerus. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Hasil pengujian sensor suhu



Gambar 11. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah



Gambar 12. Hasil pengujian sensor level air

Pengujian mula-mula dilakukan saat kondisi tanah kering yang dapat diketahui level keringnya melalui *soil moisture meter*. Tanah diberi air sedikit demi sedikit sampai tanah menjadi basah. Sensor kelembapan tanah ditancapkan pada tanah kemudian diukur tegangan keluarannya pada berbagai tingkat kelembapan tanah mulai dari 0 sampai 100%. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kelembapan, maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Pada saat kelembapan tanah dalam kondisi kering yaitu 10-30%, tegangan berkisar antara 3,09-2,48 V. Saat kelembapan tanah dalam kondisi lembab yaitu 30-70%, tegangan berkisar 2,48-2,11 V, sedangkan saat kelembapan tanah dalam kondisi basah yaitu 70-100%, tegangan *output* yang dihasilkan sensor berkisar 2,11-1,77 V.

D. Pengujian Sensor Level Air

Sensor level air pada penelitian ini digunakan untuk mengukur ketinggian air dalam tangki. Pengujian menggunakan meteran untuk membandingkan hasil pembacaan sensor. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 12. Hasil pengujian menunjukkan hasil pembacaan sensor cukup akurat dengan *persentase error* yang kecil yaitu sebesar 0,82%.

E. Pengujian Kendali Logika Fuzzy

Kendali fuzzy yang telah dibuat, diuji dengan membandingkan *output* fuzzy yang dihasilkan *control unit* dengan simulasi pada Matlab. Nilai fungsi keanggotaan didapat dari hasil pengukuran, diperoleh sebagai berikut:

1. Fungsi keanggotaan suhu adalah:
 - Dingin : $15^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$
{Trapezium: 10 15 18 23}
 - Sejuk : $19^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$
{Segitiga: 19 23 27}
 - Normal : $23^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}$
{Segitiga: 23 27 31}
 - Panas : $27^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
{Trapezium: 27 32 40 42}

Tabel 3. Hasil pengujian kendali fuzzy

Input Value		Output Value		Error (%)
Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Durasi (detik) MATLAB	Durasi (detik) Raspberry	
18	10	480	480	0
20	40	320	320	0
38,7	80	240	240	0
32,9	10	840	840	0
31,8	62	480	480	0
29,5	75	240	240	0
29,3	50	480	480	0
28	55	480	480	0
24,5	100	165	168	1,8
23,6	20	738	739	0,1
23,7	30	650	650	0
26,3	90	219	219	0
25	85	180	180	0
Rata-rata				0,15

- Fungsi keanggotaan kelembapan tanah yaitu:
 Kering : 0 - 30%
 {Trapesium: -10 0 20 30}
 Lembab : 28 - 70%
 {Segitiga: 28 55 70}
 Basah : 68 - 100%
 {Trapesium: 68 85 100 110}
- Fungsi keanggotaan durasi diperoleh sebagai berikut:
 Sangat Cepat = 120 detik
 Cepat = 240 detik
 Sedang = 480 detik
 Lama = 720 detik
 Sangat Lama = 840 detik

Hasil pengujian kendali fuzzy dengan berbagai nilai input suhu dan kelembapan dihasilkan *output* durasi penyiraman terdapat pada Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali fuzzy dengan membandingkan hasil fuzzy simulasi Matlab dan hasil program fuzzy yang dibuat pada *control unit* menghasilkan rata-rata persentase *error* sebesar 0,15%.

F. Pengujian Aplikasi Android

Pengujian selanjutnya pada aplikasi Android bertujuan untuk menguji apakah fitur-fitur yang dibuat telah berfungsi dan untuk mengetahui *delay* yang terjadi. Pada fitur akuisisi data yaitu monitoring data sensor-sensor telah dapat terhubung dengan baik. Aplikasi juga telah dapat menampilkan pembacaan sensor dalam bentuk grafik. Aplikasi diuji juga pada *mode* manual, yaitu ON/OFF aktuator menggunakan tombol pada aplikasi. Pengujian dilakukan dengan menekan tombol ON/OFF selama beberapa kali untuk mengambil data *delay*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *delay* yang dihasilkan

sebesar 1,5 detik. Artinya ketika tombol ditekan maka *output* akan ON/OFF dengan delay 1,5 detik setelah tombol ditekan. Kecepatan *delay* ini tergantung dari koneksi jaringan internet. Jika sinyal baik maka respon akan semakin cepat.

G. Pengujian Integrasi Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan dengan mengintegrasikan semua komponen sistem sesuai hasil implementasi sistem. Setelah diketahui bagaimana karakteristik dan kinerja sensor maka sensor dapat diintegrasikan untuk memberikan data *input* bagi kendali fuzzy. Kendali fuzzy yang telah dibuat pun telah diuji dengan membandingkannya terhadap *output* simulasi Matlab. Pada integrasi sistem secara keseluruhan diuji bagaimana hasil implementasi kendali fuzzy apakah dapat mengendalikan kelembapan tanah pada sistem irigasi tetes. Parameter yang diukur adalah kelembapan tanah setelah dilakukan penyiraman, durasi lama penyalan *solenoid valve* hasil kendali fuzzy, dan volume air yang terpakai pada proses penyiraman. Volume air didapatkan dari selisih ketinggian air sebelum dan sesudah proses penyiraman, kemudian dimasukkan ke persamaan volume tabung karena tangki air berbentuk tabung. Hasil pengujian integrasi sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.

Hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem dapat mengontrol kelembapan tanah secara otomatis menggunakan logika fuzzy. Sistem dapat menjaga kelembapan tanah pada kelembapan rata-rata sebesar 98,4% dengan durasi penyiraman rata-rata sebesar 453,6 detik dan volume air rata-rata yang terpakai pada proses penyiraman sebanyak 10,9 liter.

Tabel 4. Hasil pengujian integrasi sistem

Input Value		Output Value		Vol. air (liter)
Suhu (°C)	Kelembapan awal (%)	Kelembapan akhir (%)	Durasi (detik)	
38,7	80	100%	240	6,3
32,9	10	95%	840	20,1
31,8	62	98%	480	11,3
29,5	75	98%	240	6,3
29,3	50	100%	480	11,3
28	55	100%	480	11,3
24,5	100	100%	168	3,8
23,6	20	97%	739	17,6
23,7	30	96%	650	16,3
26,3	90	100%	219	5,0
Rata-rata		98,4%	453,6	10,9

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali irigasi tetes menggunakan konsep IoT berbasis logika fuzzy Takagi-Sugeno telah diimplementasikan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil penelitian, kendali logika fuzzy Takagi-Sugeno dapat diterapkan pada sistem irigasi tetes berdasarkan suhu dan kelembapan tanah untuk menentukan durasi penyiraman tanaman. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat menjaga kelembapan tanah secara otomatis. Sistem irigasi tetes juga dapat dimonitoring dan dikontrol dari jarak jauh melalui jaringan internet menggunakan aplikasi Android. Penelitian selanjutnya adalah mengembangkan sistem ini dengan menambahkan pengontrolan pemberian pupuk tanaman dan untuk area yang luas dapat menggunakan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk pengukuran parameter pada area tanam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih, disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian skema Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2018.

REFERENSI

- [1] M. S. I. Chaer, S. H. Abdullah, and A. Priyati, "Aplikasi Mikrokontroler Arduino pada Sistem Irigasi Tetes untuk Tanaman Sawi (Brassica Juncea)," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 4, pp. 228–238, 2016.
- [2] G. Kavianand, V. M. Nivas, R. Kiruthika, and S. Lalitha, "Smart Drip Irrigation System for sustainable Agriculture," in *IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (Tiar)*, pp. 19–22, 2016.
- [3] R. Ubudi, B. Irawan, and R. E. Saputra, "Automation System For Controlling and Monitoring Ornamental Plants Using Fuzzy Logic Method," in *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, pp. 196–201, 2017.
- [4] T. Pranata, B. Irawan, and Ilhamsyah, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan*, vol. 4, no. 2, pp. 11–22, 2015.
- [5] B. A. Kurniawan, "Alat Penyiram Tanaman Otomatis dengan Logika Fuzzy Berbasis ATMega16," *Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika*, vol. 5, no.1, pp. 1–8, 2016.
- [6] K. Anand, C. Jayakumar, M. Muthu, and S. Amirneni, "Automatic Drip Irrigation System Using Fuzzy Logic And Mobile Technology," in *IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (Tiar)*, pp. 54–58, 2015.
- [7] T. D. Hendrawati, Y. D. Wicaksono, and E. Andika, "Internet of Things: Sistem Kontrol-Monitoring Daya Perangkat Elektronika," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, pp. 177–184, 2018.
- [8] E. Sorongan, Q. Hidayati, and K. Priyono, "ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, pp. 219–224, 2018.
- [9] R. B. Lukito and C. Lukito, "Development of IoT at hydroponic system using raspberry Pi," *TELKOMNIKA - Telecommunication, Computing, Electronics and Control*, vol.17, no.2, pp. 897–906, 2019.
- [10] D. Saraswathi, P. Manibharathy, R. Gokulnath, E. Sureshkumar, and K. Karthikeyan, "Automation of Hydroponics Green House Farming using IOT," in *IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, 2018.
- [11] S. Khummanee, S. Wiangsamut, P. Sorntepa, and C. Jaiboon, "Automated Smart Farming for Orchids with the Internet of Things and Fuzzy Logic," in *International Conference on Information Technology (InCIT)*, 2018.
- [12] B. Alomar and A. Alazzam, "A Smart Irrigation System Using IoT and Fuzzy Logic Controller," *HCT Information Technology Trends (ITT)*, pp. 175–179, 2018.
- [13] R. Chidambaram RM and V. Upadhyaya, "Automation in drip irrigation using IOT devices," in *International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, pp. 323–327, 2017.
- [14] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," in *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, no. 1, pp. 116–132, 1985.
- [15] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, New York: Springer, 2007.

