

# Implementasi *IoT* Cerdas Berbasis *Inference Fuzzy Tsukamoto* pada Pemantauan Kadar PH Air dan Suhu pada Tanaman Tomat

Arman Syaefulloh<sup>1</sup>, Endi Permata<sup>2</sup>, dan Irwanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Sultan Ageng Tirtaya

Jl. Raya Ciwaru No, 25, Kota Serang, Banten, Ciwaru 42121

e-mail: 2283170025@untirta.ac.id

**Abstrak**—Permintaan tomat yang cukup tinggi dan perlakuan pertumbuhan tanaman tomat yang memerlukan perhatian khusus serta berkurangnya faktor sawah dan kondisi lingkungan sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman tomat. Sehingga Sebagian besar para petani masih mengandalkan iklim cuaca. Maka dibuatlah suatu alat implementasi *IoT* cerdas berbasis *inference fuzzy tsukamoto* pada pemantauan kadar PH air dan suhu pada tanaman tomat. Hasil pengujian sensor DHT11 dan PH dapat dimonitor dengan aplikasi blynk dan ditampilkan ke LCD. Hasil pengujian penyiraman sesuai dengan *rule* yang telah dibuat menggunakan sistem *fuzzy Tsukamoto* mendapatkan tingkat akurasi keberhasilan 100%. Hasil implementasi pada tanaman tomat dari mulai benih sampai berbuah mendapatkan tinggi tanaman 122 CM saat berbuah.

**Kata kunci:** *Fuzzy Tsukamoto, Sensor DHT11, Sensor PH Air, Aplikasi Blynk, Tanaman Tomat.*

**Abstract**— The demand for tomatoes is quite high and the treatment of tomato plant growth that requires special attention as well as the reduction in paddy fields and environmental conditions greatly affect the growth of tomato plants. So most of the farmers still rely on the weather climate. So an intelligent IoT implementation tool based on Tsukamoto's fuzzy inference was made for monitoring water PH and temperature levels in tomato plants. The test results of the DHT11 and PH sensors can be monitored with the blynk application and displayed on the LCD. The results of the watering test according to the rules that have been made using the Tsukamoto fuzzy system get a 100% success rate of accuracy. The results of the implementation on tomato plants from seed to fruiting got a plant height of 122 CM when fruiting.

**Keywords:** *Fuzzy Tsukamoto, DHT11 Sensors, Water PH Sensors, Blynk App, Tomato Plant.*

## I. PENDAHULUAN

Tomat (*Lycopersicum esculentum Mill*) merupakan suatu tanaman yang tergolong ke dalam jenis tanaman perdu dan termasuk ke dalam suku Solanaceae. Tomat merupakan salah satu tanaman hortikultura yang banyak dibudidaya. Tingkat kebutuhan masyarakat akan tomat cukup tinggi, karena kaya kandungan vitamin dan manfaat kesehatan dalam tomat, hampir setiap hari dikonsumsi untuk dijadikan sambel atau dimakan secara lansung. Sehingga permintaan tomat yang tinggi akan menyebabkan pembudidayaan tomat harus memerlukan penanganan yang serius, agar dalam produksinya dan kualitas buahnya selalu terjaga [9].

Perawatan pertumbuhan tanaman tomat harus sesuai dengan kondisi tanaman tomat yang mempunyai kelembapan optimal yaitu 60%-80% supaya tidak terlampaui kering ataupun terlampaui basah. Suhu yang dimiliki tanaman tomat yaitu 24°C-28°C supaya tomat

yang dihasilkan bagus, karena jika suhu tomat terlalu tinggi dapat mengakibatkan tomat menjadi berwarna kuning, dan jika terlalu fluktuatif warna buah yang dihasilkan tidak akan merata. Tomat juga memerlukan intensitas cahaya yang baik sekurang-kurangnya 10-12 jam dalam satu hari dan tomat memiliki kadar pH air yang stabil antara 5-6, supaya tidak terlampaui asam karena dapat mengakibatkan unsur hara pada tanaman tomat dapat terganggu [4].

Permintaan yang cukup tinggi dan perawatan pertumbuhan tanaman tomat yang memerlukan perhatian khusus terutama pada proses penyiraman. Maka faktor lahan dan lingkungan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat seperti parameter suhu, kelembaban tanah, pH air, dan kebutuhan intensitas cahaya. Sehingga membuat para petani masih bergantung pada kondisi cuaca. Selain itu, luas lahan pertanian sawah yang tersedia dari tahun 2015 – 2019 mengalami

penurunan dari 8.092.907 Ha menjadi 7.463.948 Ha berdasarkan data dalam buku statistic data lahan tahun 2015-2019 [5].

Karena kondisi lahan sawah yang terus menurun setiap tahunnya, maka dibutuhkan sebuah media yang dapat menggantikan lahan sawah tersebut yaitu *greenhouse*. *Greenhouse* atau disebut juga rumah kaca merupakan sebuah bangunan konstruksi yang atap dan juga dindingnya terbuat dari bahan yang bersifat transparan seperti kaca, plastik, akrilik dan sejenisnya. Konstruksi bangunan yang bersifat transparan ini dimanfaatkan untuk memperoleh sinar matahari lebih banyak dan menghindari tanaman dari cuaca berlebih serta mengatur kondisi cuaca sesuai dengan yang dikehendaki [3].

Penggunaan *greenhouse* sudah banyak digunakan untuk sistem pertanian modern di berbagai daerah, namun dalam mengurus *greenhouse* pada saat ini masih dikerjakan secara manual atau dikerjakan secara semi otomatis yang mana masih membutuhkan campur tangan manusia dalam pengurusannya. Salah satu proses yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman adalah penyiraman, penyiraman pada tanaman tidak dapat dilepaskan dalam merawat dan menjaga pertumbuhan tanaman, namun dalam proses penyiraman secara manual sering kali terjadi kekurangan atau kelebihan dalam penyiraman mengakibatkan kelembaban tanah pada tanaman tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu pada proses penyiraman yang dilakukan secara manual oleh petani pada *greenhouse* menghabiskan banyak waktu, dan pengeluaran energi yang besar karena meninjau langsung ke lokasi serta mengakibatkan penggunaan air yang boros karena tidak terkendali [1].

Sehingga sangat dibutuhkan sistem cerdas yang dapat memantau kondisi tanaman dan menjalankan eksekusi perintah otomatis perawatan tanaman seperti halnya menyiram tanaman tanpa campur tangan manusia menggunakan sistem *fuzzy tsukamoto*. Nantinya sistem *fuzzy tsukamoto* ini dimonitoring secara jarak jauh dengan IoT (*Internet of Things*) yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler wemos d1 r1 juga sebagai koneksi dengan memanfaatkan perangkat wifi untuk melakukan pengiriman data yang dimonitoring pada aplikasi *android blynk*. Penggunaan IoT yang ditunjang dengan memakai metode *inference fuzzy tsukamoto* dalam penentuan proses durasi waktu lamanya penyiraman.

## II. STUDI PUSTAKA

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang mempunyai nilai kekaburan atau juga kesamaran (*fuzziness*) antara tegas atau melenceng. [8]. Dalam metode *tsukamoto* pada setiap aturan dibentuk *IF-Then* bersifat konsekuensi dan harus direpresentasikan dengan himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan di dalam himpunan yang monoton sesuai dengan hasilnya, output yang dihasilkan dari inferensi pada masing-masing peraturan diberikan secara tegas (*crisp*) tergantung dari nilai  $\alpha$ -predikat (fire strength). Untuk hasil akhir yang diperoleh dengan cara memakai rata-rata terbobot [7].

### 1) Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* mempunyai dua atribut, yang berupa bahasa dan angka. Adaun atribut bahasa

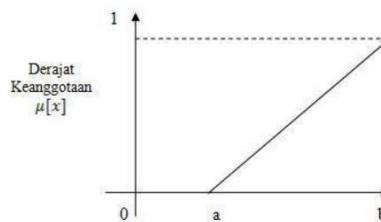
adalah atribut yang dipakai dalam penamaan suatu grup yang mewakili dari suatu keadaan atau suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa yang wajar, seperti kecil, sedang, besar, sedangkan atribut angka adalah suatu nilai yang memberitahukan ukuran dari suatu variabel [11].

### 2) Fungsi Keanggotaan Logika *Fuzzy*

Fungsi keanggotaan himpunan menggunakan dalam bentuk kurva yang memperlihatkan penggambaran pada nilai input data ke dalam nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan dan mempunyai nilai interval antara 0 – 1 [12].

#### a) Fungsi Representasi Linier

Dalam fungsi ini, untuk nilai dari input derajat keanggotaan digambarkan dengan garis lurus. Keadaan linier ini terdapat dua keadaan, yaitu linier naik dan juga linier turun.



Gambar 1. Representasi Kurva Naik

Rumus Kurva Naik:

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

Keterangan:

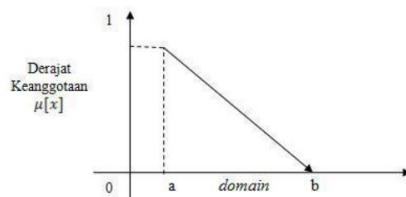
$\mu[x, a, b]$  = hasil dari nilai perhitungan input keanggotaan himpunan *fuzzy*.

0;  $x \leq a$  = input akan langsung bernilai 0 jika nilai dari variabel x (variabel linguistic keanggotaan himpunan *fuzzy*) kurang dari sama dengan nilai titik a.

$x - a$

$\frac{b-a}{b-a}; a \leq x \leq b$  = jika nilai input variabel x berada ditengah-tengah dari nilai titik a dan titik b maka akan dilakukan perhitungan nilai variabel x dikurangi dengan nilai titik a kemudian di bagi dengan hasil perhitungan nilai titik b dikurangi dengan titik a untuk mendapatkan nilai input variabel keanggotaan himpunan *fuzzy*.

1;  $x \geq b$  = input akan langsung bernilai 1 jika nilai dari variabel x (variabel linguistic keanggotaan himpunan *fuzzy*) lebih dari sama dengan nilai titik b.



Gambar 2. Representasi Kurva Turun

Rumus kurva turun:

$$\mu[x, a, b] = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1 & x \leq a \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (2)$$

Keterangan:

$\mu[x, a, b]$  = hasil dari nilai perhitungan input keanggotaan himpunan fuzzy.

0;  $x \geq b$  = input akan langsung bernilai 0 jika nilai dari variabel x (variabel linguistic keanggotaan himpunan fuzzy) lebih dari sama dengan nilai titik b.

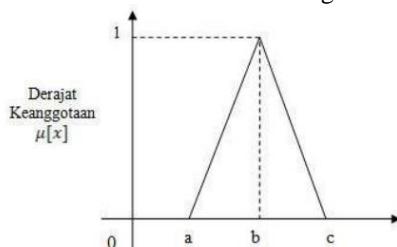
$$\frac{b-x}{b-a}; a \leq x \leq b$$

= jika nilai input variabel x berada ditengah-tengah dari nilai titik a dan titik b maka akan dilakukan perhitungan nilai titik b dikurangi dengan nilai variabel x kemudian di bagi dengan hasil perhitungan nilai titik b dikurangi dengan titik a untuk mendapatkan nilai input variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

1  $x \leq a$  = input akan langsung bernilai 1 jika nilai dari variabel x (variabel linguistic keanggotaan himpunan fuzzy) kurang dari sama dengan nilai titik a.

#### b) Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga mempunyai 3 parameter yang didefinisikan dengan nilai a,b,c untuk menentukan koordinat x dari tiga sudut.



Gambar 3. Representasi Kurva Segitiga

Rumus kurva segitiga:

$$\mu[x, a, b, c] = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3)$$

Keterangan:

0  $x \leq a$  atau  $x \geq c$  = input akan langsung bernilai 0 jika nilai dari variabel x (variabel linguistic keanggotaan himpunan fuzzy) lebih dari sama dengan nilai titik c dan kurang dari sama dengan titik a.

$$\frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b$$

= jika nilai input variabel x berada ditengah-tengah dari nilai titik a dan titik b maka akan dilakukan perhitungan nilai variabel x dikurangi dengan nilai titik a kemudian di bagi dengan hasil perhitungan nilai titik b dikurangi dengan titik a untuk mendapatkan nilai input variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

$$\frac{c-x}{c-b}; b \leq x \leq c$$

= jika nilai input variabel x berada ditengah-tengah dari nilai titik a dan titik b

maka akan dilakukan perhitungan nilai titik b dikurangi dengan nilai variabel x kemudian di bagi dengan hasil perhitungan nilai titik b dikurangi dengan titik a untuk mendapatkan nilai input variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

#### 3) Operator Dasar Zadeh

Sistem inferensi fuzzy merupakan penarikan dari aturan kesimpulan atau masukan fuzzy yang telah dibuat berdasarkan pada himpunan fuzzy, aturan fuzzy yang berbentuk IF-THEN, dan penalaran yang mempunyai masukan serta keluaran berupa crisp value [10].

Seperti halnya himpunan konvensional, terdapat beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan fuzzy. Dari nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi 2 himpunan sering dikenal dengan nama file *strength* atau a-predikat. Terdapat tiga operator dasar yang diciptakan oleh Zadeh di dalam [6], yaitu:

##### a) Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interaksi pada himpunan. Nilai a-predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (4)$$

Keterangan:

$\mu_{A \cup B}$  = hasil nilai dari mencari nilai minimum dari dua hasil input variabel keanggotaan fuzzy.

$\min$  = mencari nilai minimum dari kedua hasil input variabel keanggotaan himpunan fuzzy x dan y

$\mu_A[x]$  = hasil nilai input variabel x keanggotaan himpunan fuzzy.

$\mu_B[y]$  = hasil nilai input variabel y keanggotaan himpunan fuzzy.

#### 4) Inference

Dalam tahap ini untuk mencari nilai z dengan memasukkan ke dalam rumus kurva naik dan kurva turun pada output keanggotaan himpunan fuzzy.

Rumus mencari nilai z kurva turun:

$$z = b - (\alpha_{predikat} * (b - a)) \quad (5)$$

Rumus mencari nilai z kurva naik:

$$z = (\alpha_{predikat} * ((b - a)) + a \quad (6)$$

Keterangan:

$z$  = Hasil nilai output variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

$\alpha_{predikat}$  = Hasil nilai dari perpotongan mencari nilai terkecil dari kedua input variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

$(b - a)$  = Nilai pada titik b dikurangi dengan nilai pada titik a. Nilai titik a dan titik b ditentukan pada saat menentukan nilai variabel numerik keanggotaan himpunan fuzzy.

### 5) Defuzzyifikasi

Defuzzifikasi merupakan tahapan dalam mengubah suatu nilai output dari himpunan fuzzy menjadi output himpunan yang bernilai tegas [2].

Rumus untuk mencari nilai output fuzzy:

$$Z = \frac{\alpha_{pred1} * z_1 + \dots}{\alpha_{pred1} + \dots} \quad (7)$$

Keterangan:

$Z$ =Hasil nilai output atau defuzzyifikasi dari perhitungan seluruhnya.

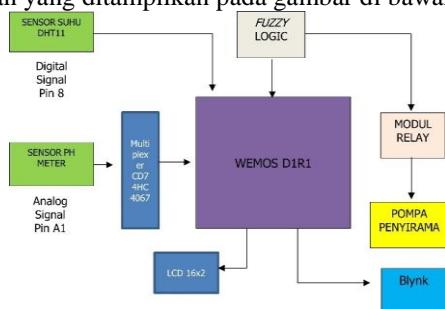
$z$  = Hasil nilai output variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

$\alpha_{predikat}$  = Hasil nilai dari perpotongan mencari nilai terkecil dari kedua input variabel keanggotaan himpunan fuzzy.

## III. METODE

### A. Perancangan Hardware

Pada perancangan perangkat keras ini, dibuat sebuah diagram blok sistem untuk menjelaskan tentang keterkaitan beberapa komponen yang digunakan berupa input sensor suhu DHT11 dan sensor pH air pada alat untuk mengatur masukan dalam menjalankan sistem yang diproses pada mikrokontroler wemos d1 r1 menggunakan sistem fuzzy logic tertanam metode tsukamoto kemudian proses keluaran data dikirimkan melalui modul IoT (*Internet of Things*) ESP8266 yang telah tersedia pada wemos d1 r1 dengan bantuan wifi kepada user melalui aplikasi *blynk* untuk memonitor dan mengontrol output pompa penyiraman yang ditampilkan pada gambar di bawah ini:

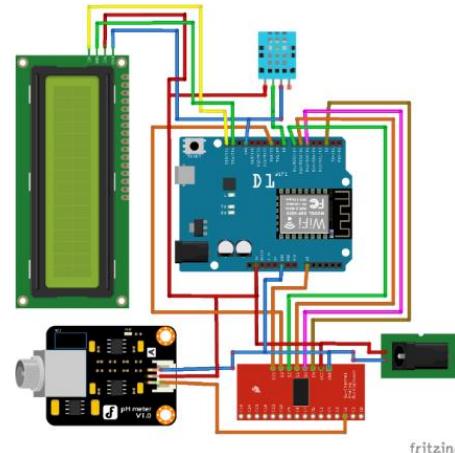


Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Pada gambar diagram blok sistem diatas, dijelaskan bahwa nilai dari hasil pembacaan input data sensor suhu dht11 akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses ke dalam perhitungan *fuzzy logic* Tsukamoto, yang kemudian hasil outputnya untuk menentukan durasi penyiraman dengan cara menentukan on/off relay untuk menyalakan pompa air. Selain itu, nilai sensor suhu akan ditampilkan pada LCD 16x2 dan dimonitoring menggunakan aplikasi blynk. Sedangkan untuk hasil pembacaan nilai sensor PH yang dibantu dengan modul tambahan channel analog multiplexer cd74hc4067 akan dikirimkan ke mikrokontroler yang kemudian ditampilkan hasil nilai PH pada LCD 16x2 dan dimonitoring melalui aplikasi blynk. Modul wemos d1 r1 sudah terintegrasi

dengan modul WiFi esp8266 sehingga langsung dapat digunakan untuk penggunaan *IoT* yang akan dihubungkan dengan aplikasi blynk.

Pada tahap perancangan rangkaian elektronika mengacu pada diagram blok sistem yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dalam membuat rangkaian elektronika ini menggunakan aplikasi *fritzing* yang ditampilkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 5. Rangkaian Alat

Berdasarkan gambar di atas, perangkat yang digunakan dari wemos d1 r1 maupun sensor-sensor dapat beroperasi dengan sumber tegangan 5 V yang didapatkan dari sumber 5v *power supply* yang dialirkan melalui *jack connector* tegangan setelah tegangan *power supply* diturunkan. Terdapat dua sensor yang digunakan meliputi sensor suhu dht11 dan sensor PH air. Sensor dht11 terhubung pada pin digital 8, sedangkan sensor PH air terhubung ke pin C3 pada modul tambahan 16 pin analog multiplexer cd74hc4067.

### B. Perancangan Sistem Fuzzy Tsukamoto

Pada penelitian ini sistem tertanam logika *fuzzy* menggunakan metode *fuzzy Tsukamoto*. Berikut merupakan pembentukan grafik keanggotaan himpunan dua input sensor suhu dht11 sebagai salah satu anggota himpunan fuzzy serta output durasi penyiraman dan pembentukan *rule fuzzy* yang diinginkan menggunakan matlab.

#### 1) Input Suhu Fuzzy Tsukamoto

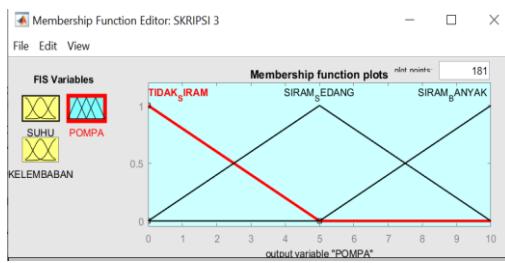
Pada pembentukan keanggotaan himpunan input suhu terdapat 3 kategori himpunan yaitu sejuk kurang dari sama dengan 24°C, normal sama dengan 28°C, dan panas lebih dari sama dengan 32°C. Angka dari *range* himpunan diperoleh dari syarat hidup pertumbuhan tanaman tomat dan dari kondisi suhu ruangan.



Gambar 6. Input Variabel Himpunan Suhu

## 2) Output Fuzzy Tsukamoto.

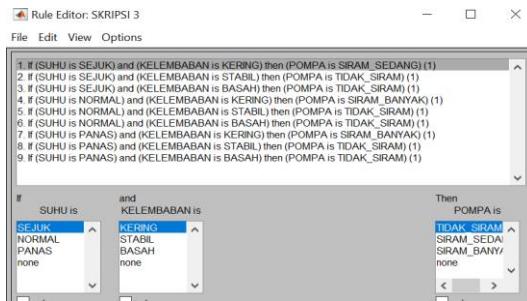
Pada output pompa air DC terdapat 3 kategori himpunan yaitu tidak siram sama dengan 0, siram sedang sama dengan 5 detik, dan sirambanyak sama dengan 10 detik. Angka dari *range* himpunan tersebut diperoleh dari keinginan yang dibuat oleh penulis



Gambar 7. Output Variabel Himpunan Pompa

## 3) Rule Fuzzy

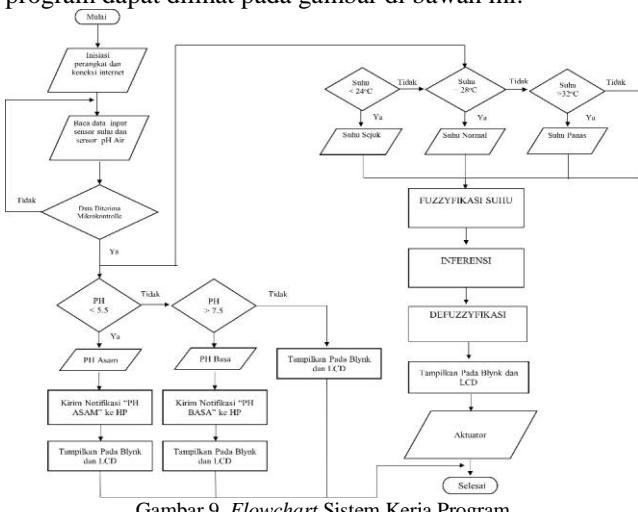
Terdapat 9 aturan yang dibentuk sesuai dengan keinginan penulis untuk membuat sistem penyiraman secara otomatis dalam mengambil keputusan aturan yang telah dibuat tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Rule Fuzzy yang Dibuat

## C. Perancangan software

Pada tahap perancangan perangkat lunak ini menggunakan *software arduino IDE* untuk mengolah data input sensor DHT11 dan sensor pH meter yang di kontrol oleh wemos d1 r1 yang sudah include modul WiFi ESP8266 dan dikirim ke server *blynk* sebagai IoT (*Internet of Things*). Berikut rancangan sistem kerja jalannya program dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 9. Flowchart Sistem Kerja Program

Berdasarkan flowchart sistem kerja di atas, langkah pertama diawali dengan mengaktifkan *hardware* dalam sistem kerja perangkat. Lalu, Arduino menginisiasi perangkat dan koneksi internet, jika Arduino telah terkoneksi maka sensor bekerja sesuai dengan apa yang telah diprogram yaitu sensor suhu dht11 yang memonitoring keadaan suhu dan kelembaban udara pada ruangan serta sensor pH air memonitoring keadaan nilai pH air, lalu data diterima oleh wemos d1 r1 diproses secara terpisah.

Pertama sensor dht11 setelah membaca nilai suhu ruangan, apakah nilai suhu kurang dari sama dengan 24°C. Jika iya, maka akan dikategorikan sebagai suhu sejuk dan akan masuk ke dalam proses perhitungan *fuzzyifikasi*. Jika tidak, maka akan melanjutkan proses menanyakan apakah nilai sensor sama dengan 28°C. Jika iya, maka akan dikategorikan sebagai suhu normal dan akan masuk ke dalam proses perhitungan *fuzzyifikasi*. Jika tidak, maka akan melanjutkan proses menanyakan apakah nilai suhu lebih dari sama dengan 32 °C. Jika iya, maka akan masuk ke dalam proses perhitungan *fuzzyifikasi*. Jika tidak, maka akan melanjutkan ke proses perhitungan *fuzzyifikasi*. Selanjutnya setelah melewati proses *fuzzyifikasi* maka akan melanjutkan proses perhitungan dan menentukan *rule fuzzy* dengan menggunakan inferensi *fuzzy*. Selanjutnya setelah melewati inferensi maka akan melanjutkan ke proses *defuzzyifikasi* untuk menentukan outputnya. Setelah itu akan menampilkan nilai suhu ke blynk dan layar LCD. Tahap selanjutnya setelah pemrosesan perhitungan *fuzzy*, mikrokontroler akan mengirim perintah ke aktuator dan selesai.

Kedua untuk sensor PH air setelah membaca nilai PH air, apakah nilai PH air kurang dari sama dengan 5,5. Jika iya, maka akan mengirimkan notifikasi “PH ASAM” ke aplikasi smartphone. Selanjutnya nilai sensor akan ditampilkan ke blynk dan layar LCD dan selesai. Jika tidak, maka akan masuk proses selanjutnya, apakah nilai PH air lebih dari sama dengan 7,5. Jika iya, maka akan mengirimkan notifikasi “PH BASA” ke aplikasi smartphone. Selanjutnya nilai sensor akan ditampilkan ke blynk dan layar LCD dan selesai. Jika tidak, maka nilai PH air akan ditampilkan ke blynk dan layar LCD dan selesai.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengujian Sensor

#### 1) Sensor Suhu DHT11

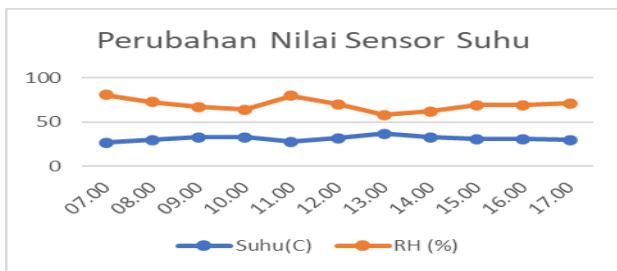
Pengujian sensor suhu dht11 yang berada di dalam *greenhouse* dilakukan untuk mengetahui suhu dan kelembaban di dalam *greenhouse*. Hasil pengujian akan dimasukkan ke dalam tabel di bawah ini:

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Suhu DHT11

No.	Pukul	Suhu (°C)	RH (%)
1.	07.00	27	81
2.	08.00	30	73
3.	09.00	33	67
4.	10.00	33	64
5.	11.00	28	80

6.	12.00	32	70
7.	13.00	37	58
8.	14.00	33	62
9.	15.00	31	69
10.	16.00	31	69
11.	17.00	30	71

Berdasarkan tabel di atas pengujian sensor suhu dht11 dilakukan mulai jam 07.00 – 17.00 WIB, untuk mengetahui besarnya nilai suhu dan kelembaban udara di dalam ruangan *greenhouse*. Kemudian data dalam tabel tersebut diolah menggunakan *microsoft excel* untuk ditampilkan ke dalam bentuk grafik. Berikut merupakan gambar grafik perubahan nilai suhu di bawah ini:



Gambar 10. Grafik Perubahan Nilai Suhu

Berdasarkan gambar 10 grafik di atas, pengujian sensor suhu dht11 dilakukan mulai pukul 07.00 – 17.00 WIB. Dari hasil pengujian terjadi perubahan suhu secara signifikan pada setiap jamnya. Terdapat kenaikan suhu tertinggi pada pukul 13.00 sebesar 37°C di dalam ruangan *greenhouse*.

## 2) Sensor Analog PH Meter

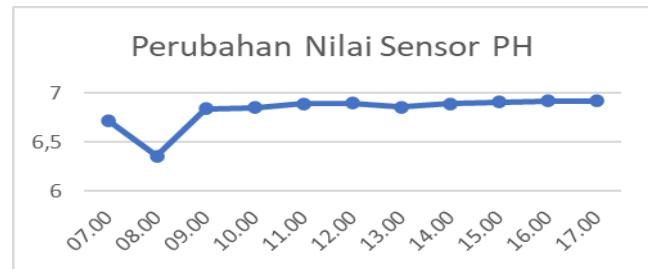
Pengujian sensor analog pH meter yang berada di dalam tempat air dilakukan untuk mengetahui nilai pH air yang digunakan untuk menyiram tanaman tomat di dalam *greenhouse*. Hasil pengujian sensor analog pH meter akan dimasukkan ke dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Analog PH Meter

No.	Pukul	PH
1.	07.00	6,72
2.	08.00	6,36
3.	09.00	6,84
4.	10.00	6,85
5.	11.00	6,89
6.	12.00	6,9
7.	13.00	6,86
8.	14.00	6,89
9.	15.00	6,91
10.	16.00	6,92
11.	17.00	6,94

Pengujian sensor analog pH meter dilakukan mulai jam 07.00 – 17.00 WIB untuk mengetahui besarnya nilai pH air yang berada di dalam wadah tong 30 liter di dalam *greenhouse*. Kemudian data dalam tabel tersebut diolah menggunakan *microsoft*

*excel* untuk ditampilkan ke dalam bentuk grafik. Berikut merupakan gambar grafik perubahan nilai PH di bawah ini:



Gambar 11. Grafik Perubahan Nilai Kadar PH Air

Berdasarkan gambar 11 grafik di atas, pengujian sensor PH dilakukan dari pukul 07.00 – 17.00 WIB. Hasil dari pengujian sensor PH terdapat kenaikan nilai PH sebesar 6,94 pada pukul 17.00.

## B. Hasil Pengujian Fuzzy Tsukamoto

Proses tahapan dari nilai himpunan keanggotaan input sensor suhu yang telah dibuat, kemudian masuk ke dalam proses *fuzzyifikasi* yang nantinya dari proses ini menghasilkan nilai dari setiap himpunan keanggotaan yang dibuat menggunakan rumus kurva turun dan naik seperti yang telah ditentukan pada input variabel himpunan suhu yang dibuat yaitu sejuk, normal, dan panas. Berikut merupakan rumus dari input variabel keanggotaan suhu:

Suhu Sejuk

$$1, \quad suhu \leq 24 \quad (8)$$

$$\frac{28 - suhu}{28 - 24} \quad 28 \leq suhu \leq 24 \quad (9)$$

$$0, \quad suhu \geq 28 \quad (10)$$

Suhu Normal

$$0, \quad suhu \leq 24 \quad (11)$$

$$\frac{suhu - 24}{28 - 24} \quad 24 \leq suhu \leq 28 \quad (12)$$

$$\frac{32 - suhu}{32 - 28} \quad 28 \leq suhu \leq 32 \quad (13)$$

$$0, \quad suhu \geq 32 \quad (14)$$

Suhu Panas

$$0, \quad suhu \leq 32 \quad (15)$$

$$\frac{suhu - 28}{32 - 28} \quad 28 \leq suhu \leq 32 \quad (16)$$

$$1, \quad suhu \geq 32 \quad (17)$$

Setelah mengetahui rumus pada masing-masing himpunan keanggotaan suhu, selanjutnya masuk ke dalam proses inferensi *fuzzy tsukamoto* dengan menentukan *rule* yang diinginkan dan dihitung dengan memakai fungsi implikasi untuk menghasilkan nilai a-predikat selanjutnya

nilai a-predikat yang didapat akan dimasukkan ke dalam rumus kurva naik atau turun tergantung pada setiap output di dalam *rule* yang dibuat untuk mendapatkan nilai z. Rumus dari infrensi sebagai berikut:

Rule 1 = IF (SUHU is SEJUK) AND (KELEMBABAN is KERING) THEN (POMPA is SIRAM\_SEDANG)

$$\alpha_{pred_1} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{SEJUK}], \mu_B[\text{KERING}]) \quad (18)$$

$$z_{1a} = (\alpha_1 * ((5 - 0)) + 0 \quad (19)$$

$$z_{1b} = 10 - (\alpha_1 * (10 - 5)) \quad (20)$$

Rule 2 = IF (SUHU is SEJUK) AND (KELEMBABAN is STABIL) THEN (POMPA is TIDAK\_SIRAM)

$$\alpha_{pred_2} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{SEJUK}], \mu_B[\text{STABIL}]) \quad (21)$$

$$z_2 = 5 - (\alpha_2 * (5 - 0)) \quad (22)$$

Rule 3 = IF (SUHU is SEJUK) AND (KELEMBABAN is BASAH) THEN (POMPA is TIDAK\_SIRAM)

$$\alpha_{pred_3} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{SEJUK}], \mu_B[\text{BASAH}]) \quad (23)$$

$$z_3 = 5 - (\alpha_3 * (5 - 0)) \quad (24)$$

Rule 4 = IF (SUHU is NORMAL) AND (KELEMBABAN is KERING) THEN (POMPA is SIRAM\_BANYAK)

$$\alpha_{pred_4} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{NORMAL}], \mu_B[\text{KERING}]) \quad (25)$$

$$z_4 = (\alpha_4 * ((10 - 5)) + 5 \quad (26)$$

Rule 5 = IF (SUHU is NORMAL) AND (KELEMBABAN is STABIL) THEN (POMPA is TIDAK\_SIRAM)

$$\alpha_{pred_5} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{NORMAL}], \mu_B[\text{STABIL}]) \quad (27)$$

$$z_5 = 5 - (\alpha_5 * (5 - 0)) \quad (28)$$

Rule 6 = IF (SUHU is NORMAL) AND (KELEMBABAN is BASAH) THEN (POMPA is TIDAK\_SIRAM)

$$\alpha_{pred_6} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{NORMAL}], \mu_B[\text{BASAH}]) \quad (29)$$

$$z_6 = 5 - (\alpha_6 * (5 - 0)) \quad (30)$$

Rule 7 = IF (SUHU is PANAS) AND (KELEMBABAN is KERING) THEN (POMPA is SIRAM\_BANYAK)

$$\alpha_{pred_7} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{PANAS}], \mu_B[\text{KERING}]) \quad (31)$$

$$z_7 = (\alpha_7 * ((10 - 5)) + 5 \quad (32)$$

Rule 8 = IF (SUHU is PANAS) AND (KELEMBABAN is STABIL) THEN (POMPA is SIRAM\_SEDANG)

$$\alpha_{pred_8} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{PANAS}], \mu_B[\text{STABIL}]) \quad (33)$$

$$z_{8a} = (\alpha_8 * ((5 - 0)) + 0 \quad (34)$$

$$z_{8b} = 10 - (\alpha_8 * (10 - 5)) \quad (35)$$

Rule 9 = IF (SUHU is PANAS) AND (KELEMBABAN is BASAH) THEN (POMPA is TIDAK\_SIRAM)

$$\alpha_{pred_9} = \mu_{A \cup B} = \text{MIN}(\mu_A[\text{PANAS}], \mu_B[\text{BASAH}]) \quad (36)$$

$$z_9 = 5 - (\alpha_9 * (5 - 0)) \quad (37)$$

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai a-predikat dan z maka akan dilakukan proses *defuzzyifikasi* dengan menggunakan rata-rata terbobot pada *fuzzy* tsukamoto. Berikut merupakan rumus perhitungan *defuzzyifikasi* di bawah ini:

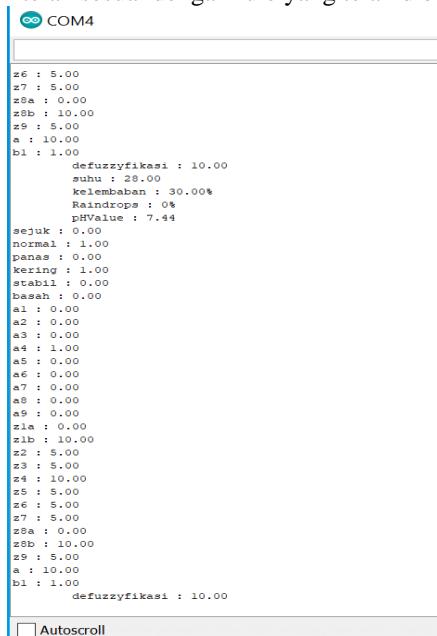
$$\begin{aligned} Z = & \alpha_{pred_1} * z_{1a} + \alpha_{pred_1} * z_{1b} + \alpha_{pred_2} * z_2 + \\ & \alpha_{pred_3} * z_3 + \alpha_{pred_4} * z_4 + \alpha_{pred_5} * z_5 + \\ & \alpha_{pred_6} * z_6 + \alpha_{pred_7} * z_7 + \alpha_{pred_8} * z_{8a} + \\ & \alpha_{pred_9} * z_{9a} + \alpha_{pred_9} * z_{9b} / \alpha_{pred_1} + \alpha_{pred_2} + \\ & \alpha_{pred_3} + \alpha_{pred_4} + \alpha_{pred_5} + \alpha_{pred_6} + \\ & \alpha_{pred_7} + \alpha_{pred_8} + \alpha_{pred_9} \end{aligned} \quad (38)$$

Setelah mengetahui proses tahapan rumus perhitungan *fuzzy Tsukamoto* yang dijabarkan, maka sebelum melakukan pengujian terhadap seluruh *rule* yang telah dibuat menggunakan sistem *fuzzy Tsukamoto* yang ditanamkan pada mikrokontroler wemos d1 r1 akan ditampilkan pengujian perhitungan dari nilai kedua input sensor yang dimasukkan ke dalam proses *fuzzyifikasi* untuk menentukan himpunan keanggotaan yang selanjutnya masuk ke dalam proses inferensi untuk mendapatkan nilai a-predikat dan z yang akan diproses ke dalam *defuzzyifikasi* menggunakan rata-rata untuk mendapatkan nilai *defuzzyifikasi* atau output dari *empat rule* saja tidak semuanya, berikut merupakan hasil pengujian perhitungan empat *rule* pada sistem *fuzzy Tsukamoto* yang ditampilkan dalam bentuk gambar di bawah ini:

```
COM4
suhu : 20.00
kelembaban : 65.00%
Raindrops : 0%
pHValue : 7.46
sejuk : 1.00
normal : 0.00
panas : 0.00
kering : 0.00
stabil : 1.00
basah : 0.00
a1 : 0.00
a2 : 1.00
a3 : 0.00
a4 : 0.00
a5 : 0.00
a6 : 0.00
a7 : 0.00
a8 : 0.00
a9 : 0.00
z1a : 0.00
z1b : 10.00
z2 : 0.00
z3 : 5.00
z4 : 5.00
z5 : 5.00
z6 : 5.00
z7 : 5.00
z8a : 0.00
z8b : 10.00
z9 : 5.00
a : 0.00
b1 : 1.00
defuzzyifikasi : 0.00
suhu : 20.00
 Autoscroll
```

Gambar 12. Hasil Perhitungan Pengujian *Rule 2* Pada Sistem Mikrokontroler

Pada gambar 12 di atas merupakan pengujian perhitungan *rule* 2 yang mana nilai input suhu adalah 20, merupakan himpunan keanggotaan suhu sejuk, dan nilai input kelembaban tanah adalah 65, merupakan himpunan keanggotaan kelembaban stabil. Defuzzyifikasi bernilai 0 akan menonaktifkan relay sehingga kondisi yang didapat adalah tidak siram. Hasil nilai defuzzyifikasi atau output dari sistem telah sesuai dengan *rule* yang telah dibuat.



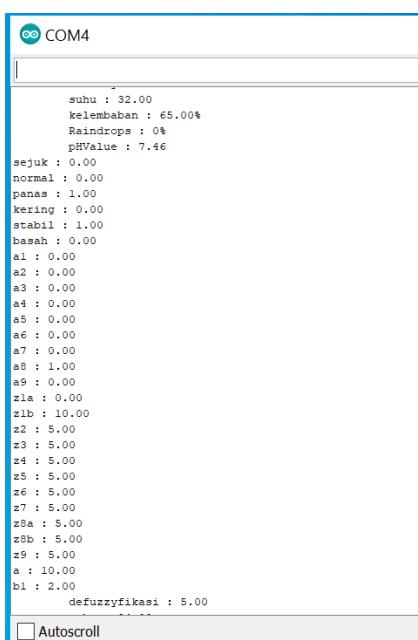
```

z6 : 5.00
z7 : 5.00
z8a : 0.00
z8b : 10.00
z9 : 5.00
a : 10.00
b1 : 1.00
    defuzzyifikasi : 10.00
    suhu : 28.00
    kelembaban : 30.00%
    Raindrops : 0%
    pHValue : 7.44
sejuk : 0.00
normal : 1.00
panas : 0.00
kering : 1.00
stabil : 0.00
basah : 0.00
a1 : 0.00
a2 : 0.00
a3 : 0.00
a4 : 1.00
a5 : 0.00
a6 : 0.00
a7 : 0.00
a8 : 0.00
a9 : 0.00
z1a : 0.00
z1b : 10.00
z2 : 5.00
z3 : 5.00
z4 : 10.00
z5 : 5.00
z6 : 5.00
z7 : 5.00
z8a : 0.00
z8b : 10.00
z9 : 5.00
a : 10.00
b1 : 1.00
    defuzzyifikasi : 10.00
  
```

Autoscroll

Gambar 13. Hasil Perhitungan Pengujian *Rule* 4 Pada Sistem Mikrokontroler

Pada gambar 13 di atas merupakan pengujian perhitungan *rule* 4 yang mana nilai input suhu adalah 28, merupakan himpunan keanggotaan suhu normal, dan nilai kelembaban tanah adalah 30, merupakan himpunan keanggotaan kelembaban tanah kering. Defuzzyifikasi bernilai 10 akan mengaktifkan relay sehingga kondisi yang di dapat adalah siram banyak. Hasil nilai defuzzyifikasi atau output dari sistem telah sesuai dengan *rule* yang telah dibuat.



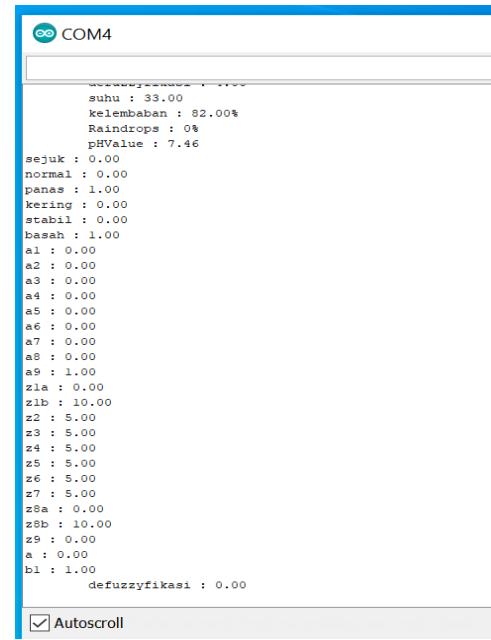
```

suhu : 32.00
kelembaban : 65.00%
Raindrops : 0%
pHValue : 7.46
sejuk : 0.00
normal : 0.00
panas : 1.00
kering : 0.00
stabil : 1.00
basah : 0.00
a1 : 0.00
a2 : 0.00
a3 : 0.00
a4 : 0.00
a5 : 0.00
a6 : 0.00
a7 : 0.00
a8 : 1.00
a9 : 0.00
z1a : 0.00
z1b : 10.00
z2 : 5.00
z3 : 5.00
z4 : 5.00
z5 : 5.00
z6 : 5.00
z7 : 5.00
z8a : 5.00
z8b : 5.00
z9 : 5.00
a : 10.00
b1 : 2.00
    defuzzyifikasi : 5.00
  
```

Autoscroll

Gambar 14. Hasil Perhitungan Pengujian *Rule* 8 Pada Sistem Mikrokontroler

Pada gambar 14 di atas merupakan pengujian perhitungan *rule* 8 yang mana nilai input suhu adalah 32, merupakan himpunan keanggotaan suhu panas, dan nilai kelembaban tanah adalah 65, merupakan himpunan keanggotaan kelembaban tanah stabil. Defuzzyifikasi bernilai 5 akan mengaktifkan relay sehingga kondisi yang di dapat adalah siram sedang. Hasil nilai defuzzyifikasi atau output dari sistem telah sesuai dengan *rule* yang telah dibuat.



```

suhu : 33.00
kelembaban : 82.00%
Raindrops : 0%
pHValue : 7.46
sejuk : 0.00
normal : 0.00
panas : 1.00
kering : 0.00
stabil : 0.00
basah : 1.00
a1 : 0.00
a2 : 0.00
a3 : 0.00
a4 : 0.00
a5 : 0.00
a6 : 0.00
a7 : 0.00
a8 : 0.00
a9 : 1.00
z1a : 0.00
z1b : 10.00
z2 : 5.00
z3 : 5.00
z4 : 5.00
z5 : 5.00
z6 : 5.00
z7 : 5.00
z8a : 0.00
z8b : 10.00
z9 : 0.00
a : 0.00
b1 : 1.00
    defuzzyifikasi : 0.00
  
```

Autoscroll

Gambar 15. Hasil Perhitungan Pengujian *Rule* 9 Pada Sistem Mikrokontroler

Pada gambar 15 di atas merupakan pengujian perhitungan *rule* 8 yang mana nilai input suhu adalah 33, merupakan himpunan keanggotaan suhu panas, dan nilai kelembaban tanah adalah 82, merupakan himpunan keanggotaan kelembaban tanah stabil. Defuzzyifikasi bernilai 0 akan mengaktifkan relay sehingga kondisi yang didapat adalah tidak siram. Hasil nilai defuzzyifikasi atau output dari sistem telah sesuai dengan *rule* yang telah dibuat

Setelah mengetahui hasil pengujian perhitungan empat dari sembilan *rule* yang dibuat. Maka telah didapatkan hasilnya dan sesuai dengan *rule* yang dibuat maka selanjutnya dilakukan pengujian terhadap seluruh *rule* yang telah dibuat, kemudian untuk hasil pengujiannya akan dimasukkan ke dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem *Fuzzy Tsukamoto* Pada Seluruh *Rule* yang Dibuat

No.	INPUT		OUTPUT		kategor i	Ketera ngan
	Suhu (°C)	RH Tanah (%)	Keinginan	Real (Defuz yifikasi)		
1.	24	0	5.00	5.00	Siram	Sesuai
2.	21	65	0.00	0.00	Tidak Siram	Sesuai
3.	24	80	0.00	0.00	Tidak Siram	Sesuai
4.	28	1	10.00	0.00	Siram banyak	Sesuai
5.	28	65	0.00	0.00	Tidak	Sesuai

6.	28	97	0.00	0.00	Siram Tidak Siram	Sesuai
7.	32	23	10.00	10.00	Siram Banyak	Sesuai
8.	34	65	5.00	5.00	Siram Sedang	Sesuai
9.	33	82	0.00	0.00	Tidak Siram	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian seluruh *rule* pada tabel 18 di atas akan dilakukan perhitungan akurasi pada sistem *fuzzy* Tsukamoto sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{jumlah data yang sesuai}}{\text{jumlah data yang diuji}} \times 100\% \quad (39)$$

$$= \frac{9}{9} \times 100\% \\ = 100\%$$

Berdasarkan hasil pengujian sistem di atas untuk mengetahui *rule* yang telah dibuat untuk proses penyiraman cerdas berbasis *fuzzy* berbasis *fuzzy* tsukamoto pada tanaman tomat berdasarkan suhu dan kelembaban tanah sesuai dengan karakteristik tanaman menghasilkan output dengan tingkat akurasi 100% yang baik diterapkan terhadap tanaman tomat.

### C. Hasil Pengujian Blynk

Pengujian tampilan blynk dilakukan cara mengecek keterhubungan aplikasi blynk sudahkah tertaut dengan jaringan nama koneksi internet (*connected*), selanjutnya dengan melihat beberapa parameter sensor suhu DHT11 dan sensor Analog PH Meter di aplikasi blynk yang dapat dipantau dari jarak jauh dan dimonitor kapan pun sesuai yang kita mau, serta dapat memberikan notifikasi ke *handphone* setiap waktu yang di setting sesuai dengan program yang dibuat maka dapat dikatakan bahwa pemantauan secara *IoT* dengan aplikasi blynk berfungsi dengan baik. Tampilan aplikasi blynk saat *online* atau terhubung dengan internet dan juga mikrokontroler tidak terdapat peringatan dapat dilihat pada gambar 16, sedangkan untuk tampilan aplikasi blynk saat *offline* atau tidak terkoneksi dengan internet dan mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 16. Tampilan Aplikasi Blynk Saat *Online*



Gambar 17. Tampilan Aplikasi Blynk Saat *Online*

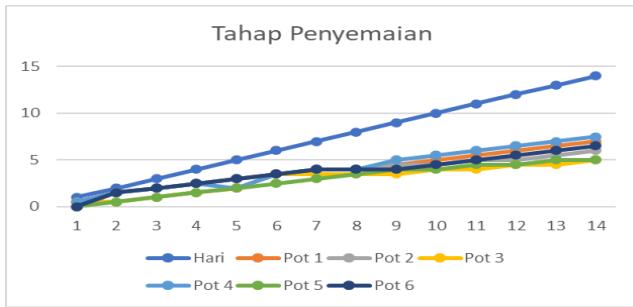
### D. Hasil Implementasi Pada Tanaman Tomat

Hasil dari implementasi *IoT* cerdas berbasis *inference fuzzy* tsukamoto dalam pemantauan kadar ph air dan suhu pada tanaman tomat maka ditentukan pengukuran tinggi tanaman tomat yang dilakukan setiap hari dari benih sampai dengan berbuah untuk melihat bagaimana sistem yang telah dibuat ini dapat diterapkan dengan baik pada tanaman tomat atau tidak. memiliki beberapa tahapan diantaranya tahap penyemaian, tahap pertumbuhan vegetatif, tahap pembungaan, dan tahap generatif. Dalam penelitian ini terdapat 6 pot tanaman yang diujicobakan menggunakan penyiraman otomatis *fuzzy tsukamoto*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan untuk mengambil data tinggi tanaman tomat dari mulai benih sampai berbuah.

Pada tahap penyemaian dari benih dibutuhkan waktu selama dua minggu. Pada tahap penyemaian ini tanaman hanya dilakukan penyiraman otomatis menggunakan sistem *fuzzy tsukamoto* yang telah dibuat selama dua minggu dan tidak diberikan pupuk apapun. Selanjutnya dilakukan pemisahan tanaman setelah tanaman berumur dua minggu yang awalnya terdapat dua sampai tiga tanaman di dalam pot dipindahkan ke polybag, sehingga hanya terdapat satu tanaman di dalam setiap pot nya di dalam *greenhouse*. Berikut merupakan gambar tanaman tomat dan gambar grafik hasil pengukuran tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap penyemaian selama dua minggu di bawah ini:



Gambar 18. Tanaman Tomat Tahap Penyemaian



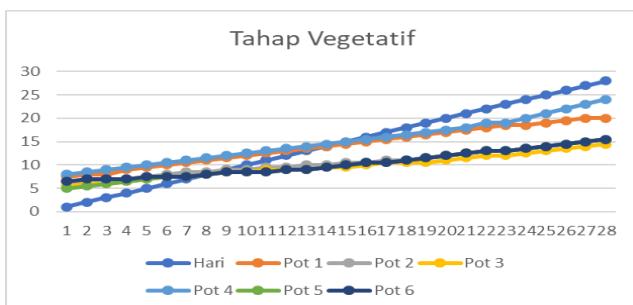
Gambar 19. Grafik Tinggi Pertumbuhan Tanaman Tomat Tahap Penyemaian

Berdasarkan gambar 19 grafik tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap penyemaian tanaman tomat yang dilakukan pengukuran setiap hari selama 1-4 minggu di dalam *greenhouse*. Pertumbuhan tomat mengalami kenaikan secara signifikan pada setiap harinya. Ukuran tertinggi tanaman tomat pada tahap vegetatif yaitu setinggi 7,5 CM pada Pot 4, sedangkan untuk Pot 1 setinggi 7 CM, Pot 2 setinggi 6 CM, Pot 3 dan Pot 5 setinggi 5 CM, serta Pot 6 setinggi 6,5 CM yang mengikuti tinggi di bawahnya Pot 4.

Setelah melalui proses penyemaian maka, akan memasuki proses pertumbuhan vegetatif. Dalam proses vegetatif pertumbuhan tanaman tomat sangat cepat tinggi karena sudah diberikan pupuk phonska plus NPK 15 dengan karate plus boroni, tahap vegetatif dibutuhkan waktu selama 1 - 4 minggu setelah tahap penyemaian. Berikut merupakan gambar grafik hasil pengukuran tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap vegetatif selama 1-4 minggu di bawah ini:



Gambar 20. Tanaman Tomat Tahap Vegetatif



Gambar 21. Grafik Tinggi Pertumbuhan Tanaman Tomat Tahap Vegetatif

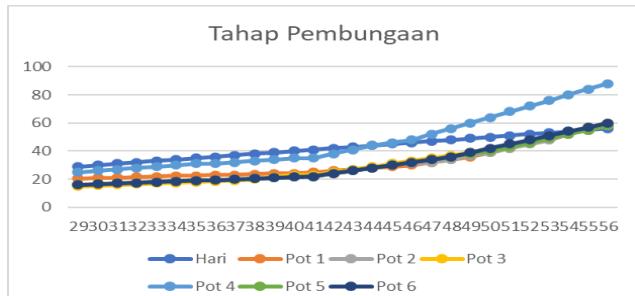
Berdasarkan gambar 21 grafik tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap vegetatif tanaman tomat yang

dilakukan pengukuran setiap hari selama 1-4 minggu setelah tahap penyemaian di dalam *greenhouse*. Pertumbuhan tanaman tomat mengalami kenaikan secara signifikan pada setiap harinya. Ukuran tertinggi tanaman tomat pada tahap vegetatif yaitu setinggi 24 cm yang terdapat pada Pot 4, sedangkan Pot 1 setinggi 20 CM, Pot 2, Pot 5, dan Pot 6 setinggi 15,5 CM, dan Pot 3 setinggi 14,5 CM yang mengikuti tinggi di bawahnya Pot 4.

Selanjutnya setelah tahap vegetatif tanaman tomat akan muncul kuncup di beberapa batang tanaman tomat yang menandakan masuk dalam tahap pembungan. Pada tahap pembungan ini dilakukan perawatan penyemprotan daun tanaman menggunakan pupuk MKP dan Meroke Mag-s sedangkan pemupukan bawah menggunakan mutiara NPK 16 dan boroni karate plus. Pada tahap pembungan ini membutuhkan waktu 5-8 minggu setelah tahap penyemaian. Berikut merupakan gambar grafik hasil pengukuran tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap pembungan selama 5-8 minggu di bawah ini:



Gambar 22. Tanaman Tomat Tahap Pembungan



Gambar 23. Grafik Tinggi Pertumbuhan Tanaman Tomat Tahap Pembungan

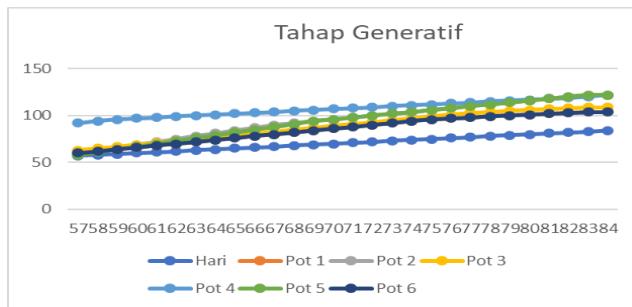
Berdasarkan gambar 23 grafik tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap pembungan tanaman tomat yang dilakukan pengukuran setiap hari selama 5-8 minggu setelah tahap penyemaian di dalam *greenhouse*. Pertumbuhan tanaman tomat mengalami kenaikan secara signifikan pada setiap harinya. Ukuran tertinggi tanaman tomat pada tahap pembungan yaitu setinggi 88 cm pada Pot 4, sedangkan Pot 1, Pot 2, dan Pot 5 setinggi 58 CM, dan Pot 3 dan Pot 6 setinggi 60 CM yang mengikuti tinggi di bawahnya Pot 4.

Setelah melalui tahap pembungan maka akan muncul buah yang berarti sudah masuk tahap generatif. Pada tahap ini untuk perawatan tomat pada penyemprotan

menggunakan MKP dan meroke Mag-s sedangkan untuk pemupukan menggunakan NPK merah putih dan boroni karate plus. Pada tahap ini dibutuhkan waktu sekitar 9-18 minggu untuk membesarkan dan mematangkan buah, akan tetapi pada penelitian ini hanya sampai minggu ke 12 saja pada saat tanaman berbuah tidak sampai ke tahap pemanenan buah tomat. Berikut merupakan gambar grafik hasil pengukuran tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap generatif selama 9-12 minggu di bawah ini:



Gambar 24. Tanaman Tomat Tahap Pembuayaan



Gambar 25. Grafik Tinggi Pertumbuhan Tanaman Tomat Tahap Generatif

Berdasarkan gambar 25 grafik tinggi pertumbuhan tanaman tomat pada tahap generatif tanaman tomat yang dilakukan pengukuran setiap hari selama 9-12 minggu setelah tahap penyemaian di dalam *greenhouse*. Tanaman tomat pada masa pertumbuhan generatif selama 12 minggu pada *greenhouse* menunjukkan kenaikan secara signifikan pada setiap harinya. Ukuran tertinggi tanaman tomat yaitu 122 cm pada Pot 2, Pot 4, dan Pot 5 sedangkan Pot 1 dan Pot 6 setinggi 104 CM dan Pot 3 setinggi 109 CM yang mengikuti tinggi di bawahnya Pot 2, Pot 4, dan Pot 5.

Berdasarkan hasil pertumbuhan tanaman tomat dari mulai benih sampai tanaman berbuah dengan melewati beberapa tahap, maka implementasi sistem penyiraman yang dibuat menggunakan *fuzzy tsukamoto* berhasil diterapkan pada tanaman tomat untuk menjaga kecukupan konsumsi air tanaman tomat 60%-80% kelembaban tanah.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian sensor suhu DHT11 mendapatkan nilai suhu tertinggi pada pukul 13.00 dengan nilai 37°C dan sensor PH meter mendapatkan nilai kenaikan PH air tertinggi pukul 17.00 dengan nilai 6,94 PH perubahan pembacaan nilai yang terjadi setiap jamnya. Dari hasil pengujian seluruh *rule fuzzy Tsukamoto* yang telah dibuat mendapatkan tingkat akurasi keberhasilan sebesar 100%. Dari hasil pengujian monitoring selama 3 bulan 14 hari pada blynk untuk menampilkan beberapa parameter sensor yang ditampilkan diantaranya sensor suhu dan sensor PH air. Serta dapat menampilkan nilai output *fuzzy Tsukamoto* yang artinya proses monitoring berjalan dengan baik. Dari hasil implementasi sistem penyiraman cerdas berbasis *inference fuzzy Tsukamoto* pada tanaman tomat dari mulai benih sampai dengan berbuah berhasil diterapkan dan tanaman tomat dalam *greenhouse* pada saat berbuah memiliki tinggi 122CM.

## REFERENSI

- [1] Amuddin, & Sumarsono, J. (2015). Rancang Bangun Alat Penyiraman Tanaman Dengan Pompa Otomatis Sistem Irigasi Tetes Pada Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 3(1), 95-101.
- [2] Dellas, D. N., Purnamasari, I., & Rizki, N. A. (2020). *Fuzzy Inference System* Menggunakan Metode Tsukamoto Untuk Pengambilan Keputusan Produksi (Studi Kasus: PT Waru Kaltim Platinum). *Metik*, 4(2), 76-82.
- [3] Farmadi, A. N. (2017). Sistem *Fuzzy Logic* Tertanam Pada Mikrokontroler Untuk Penyiraman Tanaman Pada Rumah Kaca. *Kumpulan jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, 4(2), 223-232.
- [4] Gunawan, R. A. (2019). Sistem Monitoring Kelembaban Tanah, Suhu, pH, dan Penyiraman. *Telekontran*, 7(1), 77-78.
- [5] Kementerian Pertanian. (2020). *Statistik Lahan Pertanian Tahun 2015-2019*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian.
- [6] Kusumadewi, D. G. (2005). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making*. *Media Informatika*, 3(1), 25-38.
- [7] Maryaningsih, S. M. (2013). Metode Logika Fuzzy Tsukamoto Dalam Sistem Pengambilan Keputusan Penerimaan Beasiswa. *Jurnal Media Infotama*, 9(1), 140-165 .
- [8] Nasution, H. (2012). Implementasi Logika Fuzzy Pada Sistem Kecerdasan Buatan. *Jurnal Elkha*, 4(2), 4-8.
- [9] Novitasari, V. A. (2019). Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Dari Benih. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(2), 219-225.
- [10] Nugroho, R. P., Setiawan, B. D., & Furqon, M. T. (2019). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Menentukan Harga Sewa Hotel (Studi Kasus: Gili Amor Boutique Resort, Dusun Gili Trawangan, Nusa Tenggara Barat). *Pengembangan Teknologi Informatika dan Ilmu Komputer*, 3(3), 2581-2588.
- [11] Wardani, A. R. (2017). Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Mengoptimalkan Produksi Minyak Kelapa Sawit Di PT. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani. *Jurnal Informatika Mulawarman*, 12(2), 94-103 .
- [12] Yusida, M. K. (2017). Implementasi Fuzzy Tsukamoto Dalam Penentuan Kesesuaian Lahan Untuk Tanaman Karet Dan Kelapa Sawit. *Kumpulan jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, 4(2), 233-246 .