

**SISTEM MONITORING DAN OTOMASI PENYIRAMAN, PENGATUR
PH, DAN PENGATUR SUHU BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA
GREENHOUSE MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

**Oleh:
MIFTACH NOORVICKIA MU'AFFAQ
NIM. 17650096**



**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**SISTEM MONITORING DAN OTOMASI PENYIRAMAN, PENGATUR
PH, DAN PENGATUR SUHU BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA
GREENHOUSE MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)**

**Oleh:
Miftach Noorvickia Mu'affaq
NIM. 17650096**

**JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

LEMBAR PERSETUJUAN

**SISTEM MONITORING DAN OTOMASI PENYIRAMAN, PENGATUR
PH, DAN PENGATUR SUHU BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA
GREENHOUSE MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

Oleh:

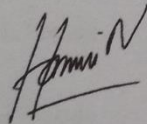
MIFTACH NOORVICKIA MU'AFFAQ

NIM. 17650096

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:

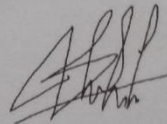
Tanggal : 15 Desember 2021

Dosen Pembimbing I



Hani Nurhayati, M.T
NIP.19780625 200801 2 006

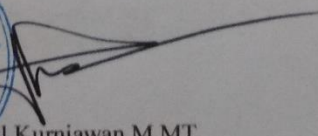
Dosen Pembimbing II



Fajar Rohman Hariri, M.Kom
NIP.19890515 201801 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Fachrul Kurniawan M.MT
NIP.19771020 200912 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

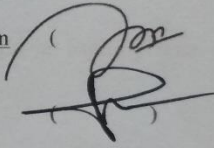
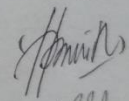
**SISTEM MONITORING DAN OTOMASI PENYIRAMAN, PENGATUR
PH, DAN PENGATUR SUHU BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA
GREENHOUSE MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY**

SKRIPSI

Oleh:
MIFTACH NOORVICKIA MU'AFFAQ
NIM. 17650096

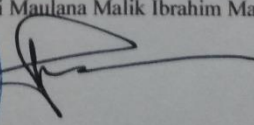
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Pada Tanggal: 15 Desember 2021

Susunan Dewan Penguji

- | | | | |
|-----------------------|---|--|---|
| 1. Penguji Utama | : | <u>Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom</u>
NIDT.19831213 201903 1 004 | () |
| 2. Ketua Penguji | : | <u>Dr. Fachrul Kurniawan M.MT</u>
NIP. 19771020 200912 1 001 | () |
| 3. Sekertaris Penguji | : | <u>Hani Nurhayati, M.T</u>
NIP.19780625 200801 2 006 | () |
| 4. Anggota Penguji | : | <u>Fajar Rohman Hariri, M.Kom</u>
NIP.19890515 201801 1 001 | () |

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Fachrul Kurniawan M.MT
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miftach Noorvickia Mu'affaq

NIM : 17650096

Jurusan : Teknik Informatika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar- benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 15 Desember 2021

Yang membuat pernyataan



Miftach Noorvickia Mu'affaq
NIM. 17650096

HALAMAN MOTTO

“Cukup Kematian Sebagai Pengingat”

HALAMAN PERSEMBAHAN

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Puji syukur kehadiran Allah SWT, shalawat dan salam bagi Rasul Muhammad SAW.

Penulis persembahkan sebuah karya ini kepada:

Kedua orang tua penulis, Abah Yunan Syururi dan Umi Susio Fuji Masyanti yang sangat penulis cintai, seseorang yang selalu ada, selalu memberikan dukungan dan doa tiada henti untuk keberhasilan penulis.

Dosen Pembimbing penulis yakni Hani Nurhayati, M.T dan Fajar Rohman Hariri, M.Kom, yang telah bersedia membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan juga selalu memberikan support untuk tetap semangat dalam menjalani semua rangkaian tugas akhir penulis.

Seluruh dosen Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang khususnya Dosen Wali penulis yakni Fresy Nugroho, M.T, dan Dosen pembimbing lomba penulsi yakni Dr. M.Faisal, M.T yang telah membimbing dan memberikan ilmunya yang sangat bermanfaat selama penulis menempuh pendidikan di jurusan Teknik Informatika.

Keluarga besar *unocore* (Teknik Informatika Angkatan 2017), Teman-teman organisasi khususnya ONTAKI UIN Malang yang telah memberikan support dan menjadi wadah untuk belajar bersama.

Orang yang berarti bagi penulis, khususnya Septian Yustina Yasin yang selalu memberikan semangat, do'a. segala bantuan serta mensupport penulisan tugas akhir ini sampai pada titik ini.

Penulis ucapkan terimakasih yang luar biasa. Semoga silaturahmi kita tetap terjaga, segala urusan kita dilancarkan dan selalu dalam ridho Allah SWT. Aamiin Ya Mujibassailin

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, pertolongan dan nikmat kepada kita semua, sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu, adapun judul dari tugas akhir atau skripsi yang diajukan oleh penulis adalah “Sistem Monitoring dan Otomasi Penyiraman, Pengatur pH, dan Pengatur Suhu Berbasis *Internet of Things* pada *Greenhouse* Menggunakan Logika *Fuzzy*”. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu persyaratan menempuh ujian sarjana komputer pada jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pada pengerjaan tugas akhir ini membutuhkan usaha yang kuat, dan juga telah melibatkan banyak pihak yang membantu dalam berbagai hal. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebanyak-banyaknya dan sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT, karena dengan ridho dan restu Nya proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan
2. Prof. Dr. M. Zainuddin, MA selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Kedua Orang tua, Abah Yunan Syururi dan Umi Susio Fuji Masyanti yang siang dan malam tiada terputus doanya untuk kelancaran pengerjaan tugas akhir atau skripsi ini.

5. Dr. Fachrul Kurniawan M.MT, Selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Hani Nurhayati, M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai.
7. Fajar Rohman Hariri, M.Kom, selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai.
8. Fresy Nugroho, M.T, dan Dr. M.Faisal, M.T selaku Dosen wali dan Dosen pembimbing lomba penulis yang senantiasa memberikan arahan dan support untuk penulis.
9. Keluarga, orang yang penulis sayangi, teman-teman seperjuangan Unocore, Rangers ONTAKI (Otomasi dan Robotika UIN Malang), serta sahabat-sahabat penulis, khususnya septian yustina yasin yang telah memberikan dukungan, membantu dan saling mendoakan.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan semuanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi.

Malang, 15 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
الملخص.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
BAB II STUDI PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Terkait	9
2.2 Landasan Teori	15
2.2.1 Kebutuhan Air pada Tanaman Tomat.....	15
2.2.3 Kebutuhan pH pada Tanaman Tomat	18
2.2.4 <i>Greenhouse</i>	18
2.2.6 Internet Of Thing berbasis <i>Artificial intelligence</i>	22
2.2.7 Metode Logika <i>Fuzzy</i>	23
2.3 Kerangka Teori.....	33
BAB III KONSEP RANCANGAN	35
3.1 Desain Penelitian	35
3.1.1 Analisis Masalah.....	36
3.1.2 Studi Literature	37
3.1.3 Pengumpulan Data.....	37
3.2 Desain Alur Sistem.....	38
3.2.2 Desain Sistem Pengaturan pH.....	39
3.2.3 Desain Sistem Pengaturan Suhu	39
3.2.4 Desain Transmisi Data ke Internet.....	40
3.3 Kebutuhan Sistem.....	41
3.3.1 NodeMCU.....	41
3.3.2 <i>Soil Moisture Sensor</i>	41

3.3.3 <i>BME 280 Sensor</i>	42
3.3.5 <i>Desain Interface</i>	43
3.4 Penerapan Metode	43
3.4.1 Fuzzifikasi.....	44
3.4.2 Inferensi	56
3.4.3 Defuzzifikasi	64
3.5 Rencana Pengujian Sistem	66
3.6 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	68
3.6.1 Penanaman Tanaman Tomat.....	69
3.6.2 Perawatan Tanaman.....	69
3.6.3 Pengamatan dan Pengambilan Data.....	69
BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....	70
4.1 Hasil Pengujian.....	70
4.1.1 Pengujian Sistem Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	70
4.1.2 Data Tanaman	91
4.2 Pembahasan	92
4.2.1 Perhitungan Pada Logika <i>Fuzzy</i>	92
4.2.2 <i>Source Code</i> Mikrokontroler	97
4.2.3 Sistem Hardware	106
4.2.4 Sistem Interface	115
4.2.5 Integrasi Islam.....	119
BAB V PENUTUP.....	123
5.1 Kesimpulan.....	123
5.2 Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Irigasi Tetes	21
Gambar 2. 2 Linier Garis Naik.....	25
Gambar 2. 3 Linier Garis Turun.....	26
Gambar 2. 4 Representasi Bentuk Kurva Segitiga.....	26
Gambar 2. 5 representasi kurva trapezium.....	27
Gambar 2. 6 Kurva Bentuk Bahu.....	28
Gambar 2. 7 Kurva S.....	29
Gambar 2. 8 Proses Inferensi Fuzzy	30
Gambar 2. 9 Kerangka Teori.....	34
Gambar 2. 10 Luas Daerah dan Momentum	95
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	36
Gambar 3. 2 Desain Sistem Penyiraman dengan Menggunakan Logika <i>Fuzzy</i>	38
Gambar 3. 3 Desain Sistem Pengaturan pH Menggunakan Logika Fuzzy	39
Gambar 3. 4 Desain Sistem Pengaturan Suhu dengan Logika Fuzzy	39
Gambar 3. 5 Desain Transmisi Data ke Internet	40
Gambar 3. 6 Desain <i>Interface</i> Tampilan data di <i>website</i>	43
Gambar 3. 7 Alur <i>fuzzy</i>	44
Gambar 3. 8 <i>Membership function</i> suhu udara	45
Gambar 3. 9 <i>Membership function</i> kelembaban tanah.....	47
Gambar 3. 10 <i>Membership function</i> waktu	49
Gambar 3. 11 <i>Membership function</i> suhu	50
Gambar 3. 12 <i>Membership function</i> kelembaban udara.....	52
Gambar 3. 13 <i>Membership function</i> kipas	53
Gambar 3. 14 <i>Membership function</i> pH.....	54
Gambar 3. 15 <i>Membership function</i> Δ pH	55
Gambar 3. 16 <i>Output</i> Pengaturan pH.....	56
Gambar 3. 17 Rumus Centroid	66
Gambar 4. 1 Tinggi tanaman dalam greenhouse.....	91
Gambar 4. 2 Jumlah tangkai tanaman tomat dalam greenhouse	91
Gambar 4. 3 Tinggi tanaman luar greenhouse	92
Gambar 4. 4 Jumlah tangkai tanaman tomat luar greenhouse	92
Gambar 4. 5 Rangkaian sistem tampak atas	106
Gambar 4. 6 Rangkain sistem tampak samping.....	107
Gambar 4. 7 Rangkain sistem pada <i>greenhouse</i>	107
Gambar 4. 8 Rangkaian NodeMCU.....	108
Gambar 4. 9 Pemasangan sensor kelembaban tanah pada <i>greenhouse</i>	109
Gambar 4. 10 Sensor BME280	110
Gambar 4. 11 Sensor pH	110
Gambar 4. 12 Output pengaturan penyiraman	111

Gambar 4. 13 Ouput pengaturan suhu berupa kipas	112
Gambar 4. 14 cairan pH up pH down sebelum diaplikasikan.....	113
Gambar 4. 15 Ouput Pengaturan pH	113
Gambar 4. 16 Tampilan <i>Greenhouse</i>	114
Gambar 4. 17 <i>Greenhouse</i> tampak samping	115
Gambar 4. 18 Halaman <i>Dashboard Smart Greenhouse</i>	116
Gambar 4. 19 Halaman Penyiraman	117
Gambar 4. 20 Halaman Pengatur suhu.....	118
Gambar 4. 21 Halaman Pengatur pH	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Suhu Pertumbuhan Tanaman Tomat	18
Tabel 3. 1 Informasi nilai pada fungsi keanggotaan suhu.....	45
Tabel 3. 2 Informasi nilai pada fungsi keanggotaan kelembaban tanah	48
Tabel 3. 3 Rule Base	57
Tabel 3. 4 Rancangan pengujian Logika <i>Fuzzy</i> pada Penyiraman.....	67
Tabel 3. 5 Rancangan pengujian Logika <i>Fuzzy</i> pada Suhu.....	67
Tabel 3. 6 Rancangan pengujian Logika <i>Fuzzy</i> pada pH	67
Tabel 3. 7 <i>Confussion matrix</i>	68
Tabel 4. 1 Pengujian Sistem menggunakan <i>Fuzzy</i> pada penyiraman.....	71
Tabel 4. 2 <i>Confussion matrix</i> Fitur Penyiraman	77
Tabel 4. 3 Pengujian Sistem menggunakan <i>Fuzzy</i> pada pengaturan suhu	78
Tabel 4. 4 <i>Confussion matrix</i> Fitur Suhu	83
Tabel 4. 5 Pengujian Sistem menggunakan <i>Fuzzy</i> pada pengaturan pH.....	84
Tabel 4. 6 tabel <i>confussion matrix</i> pada fitur pH	90

ABSTRAK

Mu'affaq, Miftach Noorvickia. 2021. **Sistem Monitoring Dan Otomasi Penyiraman, Pengatur pH, Dan Pengatur Suhu Berbasis *Internet of Things* Pada *Greenhouse* Menggunakan Logika Fuzzy**. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Hani Nurhayati, M.T. (II) Fajar Rohman Hariri, M.Kom.

Kata Kunci: *Internet of Thing*, Logika Fuzzy, Sistem Monitoring, *Greenhouse*

Penggunaan *greenhouse* merupakan cara yang dilakukan untuk menciptakan lingkungan budidaya tanaman yang mendekati kondisi lingkungan yang optimum, yang dapat berdampak baik pada tananam. Namun penggunaan *greenhouse* secara manual belum memanfaatkan fungsi *greenhouse* secara optimal. Kesalahan yang sering terjadi seperti ketidakakuratan data saat melakukan pemantauan terhadap masa tanam, penyiraman yang ideal, pengukuran pada pH tanah pada media tanam, dan pengukuran terhadap kelembaban tanah masih banyak ditemui pada pemanfaatan *greenhouse* secara manual. Dengan adanya Sistem Monitoring dan Otomasi Penyiraman, Pengatur pH, dan Pengatur Suhu Berbasis *Internet of Things* akan mempermudah kinerja petani agar lebih efisien serta fungsi *greenhouse* lebih optimal.

Penelitian ini fokus pada tiga fitur yakni penyiraman, pengatur suhu, dan pengatur pH. Dengan menggunakan mikrokontroler nodemcu dan arduino, serta sensor BME280, *Soil moisture sensor*, dan juga sensor pH. Penelitian ini menggunakan metode logika fuzzy mamdani dengan inputan pada fitur penyiraman adalah suhu udara dan kelembaban tanah yang menghasilkan output delay penyiraman, pada fitur suhu inputannya adalah suhu udara dan kelembaban udara yang outputnya berupa akuator kipas, serta pada fitur pengatur pH memiliki inputan pH dan selisih pH dengan output pengatur pH.

Hasil dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat akurasi dari sistem yang telah dibuat, pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan logika fuzzy pada mikrokontroler dengan hasil perhitungan pada matlab. Kemudian didapatkan tabel *confussion matrix* yang kemudian dilakukan perhitungan akurasi pada masing-masing fitur. Adapun akurasi pada fitur penyiraman sebesar 97,6%, fitur pengaturan suhu sebesar 100%, dan pada fitur pengatur pH sebesar 98,8%, selain itu dari pengujian tersebut juga dapat diketahui rata-rata error pada fitur per sistem. Rata-rata error pada fitur penyiraman sebesar 6,96%, fitur pengaturan suhu sebesar 1,93%, dan pada fitur pengatur pH sebesar 2,66%.

ABSTRACT

Mu'affaq, Miftach Noorvickia. 2021. Monitoring and Automation System for Watering, pH Regulating, and Temperature Control Based on *Internet of Things* in *Greenhouse* Using *Fuzzy* Logic. Thesis. Department of Informatics Engineering Faculty of Science and Technology Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Hani Nurhayati, M.T. (II) Fajar Rohman Hariri, M. Kom.

Keywords: Internet of Thing, *Fuzzy* Logic, Monitoring System, *Greenhouse*

The use of a *greenhouse* is a way to create a plant cultivation environment close to optimum environmental conditions, which can have a good impact on crops. However, manual use of *greenhouses* has not utilized the *greenhouse* function optimally. Errors often occur, such as data inaccuracies when monitoring the planting period, ideal watering, measuring soil pH in planting media, and measuring soil moisture are still commonly encountered in manual *greenhouse* use. With the existence of a Watering Monitoring and Automation System, a pH Regulator, and an Internet of Things-Based Temperature Regulator, it will make it easier for farmers to perform more efficiently and make the *greenhouse* function more optimal.

This research focuses on three features, namely watering, temperature control, and pH regulator by using nodemcu and Arduino microcontrollers, as well as a BME280 sensor, Soil moisture sensor, and also a pH sensor. This study uses the Mamdani *fuzzy* logic method with input on the watering feature is the air temperature and soil moisture which produces a watering delay output, the input temperature feature is the air temperature and air humidity whose output is a fan actuator, and the pH regulator feature has pH input and difference. pH with pH regulator output.

The results of this study are to determine the level of accuracy of the system that has been made; the test is carried out by comparing the effects of *fuzzy* logic calculations on the microcontroller with the results of analyses on Matlab. Then the confusion matrix table is obtained, which is then calculated for the accuracy of each feature. The accuracy of the watering quality is 97.6%, the temperature setting feature is 100%, and the pH control feature is 98.8%; apart from that, the average error in the parts per system can also be seen from this test. The average error in the watering feature is 6.96%, the temperature setting feature is 1.93%, and the pH control feature is 2.66%.

الملخص

موفق ، مفتاح نورفيكيا. 2021. نظام المراقبة والأتمتة للري ، وتنظيم درجة الحموضة ، والتحكم في درجة الحرارة على أساس إنترنت الأشياء في الدفيئة باستخدام المنطق الضبابي. مقال. قسم هندسة المعلوماتية بكلية العلوم والتكنولوجيا مولانا مالك إبراهيم الدولة الإسلامية جامعة مالانج. المشرف (I): هاني نورحياتي ، مت ، (II) .
فجر رحمان حريري ، م. كوم.

الكلمات المفتاحية: إنترنت الأشياء ، المنطق الضبابي ، نظام المراقبة ، البيت الزجاجي

يعد استخدام الدفيئة طريقة لإنشاء بيئة زراعة نباتية قريبة من الظروف البيئية المثلى ، والتي يمكن أن يكون لها تأثير جيد على المحاصيل. ومع ذلك ، فإن الاستخدام اليدوي للبيوت البلاستيكية لم يستغل وظيفة الدفيئة على النحو الأمثل. لا تزال الأخطاء التي تحدث غالبًا مثل عدم دقة البيانات عند مراقبة فترة الزراعة والري المثالي وقياس درجة الحموضة في التربة في وسط الزراعة وقياس رطوبة التربة شائعة في الاستخدام اليدوي للبيت الزجاجي. مع وجود نظام مراقبة الري والأتمتة ، ومنظم الأس الهيدروجيني ، ومنظم درجة الحرارة المستند إلى إنترنت الأشياء ، سيسهل على المزارعين أداء وظائف الدفيئة بكفاءة أكبر وتحسينها.

يركز هذا البحث على ثلاث ميزات ، وهي الري والتحكم في درجة الحرارة ومنظم الأس الهيدروجيني. باستخدام متحكمات nodemcu و arduino ، بالإضافة إلى مستشعر BME280 ومستشعر رطوبة التربة ومستشعر الأس الهيدروجيني. تستخدم هذه الدراسة طريقة Mamdani المنطقية الضبابية مع المدخلات على خاصية الري وهي درجة حرارة الهواء ورطوبة التربة مما ينتج عنه تأخير الري ، وميزة درجة حرارة الإدخال هي درجة حرارة الهواء ورطوبة الهواء التي يكون ناتجها عبارة عن مروحة مروحة ، وميزة منظم الأس الهيدروجيني لها فرق ومدخلات الأس الهيدروجيني الأس الهيدروجيني مع خرج منظم الأس الهيدروجيني.

كانت نتائج هذه الدراسة لتحديد مستوى دقة النظام الذي تم إجراؤه ، ويتم الاختبار من خلال مقارنة نتائج حسابات المنطق الضبابي على المتحكم الدقيق مع نتائج الحسابات على matlab. ثم يتم الحصول على جدول مصفوفة الارتباك والذي يتم حسابه بعد ذلك من أجل دقة كل ميزة. تبلغ دقة ميزة الري 97.6٪ ، وخاصية ضبط درجة الحرارة 100٪ ، وخاصية التحكم في الأس الهيدروجيني 98.8٪ ، بصرف النظر عن ذلك ، يمكن أيضًا رؤية متوسط الخطأ في الميزات لكل نظام من هذا الاختبار. متوسط الخطأ في الري هو 6.96٪ ، وخاصية ضبط درجة الحرارة 1.93٪ ، وخاصية التحكم في الأس الهيدروجيني 2.66٪.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini, teknologi di Indonesia mengalami kemajuan yang pesat dari berbagai macam aspek. Dengan berkembangnya teknologi yang dalam hal ini adalah teknologi informasi, masyarakat dapat memperoleh informasi yang terbaru dengan sangat mudah, tentu hal tersebut sangat berperan penting dalam kehidupan masyarakat. Selain pada bidang informasi, perkembangan teknologi masih terus dilakukan dengan inovasi-inovasi baru pada berbagai bidang seperti pertanian, kesehatan, pemerintahan dan lain sebagainya.

Indonesia merupakan negara agraris yang mana sangat lekat dengan sektor pertanian, daya saing komoditas sektor pertanian di Indonesia berada pada posisi yang cukup tinggi di kancah internasional. Hal tersebut menjadikan pertanian sebagai sumber mata pencaharian serta meningkatkan perekonomian negara (Kusumaningrum, 2019). Masing-masing daerah di Indonesia memiliki ciri khas hasil pertaniannya, salah satu fokus pembahasan pada kali ini adalah hasil pertanian pada wilayah malang dan batu propinsi jawa timur merupakan daerah penghasil produk holtikultura sebagai unggulannya (Fadlina et al., 2013). Jenis produk holtikultura yang banyak dihasilkan oleh daerah tersebut yaitu olerikultura atau tanaman sayur, salah satunya adalah tomat. Adapun kontribusi produksi tomat di Malang merupakan yang terbesar di Jawa Timur dengan produksi sebesar 313.618 ton pada tahun 2018. Untuk mempertahankan dan meningkatkan produktivitas tersebut dibutuhkan suatu lingkungan yang optimum agar

dapat memproduksi tanpa bergantung pada musim maupun cuaca, adapun solusi yang tepat untuk hal tersebut adalah penggunaan *greenhouse* dalam proses pembudidayaannya (Tando, 2019).

Penggunaan *greenhouse* di Indonesia cukup banyak digemari karena keunggulan yang dimilikinya. Untuk tanaman tomat agar dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan *greenhouse* maka harus diperhatikan kontrol dari suhu yang dibutuhkan, pengairan yang cukup dalam artian tidak berlebihan dan tidak kekurangan, serta kelembaban yang sesuai (Caesar Pats Yahwe, Isnawaty, 2016). Salah satu hal lain yang penting untuk di perhatikan dalam penggunaan *greenhouse* yang digunakan untuk budidaya tomat adalah kadar nutrisi yang diberikan pada tanaman tomat. Namun monitoring serta tindakan yang diperlukan pada tanaman masih dilakukan secara manual oleh para petani *greenhouse* yang memungkinkan terjadi error saat pemantauan oleh para petani, hal tersebut tentu menjadi salah satu sumber masalah bagi para petani *greenhouse*. Hal tersebut membuktikan bahwasanya pemanfaatan teknologi belum maksimal dalam aspek pertanian khususnya pada penggunaan *greenhouse*.

Kesalahan yang sering terjadi baik dari segi non teknis maupun teknis seperti halnya ketidakakuratan data saat melakukan pemantauan terhadap masa tanam, penyiraman yang ideal, pengukuran pada pH tanah pada media tanam, dan pengukuran terhadap kelembaban tanah masih banyak ditemui pada pemanfaatan *greenhouse* secara manual. Berbanding lurus dengan perkembangan pada dunia teknologi informasi pada masa kini yang berada pada era industri 4.0 menawarkan efisiensi kerja dan peningkatan produktifitas termasuk dalam bidang pertanian pangan dengan

menggantikan kerja manual menjadi secara otomatis. Didukung dengan perkembangan kecerdasan buatan yang mampu memprediksi segala hal dengan melatih terlebih dahulu dengan data latih. Sehingga dibutuhkan suatu Artificial Intelligence dalam membuat sistem otomatisasi *greenhouse* yang dapat membantu pekerjaan petani sehingga mendapat hasil yang lebih maksimal dan optimal dalam memanfaatkan fungsi *greenhouse*.

Logika Fuzzy adalah salah satu dari metode *Artificial intelligence* (AI), yang mana logika *fuzzy* ini memiliki kemampuan untuk menyelesaikan suatu masalah dari perilaku sistem yang kompleks, dinamik serta tidak pasti. Dikarenakan logika *fuzzy* mempunyai suatu kemampuan yakni mengolah suatu bentuk informasi numerik dari variabel yang telah diukur (M. Sugeng Riadi, Erli Saputra, 2016). Dengan demikian apabila logika *fuzzy* diimplementasikan maka dapat mengatasi proses dari suatu sistem tersebut. Logika *fuzzy* memiliki beberapa metode didalamnya, salah satunya adalah *fuzzy mamdani*, *Fuzzy Mamdani* adalah salah satu dari metode yang memiliki keunggulan yakni sangat fleksibel serta mempunyai toleransi data yang tersedia. Metode *mamdani* disebut juga dengan metode *min-max* yang mampu mengambil minimum dan nilai keanggotaan yang maksimal sehingga dapat diterapkan optimalisasi penjualan dengan lebih mudah dan murah perhitungan (Kurniawan & Witanti, 2021). Penerapan *fuzzy* pada teknologi *Internet of Things (IoT)* pertanian ini digunakan untuk sistem kontrolnya, dengan melibatkan *fuzzy* maka dapat mengambil sebuah keputusan yang sesuai terhadap kebutuhan dan sistem *Internet of Things (IoT)* dapat bekerja secara efektif dan efisien (E. P. Gunawan, 2020). Pada penelitian yang diajukan ini

penulis berfokus pada 3 masalah yakni penyiraman, pengaturan suhu dan pengaturan pH, dengan inputan yang akan digunakan adalah pada penyiraman yakni parameter suhu dan kelembaban tanah dengan output berupa waktu penyiraman. Kemudian pada pengaturan suhu yakni parameter suhu dan kelembaban dengan output berupa menghidupkan dan mematikan akuator kipas, selanjutnya adalah pengaturan pH terdiri dari 2 input yakni parameter pH (hasil pembacaan sensor pH meter) dan ΔpH (selisih selisih data pembacaan pH sekarang dan sebelumnya) dengan output pengaturan pH.

Perkembangan teknologi saat ini khususnya *Internet of Things (IoT)* telah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat secara praktis. Dalam suatu penelitian disebutkan manfaat dari penggunaan teknologi *Internet of Things (IoT)* di bidang pertanian antara lain kontrol keamanan dan pencegahan penipuan, keunggulan kompetitif, distribusi kekayaan, pengurangan biaya, dan efisiensi operasional (Elijah et al., 2018). Selain itu kelebihan teknologi *Internet of Things (IoT)* ialah mampu membuat para pengguna menjadi lebih mudah dalam melakukan interaksi dengan peralatan-peralatan yang terkoneksi dengan jaringan internet (Syadza et al., 2018). Dengan teknologi *Internet of Things (IoT)* produksi dari hasil pertanian akan lebih optimal dan efisien, yang mana hal tersebut akan berpengaruh baik terhadap pendapat yang diperoleh para petani (Tani, 2020). Pemanfaatan dari teknologi *Internet of Things (IoT)* lebih memudahkan para petani dalam mengoperasikan suatu alat atau perangkat secara otomatis dan tidak menggunakan cara yang manual lagi, sehingga hal tersebut dapat mempermudah aktivitas para petani (Agrapana, 2020). Terlebih dengan pemanfaatan *Artificial Intelligence* diharapkan teknologi tersebut dapat diterapkan

untuk meningkatkan efisiensi kerja petani guna mengoptimalkan fungsi *greenhouse*.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukannya sebuah sistem yang dapat otomatis melakukan penyiraman, pengaturan pH, dan pengaturan suhu dengan menerapkan Artificial Intelligence yang dalam hal ini menggunakan logika *Fuzzy*, serta memberikan informasi berbasis internet (*Internet of Things*) dengan memanfaatkan cloud computing sebagai sistem monitoringnya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini penulis mengajukan skripsi dengan judul “Sistem Monitoring dan Otomasi Penyiraman, Pengatur pH, dan Pengatur Suhu Berbasis *Internet of Things* pada *Greenhouse* Menggunakan Logika *Fuzzy*”. Dengan inputan yang akan digunakan adalah pada penyiraman yakni parameter suhu dan kelembaban tanah dengan output berupa waktu penyiraman. Kemudian pada pengaturan suhu yakni parameter suhu dan kelembaban dengan output berupa menghidupkan dan mematikan akuator kipas, selanjutnya adalah pengaturan pH terdiri dari 2 input yakni parameter pH (hasil pembacaan sensor pH meter) dan ΔpH (selisih selisih data pembacaan pH sekarang dan sebelumnya) dengan output pengaturan pH. Sehingga dapat menghasilkan sistem otomatisasi sesuai dengan kebutuhan pada tanaman tomat dengan bantuan logika *fuzzy* dan dapat memonitoring secara realtime menggunakan *Internet of Things*. Dengan adanya sistem tersebut, diharapkan kinerja petani lebih efisien serta fungsi *greenhouse* lebih optimal.

1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pernyataan masalah pada penelitian ini adalah berapakah tingkat akurasi dari sistem penyiraman, pengatur pH, dan

pengatur suhu otomatis dan monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) jika menggunakan logika *Fuzzy*?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari sistem penyiraman, pengatur pH, dan pengatur suhu otomatis dan monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan logika *Fuzzy*.

1.4 Batasan Masalah

Objek tanaman yang diteliti adalah 4 tanaman tomat. Perangkat keras yang digunakan antara lain Node mcu, Motor driver, pompa dc 12v, BME280, *soil moisture*, sensor pH. *Fuzzy* yang digunakan adalah *fuzzy mamdani*. Inputan dalam penelitian ini yang akan digunakan adalah pada penyiraman yakni parameter suhu dan kelembaban tanah dengan output berupa waktu penyiraman. Kemudian pada pengaturan suhu yakni parameter suhu dan kelembaban, selanjutnya adalah pengaturan pH terdiri dari 2 input yakni parameter pH (hasil pembacaan sensor pH meter) dan ΔpH (selisih selisih data pembacaan pH sekarang dan sebelumnya). Dengan outputnya yang berupa pengaturan lama waktu penyiraman, menghidupkan dan mematikan akuator kipas, serta pengaturan pwm pada pompa cairan pH *up* atau cairan pH *down*. Jumlah data pengujian sejumlah 168 data dari masing-masing fitur. Adapun pengujian dilakukan selama 2 hari dengan interval pembacaan selama 15 menit, pengujian ini fokus pada hasil pengujian sistem dengan logika *fuzzy* dan kemudian dibandingkan dengan hasil pada matlab.

Inputan suhu pada penyiraman adapun fungsi keanggotaannya adalah: dingin, agak dingin, normal, agak panas, dan panas. Inputan kelembaban tanah pada penyiraman fungsi keanggotaannya adalah kering, lembab, dan basah. dan fungsi keanggotaan pada output penyiraman adalah waktu yang berupa mati, cepat, sedang, agak lama dan lama. Dan pada pengaturan suhu inputan suhu memiliki fungsi keanggotaan sangat dingin, dingin, sedang, panas dan sangat panas. Adapun fungsi keanggotaan kelembaban pada pengaturan suhu adalah rendah, sedang dan tinggi. dengan fungsi keanggotaan outputnya adalah on dan off pada akuator kipas. Pada pengaturan pH yang mana parameter pH terdiri dari 3 fungsi keanggotaannya diantaranya adalah asam, netral dan basa. Dan untuk parameter ΔpH memiliki 3 fungsi keanggotaannya yaitu negatif, netral dan positif. dengan fungsi keanggotaan outputnya adalah turun cepat, turun lambat, stop, naik lambat dan naik cepat.

1.5 Manfaat Penelitian

- 1 Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi Dinas Pertanian dalam mekanisasi pertanian sehingga dapat membantu upaya Dinas Pertanian dalam proses peningkatan laju produksi sektor pangan di Indonesia.
- 2 Membantu petani dalam efisiensi kegiatan bertani.
- 3 Memberikan rekomendasi sebagai bahan pertimbangan bagi produsen alat pertanian dalam melakukan kajian mengenai prototype alat pertanian yang menerapkan sistem monitoring dan otomasi.

- 4 Penelitian ini juga dapat dijadikan rujukan untuk peneliti lain yang akan mengembangkan penelitian.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Saat ini rekayasa di bidang *Internet of Things (IoT)* telah berkembang pesat, seiring dengan kemudahan dalam desain dan produksi perangkat-perangkat cerdas, dan bersifat *open source* baik dari sisi hardware maupun software-nya. Hardware misalnya minimum sistem dan *shield* bisa disusun ulang secara bebas (*customize*), sedangkan kode program bisa dibaca secara bebas, dan ditulis ulang sesuai kustomisasi hardware, bahkan bisa dipublikasikan secara terbuka.

Dengan demikian telah banyak karya-karya yang dihasilkan oleh para perekayasa, dan beberapa diantaranya kami pelajari untuk menjadi rujukan dalam menyusun karya ilmiah dalam penelitian, antara adalah: Salah satu penelitian yang mana pernah dilakukan oleh Mat, Kassim, Harun dan Yusoof yaitu yang berjudul *IoT in Precision Agriculture Applications Using Wireless Moisture Sensor Network*. Precision Agriculture (PA) menggunakan WMSN untuk memungkinkan irigasi yang efisien. Dalam tulisan ini, peneliti menjelaskan tentang *Internet of Things (IoT)* dan WMSN dalam aplikasi pertanian khususnya di lingkungan rumah kaca. Penelitian ini menjelaskan dan membuktikan efisiensi metode kontrol umpan balik dalam irigasi tanaman rumah kaca. Sebuah tes dilakukan untuk melihat perbedaan kedua metode ini. Metode yang digunakan adalah irigasi berdasarkan jadwal atau irigasi berbasis umpan balik. Irigasi sesuai jadwal adalah untuk memasok air ke pabrik pada periode waktu

tertentu. Irigasi berbasis umpan balik adalah untuk mengairi tanaman ketika kelembaban atau tingkat kebasahan media mencapai nilai yang telah ditentukan. Tes menunjukkan bahwa ada penghematan rata-rata 1.500 ml per hari per pohon (Mat et al., 2016).

Pada penelitian yang berjudul *The Construction of the Integration of Water and Fertilizer Smart Water Saving Irrigation System Based on Big Data*, peneliti menggunakan internet hal-hal dan beberapa teknologi lainnya untuk memonitor secara real-time dan secara otomatis mengumpulkan data yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman di ladang dan kemudian mengunggahnya ke database target pusat data besar Universitas Pertanian Shandong. Pusat data besar dengan cerdas menyimpan, menyaring, mengkalibrasi, menambang, dan mengekstraksi data pemantauan untuk menetapkan model pertumbuhan tanaman berdasarkan data besar, yang dapat memprediksi dan memperkirakan kebutuhan air tanaman dalam periode pertumbuhan yang berbeda dan membuat keputusan irigasi otomatis dan pemupukan, akhirnya mewujudkan irigasi tanaman yang tepat waktu dan tepat (Zhang et al., 2017).

Penelitian serupa yang dilakukan oleh Ali, Choksi dan Potdar yaitu yang berjudul *Precision Agriculture Monitoring System Using Green Internet of Things (G-IoT)*. Ali (2018) mengemukakan bahwa aplikasi pertanian yang ada yang menggabungkan *Internet of Things (IoT)* membantu meningkatkan produktivitas tanaman. Namun, aplikasi ini juga memperkenalkan beberapa kelemahan, oleh karena itu para peneliti saat ini bekerja untuk mengalahkan tantangan ini dalam aplikasi futuristik dengan menggunakan teknologi baru tanpa atau minimal berdampak negatif

terhadap lingkungan dan kesehatan manusia; Green IoT (G-IoT) dan green nanotechnology muncul. Teknologi ini tidak mudah digunakan oleh petani. Jadi, pekerjaan penelitian ini bertujuan untuk membangun Sistem Pemantauan Pertanian Presisi yang real-time dan hemat biaya dengan konsumsi daya yang lebih sedikit, emisi Gas Rumah Kaca (GHG) yang lebih sedikit, dan antarmuka yang ramah pengguna untuk membantu para petani memantau variasi parameter parameter mereka. pertanian (cuaca, air, tanah, deteksi hama, deteksi intrusi, deteksi kebakaran) secara berkala dari mana saja dan kapan saja menggunakan ponsel pintar mereka. Sistem yang diusulkan akan bertindak sebagai sistem pendukung keputusan yang membantu petani untuk mengambil tindakan yang sesuai berdasarkan variasi parameter pertanian; dengan mengirim email peringatan kepada petani saat dibutuhkan (Ali, 2018).

Pada penelitian yang berjudul *Iot Based Monitoring System In Smart Agriculture* ini memiliki tujuan untuk memanfaatkan suatu teknologi yang saat ini sedang berkembang, dalam hal ini adalah *Internet of Thing* dan *smart farming* menggunakan sistem otomasi. Pemantauan faktor lingkungan adalah faktor yang utama dalam meningkatkan suatu hasil panen. Fitur dari penelitian ini termasuk pemantauan terhadap suhu dan kelembaban, dalam penelitian ini pemantauan tersebut menggunakan sensor chip tunggal CC3200, fungsi dari sensor tersebut adalah digunakan untuk menangkap gambar yang kemudian dikirimkan ke ponsel petani dalam bentuk MMS dengan bantuan Wi-Fi (Prathibha et al., 2017).

Pada penelitian serupa yang berjudul *Pengembangan Sistem Kendali Cerdas Dan Monitoring Pada Budidaya Buah Tomat*, peneliti membangun sistem

menggunakan metode yakni prototype dan *decision tree model* digunakan untuk pembuatan sistem cerdasnya. Pembangunan sistem digunakan dengan cara menghubungkan arduino dengan sensor suhu dan kelembaban, adapun hasil dari penelitian ini adalah sistem dapat menjadi suatu median yang dapat meningkatkan jumlah produksi maupun kualitasnya, selain itu juga dapat mengurangi kemungkinan gagal panen sebab cuaca yang berubah-ubah, dikarekan sistem dapat memantau dan mengendalikan secara otomatis dan *real-time*. (Hari et al., 2017).

Pada penelitian *Automatic Watering Device For Tomato Using Soil Moisturesensor*, peneliti berfokus pada otomasi dengan alasan selain memudahkan penyiraman juga memungkinkan untuk mengatur kelembaban tanah antara 70-80% yang cocok untuk tomat. Alat ini memiliki tiga komponen utama yaitu mikrokontroler sebagai pengendali penyiraman utama, sensor YL-69 untuk menghitung nilai kelembaban tanah dan RTC sebagai jam untuk menjadwalkan waktu penyiraman. Terdapat dua tahap pada penelitian tersebut, yang pertama adalah perancangan perangkat keras yang berfungsi untuk menghitung kadar air tanah kemudian berdasarkan informasi tersebut melakukan tugas penyiraman. Tahap terakhir adalah perancangan perangkat lunak dengan tujuan menjaga kelembaban tanah pada kisaran 70-80%. Adapun hasil penelitian ini adalah telah dibuat pengontrol penyiraman yang mampu menjaga kelembaban tanah rata-rata 79,5%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perangkat ini dapat bekerja dengan baik (Pollo, 2019).

Pada penelitian *Kendali dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya Untuk Tanaman Tomat*, sistem yang diajukan diharapkan mampu mengurangi

kegagalan pada budidaya tanaman tomat serta mampu melakukan kontrol serta memonitoring keadaan tanaman tomat, yang mana hal tersebut dapat mempermudah pekerjaan petani tomat itu sendiri karena semua proses pemeliharaan tanaman dilakukan dengan otomatis. Pada penelitian ini menggunakan sensor DHT22 untuk mengetahui suhu dalam lingkungan tersebut yang dapat menentukan operasi dari kipas yang telah terpasang sebagai output, serta sensor LDR untuk mengetahui tingkat pancaran matahari yang digunakan untuk mengatur saklar lampu secara otomatis. (Ginanjar et al., 2018).

Penelitian terkait mengenai penggunaan logika *fuzzy* pernah dilakukan oleh Tajrie, Sumaryo, dan Ekaputri dalam penelitiannya dengan judul Sistem Kendali Penyiraman dan Pencahayaan Tanaman Otomatis pada *Smart Greenhouse* Menggunakan Logika *Fuzzy*, pada penelitian tersebut sistem penyiraman serta pencahayaan pada *greenhouse* dilakukan secara otomatis. Menggunakan sistem tetes air untuk penyiraman, yang mana penyiraman dan pencahayaan pada penelitian ini diatur secara otomatis dengan hasil yang akan tampil pada LCD. Penelitian ini menggunakan Logika *fuzzy* yang memiliki dua inputan berupa data dari sensor suhu dan kelembaban tanah. Hasil keluaran dari sistem yang telah dibuat dengan menggunakan logika *fuzzy* setelah dibandingkan dengan perhitungan pada matlab menghasilkan nilai error sebesar 0.16 yang berarti sistem ini dapat berjalan dengan baik sesuai dengan kebutuhan. (Tajrie et al., 2017).

Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan judul Penerapan Metode Logika *Fuzzy* Untuk Alat Kontrol Kelembapan Tanah Pada *Greenhouse*

Laboratorium Tanah BPTP Jawa Timur. Dalam proses pengaktifan alat kontrol kelembaban tanah menggunakan logika *fuzzy*. Pada perancangan desain *fuzzy*, dimulai dari membuat variabel input *fuzzy*, kemudian dilanjut dengan merancang fungsi keanggotaan *fuzzy*, kemudian didapatkan sebuah ketentuan untuk rule *fuzzy*. Hasil dari penelitian ini adalah sistem mampu mengetahui waktu penyiraman yang sesuai berdasarkan dengan kelembaban tanah dan tekanan air dengan bantuan logika *fuzzy* (M. R. Maulana et al., 2018).

Penelitian serupa yang berjudul Penyiraman Tanaman Otomatis dengan Metode *Fuzzy Mamdani*, dalam penelitiannya menggunakan logika *fuzzy mamdani* yang dirancang sedemikian rupa dan dikirimkan pada mikrokontroler untuk dapat menentukan sebuah keputusan penyiraman pada tanaman berdasarkan dari sensor yang digunakan, dalam hal ini adalah suhu dan kelembaban udara. Output dari sistem ini berupa delay pompa air dalam melakukan penyiraman berdasarkan pada kebutuhan tanaman, sehingga kebutuhan air dapat terpenuhi dengan baik (Jaya, 2021).

Penelitian sebelumnya pada sistem pendukung keputusan atau SPK dengan menggunakan *fuzzy mamdani* pada sebuah alat penyiram otomatis pada tanaman memanfaatkan metode *fuzzy mamdani* untuk digunakan sebagai penentu keputusan dalam waktu penyiraman pada tanaman. Adapun hasil dari penelitian ini adalah *fuzzy* sudah dapat bekerja dengan baik dalam sistem yang mana dibuktikan dengan hasil pengujian apabila kondisi pada tanaman memiliki suhu udara 30 derajat celsius dan kelembaban tana 50% maka tanaman tidak akan disiram, namun apabila suhu udara

mencapai 31 derajat celcius dan kelembapan tanah 22% maka tanaman akan disiram dengan durasi yang lama, sesuai dengan rule yang telah ditentukan (Asih, 2018).

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut diatas, diketahui bahwa penelitian penggunaan kecerdasan buatan khususnya logika *fuzzy* ramai dibahas oleh para peneliti, yang mana hal tersebut merupakan topik yang diminati oleh para peneliti. Khususnya penggunaan Artificial Intelligence (AI) pada otomatisasi tanaman ini sangat menarik untuk di teliti. Namun, belum ada penelitian sebelumnya yang berjudul sistem penyiraman, pengatur pH, dan pengatur suhu otomatis dan monitoring berbasis *Internet of Things* pada *greenhouse* menggunakan logika *Fuzzy*, yang mana sistem monitoringnya tersebut langsung terhubung dengan website. Dan belum ada penelitian sebelumnya yang secara komprehensif membuat sistem penyiraman, pengaturah suhu dan pH dalam satu penelitian. Penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada satu faktor saja.

Pada penelitian ini terkait dengan validasi diukur dengan alat ukur yang tersedia. penilaian akurasi didasarkan pada keadaan tanaman yang mengharuskan dilakukan tindakan atau tidak. jika waktunya tindakan tetapi tidak ada tindakan atau sebaliknya berarti error.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kebutuhan Air pada Tanaman Tomat

Menurut Tini menyatakan bahwa *Solanum lycopersicum* atau Tomat adalah salah satu jenis sayuran yang sangat peka pada kondisi kekurangan air. Kebutuhan air

pada tanaman tomat yang memiliki umur masih muda hanya memerlukan air yang sedikit, namun kebutuhan air pada tanaman tomat akan mulai meningkat ketika tanaman tomat mulai pada fase berbunga, dan kebutuhannya lebih banyak lagi ketika tanaman tomat mulai memiliki buah dan pembesaran sampai buah berada pada fase masak (E. Maulana, 2010). Tanaman tomat yang terlalu banyak di beri air dapat menjadikan tomat tumbuhnya memanjang, mudah terserang penyakit dan tidak dapat menyerap unsur hara, namun kekurangan air pada tanaman tomat dalam jangka waktu yang berkepanjangan mengakibatkan pecah-pecah pada buah dan menyebabkan kerontokan pada bunga, oleh karena itu, kebutuhan air pada tanaman tomat harus sesuai tidak terlalu banyak dan tidak boleh kekurangan air (Pertanian, 2015).

Sedangkan pemeliharaan atau budidaya tomat pada daerah yang lahannya kering mengakibatkan tanaman tomat kekurangan air, yang mana ketersediaan air sangat memengaruhi kualitas buah dan hasil panen. Oleh karena itu dibutuhkan pemberian air secara optimal untuk meningkatkan dan mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Pada suatu penelitian yang menggunakan rumus perhitungan *Caolli* dalam menentukan kebutuhan air pada tanaman tomat, hasilnya menunjukkan fase pertama diperlukan irigasi tetes sekitar $0,738 \text{ m}^3$ untuk fase vegetatif aktif sekitar $1,667 \text{ m}^3$ dan untuk pembungaan hingga pematangan buah awal digunakan air sekitar $3,087 \text{ m}^3$ (Negara et al., 2020).

Berdasarkan Modul 10 dari BPSDM (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia) Kementerian PUPR (Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat) dalam pusat pendidikan dan pelatihan sumber daya air dan konstruksi (Konstruksi, 2018)

menyatakan bahwa total besar dari kebutuhan air pada tanaman tomat dalam masa pertumbuhan adalah sebesar 30,17 liter atau 86,2 mm untuk masa awal, 60,37 liter atau 172,5 mm untuk masa perkembangan, 92,68 liter atau 264,8 mm untuk masa pertengahan tanam dan membutuhkan air sebesar 76,16 liter atau 217,6 mm untuk masa penuaan.

2.2.2 Kebutuhan Suhu pada Tanaman Tomat

Dalam pertumbuhan tanaman tomat, suhu merupakan salah satu kebutuhan yang mempengaruhi tumbuh kembang tanaman. Suhu yang cukup teratur dapat menghasilkan tomat yang berkualitas unggul. Adapun suhu ideal yang diperlukan tomat adalah 24 – 28°C. Apabila suhu terlalu tinggi maka warna buah tomat akan kekuning-kuningan, dan apabila terlalu fluktuatif warnanya akan tidak merata (Ginangjar et al., 2018). Suhu ideal tomat berkisar pada angka 24-28°C, hal tersebut mengakibatkan apabila tomat berada pada suhu yang tinggi maka akan menghambat pertumbuhan (Afifah et al., 2020). Sedangkan pada sumber lain (Irvan, 2019) menyebutkan bahwa tomat menghendaki iklim yang kering, pada siang hari dengan suhu kering kisaran 18-27°C, dan pada malam hari kisaran suhu 15-20°C. Suhu pertumbuhan tomat berdasarkan pada penelitian sebelumnya (Nusantara et al., 2021) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. 1 Suhu Pertumbuhan Tanaman Tomat

Fase Perumbuhan	Minimal (°C)	Optimal (°C)	Maksimal (°C)
Perkecambahan	11	16-29	34
Pertumbuhan Bibit	18	21-24	32
Pemupukan	10	15-17	30
Perubahan Warna	18	20-24	30

2.2.3 Kebutuhan pH pada Tanaman Tomat

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tomat ialah pH atau *Power of Hydrogen*. pH adalah suatu derajat keasaman maupun basa dalam larutan. Adapun kebutuhan pH tanaman tomat adalah berkisar 4,5 sampai 6,5 (Prasetya et al., 2019) (Boedi Setiawan et al., 2019). Sebenarnya tomat bisa ditanam pada segala jenis media tanam tanah, namun untuk pertumbuhan yang bagus sebaiknya tomat ditanam pada media tanah yang lempung berpasir subur, gembur dan bisa merembeskan air dengan pH 5,5 – 7 (Afifah et al., 2020). Diperlukan pH yang stabil agar unsur hara pada tomat tidak terganggu (R. Gunawan et al., 2019).

2.2.4 Greenhouse

Menurut sari (2018) *greenhouse* adalah bangunan berkontruksi yang memiliki sifat tembus pandang, *greenhouse* mampu memanipulasi iklim yang dapat

menciptakan kondisi lingkungan sesuai dengan yang dikehendaki dalam usaha pemeliharaan suatu tanaman (Putri et al., 2019). Di Indonesia *Greenhouse* digunakan untuk penelitian terhadap ketahanan suatu tanaman pada hama tanaman, uji coba pemupukan, persilangan tanaman, percobaan tanaman hidroponik, maupun budidaya tanaman diluar musim tanam tanaman tersebut (Antonio, 2019). *Greenhouse* dapat menjauhkan tanaman dari gangguan penyakit ataupun hama yang tidak diinginkan. *Greenhouse* yang dibangun di Indonesia kebanyakan digunakan untuk kegiatan budidaya tanaman dan percobaan daya tahan hama terhadap tanaman. Pada prinsipnya pengembangan *greenhouse* digunakan untuk memenuhi kebutuhan hasil pertanian yang berkelanjutan tanpa mengenal musim (Putri et al., 2019). Struktur *greenhouse* di daerah tropis sering digunakan untuk mengontrol suhu, karena apabila suhu tinggi dapat mempercepat tanaman kehilangan air dan tenaga. Oleh karena itu pada praktiknya tanaman yang berada dalam *greenhouse* disarankan perbedaan suhu antara siang hari dan malam hari sekitar 5°C-10°C agar mendapatkan suhu yang stabil sesuai dengan kebutuhan tanaman (Alim, 2019).

2.2.5 Irigasi Tetes (*drip irrigation*)

Irigasi tetes atau *drip irrigation* merupakan suatu cara pemberian air terhadap tanaman. Cara yang digunakan adalah air diteteskan pada tanaman dengan bantuan pipa yang telah terpasang sepanjang tanaman. Pada dasarnya irigasi tetes terbagi menjadi 3 macam dilihat dari jenis cucuran air, antara lain *viaflow* atau airnya meresap pada pipa lateral yang telah terpasang, air menetes melalui suatu alat yang terpasang pada

pipa, dan air metetes sedikit demi sedikit melalui lubang yang tersedia pada pipa lateral (Ekaputra et al., 2017).

Dalam irigasi tetes terdapat metode pemberian airnya, antara lain sebagai berikut:

- a. Irigasi tetes, pemberian air berupa tetesan yang bersifat terus menerus pada permukaan media tanam.
- b. Irigasi dari bawah permukaan, yang mana air diberikan dari bawah permukaan tanah.
- c. Pemberian air menggunakan pipa kecil ke permukaan tanah.
- d. Irigasi Percik, Pemberian air menggunakan alat penyemprot yang kecil (Sapei, 2006).

Kelebihan irigasi tetes ini adalah efisien dan hemat air, menghindari akibat penguapan, dapat memaksimalkan fungsi hara tanaman pada awal pertembuhan, mempercepat proses penyesuaian bibit dengan tanah, mengurangi penumpukan garam, meminimalisir pertumbuhan gulma, mengurangi tenaga kerja (Admindpu, 2020). Selain hal tersebut terdapat kekurangan dari irigasi tetes adalah membutuhkan perawatan yang cukup intensif, serta keterbatasan biaya serta teknik (Sapei, 2006). Berikut visualisasi irigasi tetes:



Gambar 2. 1 Irigasi Tetes
Sumber : (News, 2016)

Berikut ini persamaan matematika dalam irigasi tetes berdasarkan dengan penelitian sebelumnya (Muanah et al., 2020) ,

Debit penetes *emitter* : $Q = \frac{v}{t}$

Koefisien keseragaman tetes : $C_u = 100(1 - \frac{\sum[ai - \bar{a}]}{\sum ai})$

Menentukan kebutuhan air tanaman : $G = d \cdot Sp \cdot Sr$

Keterangan :

Q = debit penetes (liter/detik)

V = volume tetesan emitter (liter)

T = waktu (detik)

C_u = koefisien keseragaman irigasi (%)

A_i = nilai masing-masing air pada wadah (ml)

$\bar{a}$ = nilai rata-rata dari volume air pada wadah (ml)

$\sum[ai - \bar{a}]$ = jumlah deviasi absolut rata-rata pengukuran (ml)

G = kebutuhan air pertanian (liter/hari)

d = kedalaman irigasi bruto (m)

S_p = jarak antara tanaman (m)

S_r = jarak alur tanaman (m)

2.2.6 Internet Of Thing berbasis *Artificial intelligence*

Internet of Things (IoT) adalah kemampuan mengintegrasikan suatu benda cerdas yang memiliki kemampuan saling berinteraksi dengan benda cerdas lainnya melalui akses internet (Putri et al., 2019). Teknologi *Internet of Things (IoT)* yang digunakan sebagai pengontrol suatu rangkaian elektronik serta sebagai penyimpanan program yang terdapat didalamnya menggunakan sebuah mikrokontroller, perancangan *Internet of Things (IoT)* ini berbasis Artificial Intelligence (AI) yang dalam hal ini menggunakan logika *fuzzy* sebagai sistem kontrolnya, dengan menggunakan rule base *IF.... THEN....* yang telah ditentukan maka dengan *fuzzy* dapat menghasilkan sebuah keputusan.

Internet Of Things berbasis *Artificial intelligence* berarti *Artificial intelligence* ditambahkan ke dalam *Internet Of Things*, apabila kedua hal tersebut sudah berkolaborasi maka dapat diartikan bahwa suatu sistem atau perangkat yang terhubung dengan internet dapat menganalisa sebuah data dan membuat suatu keputusan berdasarkan data tersebut tanpa campur tangan manusia lagi. Dengan perpaduan *Internet Of Thing* dengan *Artificial intelligence* akan terbentuk suatu sistem cerdas yang mampu bekerja secara efisien dan efektif (E. P. Gunawan, 2020). Sistem *Internet of Things (IoT)* non-pintar akan memiliki kemampuan terbatas dan akan tidak dapat berkembang dengan data. Namun, sistem *Internet of Things (IoT)* yang memiliki AI

lebih cerdas dan dapat melayani tujuan otomatisasi (Ghosh et al., 2018). Kecerdasan buatan adalah solusi terbaik untuk mengelola aliran dan penyimpanan data yang sangat besar di jaringan *Internet of Things (IoT)* (Osuwa et al., 2019).

Internet of Things (IoT) dalam penelitian ini digunakan sebagai sistem monitoring, yang mana datanya berasal dari kondisi tanaman tomat yang sedang diteliti. Data yang dimonitor oleh sistem meliputi data keadaan kelembaban tanah, suhu udara dan data pH. Data tersebut diambil dari sensor yang digunakan, kemudian data dikirim melalui internet ke database yang berada di cloud server, kemudian data tersebut dapat diakses melalui website secara realtime. Dari data yang berada di database tersebut kemudian diolah dengan *fuzzy* untuk melakukan sistem otomatisasi sesuai dengan keadaan tanaman dan kebutuhan tanaman meliputi penyiraman, suhu dan pH. Dengan berdasarkan rumus logika *fuzzy* yakni *IF..THEN* yang akan digunakan sebagai acuan dalam memberikan sebuah keputusan.

2.2.7 Metode Logika Fuzzy

Latar belakang dari adanya logika *fuzzy* adalah adanya terdapat suatu perbedaan atau kesenjangan hukum matematika dengan fakta permasalahan sebenarnya. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu metode untuk mengatasi masalah tersebut, metode yang dapat memutuskan solusi yang sesuai dan optimal dengan permasalahan yang sebenarnya terjadi. Adapun metode tersebut adalah logika *fuzzy*, alasan digunakannya metode tersebut adalah konsepnya yang mudah dipahami, sangat fleksibel, dapat menoleransi data yang kurang tepat, dapat memodelkan fungsi non linear yang bersifat

kompleks, mampu bekerjasama dengan teknik kendali lainnya secara konvensional, serta didasarkan pada bahasa yang alami.

2.2.7.1. Himpunan *Fuzzy*

Dalam logika *fuzzy* terdapat himpunan tegas atau yang biasa disebut *crisp*, sebagai contoh nilai membership suatu item x pada himpunan A , yang biasa ditulis dengan $A[x]$, memiliki dua kemungkinan. Yang pertama yaitu: satu (1) memiliki arti bahwasanya suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan. Dan yang kedua yakni nol (0), artinya adalah bahwa suatu item tidak dapat menjadi anggota dalam suatu himpunan. Untuk memahami sistem *fuzzy* maka terdapat beberapa hal yang perlu diketahui yakni variabel *fuzzy*, himpunan *fuzzy*, semesta pembicaraan, dan domain. Variabel *fuzzy* adalah variabel yang akan digunakan pada sebuah penelitian, dan pada penelitian ini variabel yang dipergunakan adalah variabel suhu, kelembaban tanah, dan pH. Sedangkan himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang mewakili suatu objek pada variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan adalah bilangan yang mana akan terus bertambah nilai positif maupun nilai negatifnya, dan domain ini merupakan nilai real yang mewakili semesta pembicaraan tersebut, nilai domain ini diperoleh apabila semua nilai semesta pembicaraan telah dioperasikan dalam *fuzzy*.

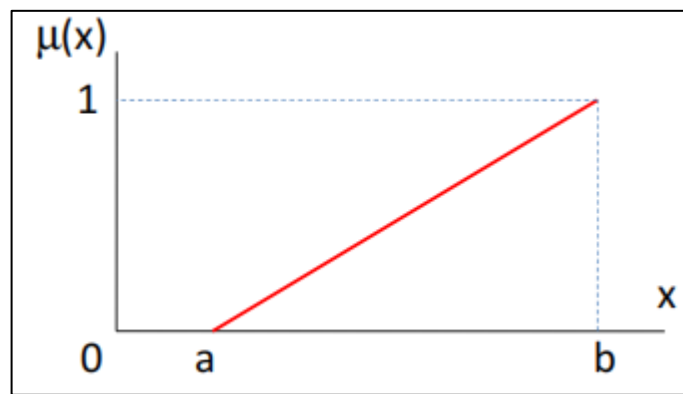
2.2.7.2 Fungsi Keanggotaan

Membership Function merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik masukan data ke dalam nilai keanggotaannya, yang mana derajat keanggotaan mempunyai nilai rentang 0 – 1 (Kusuma et al., 2020).

Berikut ini adalah sebuah fungsi yang dipergunakan guna mendapat nilai dari derajat sebuah keanggotaan:

a. Linier

Berikut ini merupakan sebuah gambar yang mempresentasikan dari linier garis naik:



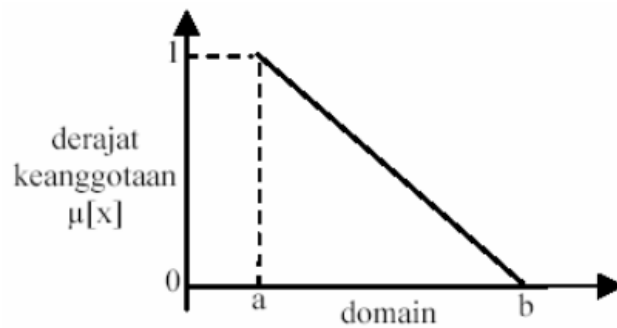
Gambar 2. 2 Linier Garis Naik

Sumber : (Munir, n.d.)

Persamaan fungsi dari keanggotaan pada kurva yang naik adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & x \geq b \end{cases}$$

Berikut ini gambar representasi linier garis turun:



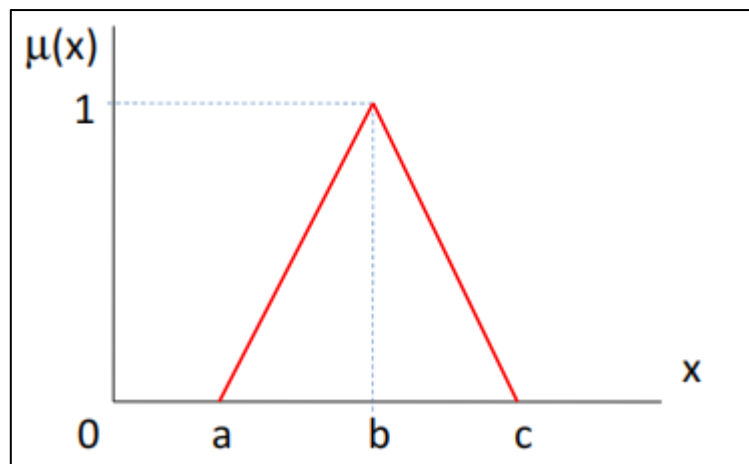
Gambar 2. 3 Linier Garis Turun

Persamaan fungsi dari *membership* pada linier yang garis turun adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} (b - x)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases}$$

b. Segitiga

Berikut ini gambar representasi bentuk kurva segitiga:



Gambar 2. 4 Representasi Bentuk Kurva Segitiga

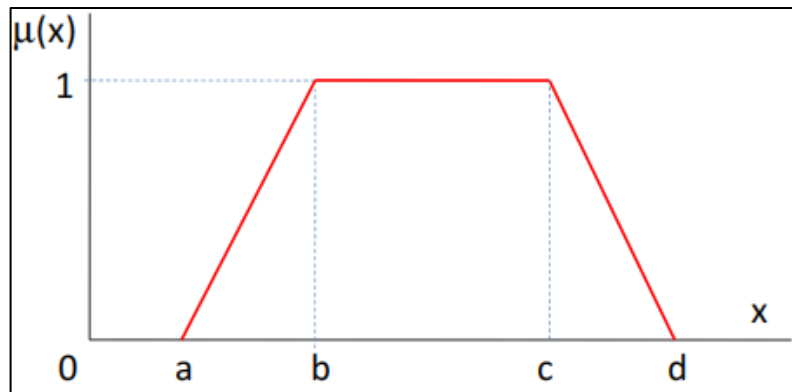
Sumber : (Munir, n.d.)

Persamaan fungsi dari keanggotaan pada kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

c. Trapezium

Berikut ini bentuk kurva dengan representasi trapezium:



Gambar 2. 5 representasi kurva trapezium

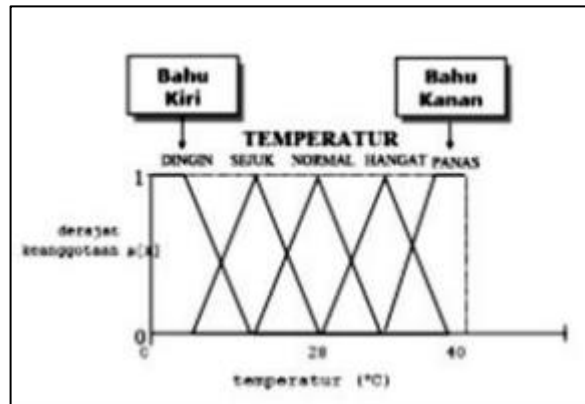
Sumber : (Munir, n.d.)

Adapun persamaan fungsi dari keanggotan kurva trapezium adalah sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & c \leq x \leq d \end{cases}$$

d. Kurva Bahu

Pada kurva bahu ini dapat diartikan sebagai representasi dari kurva linear dan segitiga. Adapun gambarnya sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Kurva Bentuk Bahu

Adapun persamaan fungsi dari keanggotaan kurva bahu kiri adalah sebagai berikut:

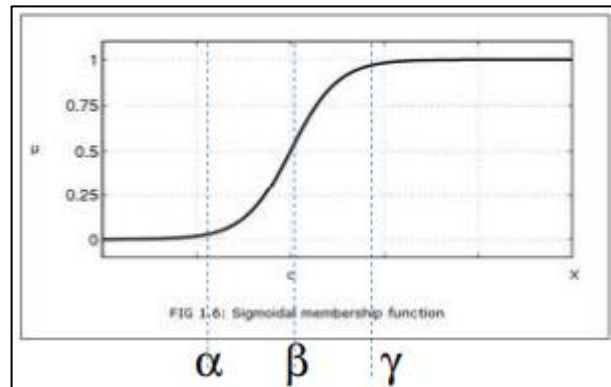
$$\mu(x) = \begin{cases} a & x < a \text{ atau } x > c \\ 1; & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Dan persamaan untuk fungsi keanggotaan kurva bahu kanan adalah:

$$\mu(x) = \begin{cases} a & x < a \\ 1; & x > c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \end{cases}$$

e. Kurva S

Adapun S adalah Sigmoid, yang mana mencerminkan kenaikan dan penurunan yang tidak liner. Adapun gambarnya sebagai berikut:



Gambar 2. 7 Kurva S
Sumber : (Munir, n.d.)

2.2.7.3 Operasi Dasar Zadeh pada Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan *fuzzy* memiliki operator dasar, yang mana operasi dasar ini digunakan untuk menghitung pada himpunan *fuzzy*. Namafire strength atau α -predikat adalah nilai *membership* yang mana sebagai hasil dari operasi dua himpunan. Terdapat tiga operator dasar Zadeh, antara lain: AND, OR dan NOT (Abrori Muchammad & Amrul, 2015). Adapun penjelasan mengenai operator dasar tersebut adalah berikut ini:

1. Operator AND,

Suatu operator yang digunakan untuk menemukan suatu nilai yang paling kecil.

Berikut persamaan dari fungsi MIN :

$$\mu A \cap B = \text{MIN}(\mu A[x], \mu B[y])$$

2. Operator OR,

Suatu operator yang digunakan untuk menemukan suatu nilai yang paling tinggi atau untuk mencari nilai tertinggi, operator ini biasanya menggunakan fungsi MAX. Berikut persamaan dari fungsi MAX :

$$\mu A \cup B = \text{MAX}(\mu A[x], \mu B[y])$$

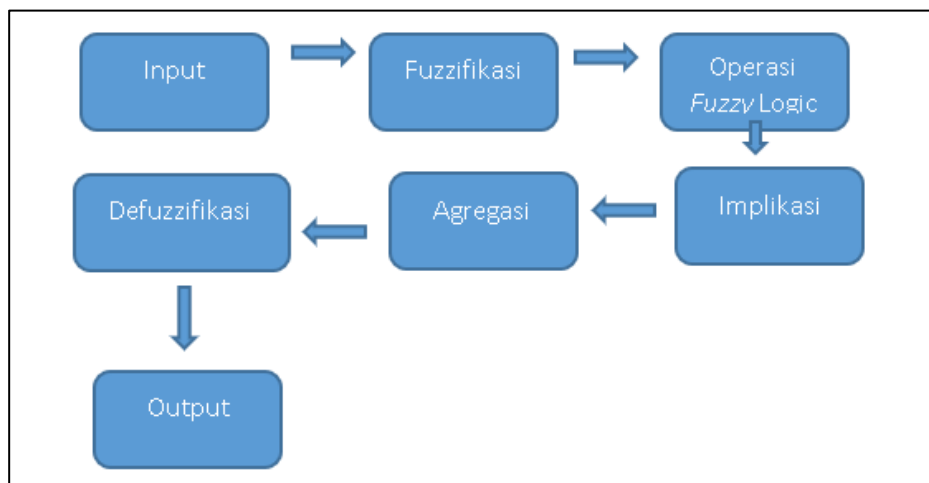
3. Operator NOT

Berikut persamaan dari operator NOT:

$$\mu A' = 1 - \mu A[x]$$

2.2.7.4 Sistem Inferensi *Fuzzy*

Sistem inferensi *fuzzy* ini merupakan suatu penarikan sebuah kesimpulan yang didapatkan dari sekumpulan rule *fuzzy* yang bentuknya berupa IF-THEN, dan juga penalaran yang mempunyai inputan serta output yang berupa *crisp value* (Rohmawati et al., 2014). Berikut ini proses yang terjadi didalam sistem inferensi *fuzzy*:



Gambar 2. 8 Proses Inferensi Fuzzy

Masukan berupa *crisp value* kemudian diproses dalam himpunan *fuzzy*, dan ditentukan derajat keanggotannya. Dan kemudian dicari nilai derajat kebenaran dengan menggunakan operasi logika AND atau OR atau NOR. Yang selanjutnya nilai akan dibandingkan dengan IF THEN yang ada, sehingga diperoleh outputnya.

Pada Inferensi terdapat beberapa metode yang digunakan, dan pada pembahasan ini akan berfokus pada satu metode yakni metode mamdani. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

Metode mamdani diartikan sebagai metode penalaran min max yang terdapat beberapa proses didalam metode tersebut. Diantaranya dimulai dari pembentukan himpunan, fungsi implikasi, kemudian membuat rule base, dan yang terakhir melakukan perhitungan pada defuzzifikasi. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a. Himpunan Awal *Fuzzy*

Terdapat himpunan *fuzzy* yang terdiri dari satu ataupun lebih.

b. Fungsi Implikasi

Pada metode mamdani fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi MIN.

c. Membuat Rule Base

- Metode MAX

Dimulai dengan mengambil nilai fungsi keanggotaan yang tertinggi. Adapun persamaan metode maximum adalah sebagai berikut:

$$\mu_{sf}[y_i] = \max (\mu_{sf}[y_i], \mu_{kf}[y_i])$$

- Metode SUM

Metode SUM digunakan untuk mendapatkan nilai pada daerah keluaran atau output. Adapun persamaan yang digunakan dalam perhitungan menggunakan metode SUM adalah sebagai berikut:

$$\mu_{sf[yi]} = \min(1, \mu_{sf[yi]} + \mu_{kf[yi]})$$

- Metode OR

Digunakan untuk mendapatkan sebuah hasil yang dilakukan dengan product ke semua output. Adapun persamaan yang digunakan dalam perhitungan menggunakan metode probor adalah sebagai berikut:

$$\mu_{sf[xi]} = (\mu_{sf[xi]} + \mu_{kf[xi]}) - (\mu_{sf[xi]} * \mu_{kf[xi]})$$

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan suatu proses mengubah keluaran *fuzzy* menjadi *crisp value*, sesuai dengan fungsi *membership* yang telah ditentukan sebelumnya (Rohmawati et al., 2014). Terdapat banyak cara yang digunakan untuk proses ini, antara lain sebagai berikut:

- *Centroid Method*

Metode ini digunakan dengan cara mencari pusat dari sebuah *fuzzy*. Dalam metode ini nilai outputnya didapatkan dari pengambilan titik yang mempunyai nilai derajat keanggotaan maksimal. Yang selanjutnya dicari nilai *weighted mean* dari titik tersebut. Berikut persamaan dalam perhitungan semesta diskrit:

$$CoA = \frac{\sum_j^n z_j \mu(z_j)}{\sum_j^n \mu(z_j)}$$

Dan berikut persamaan dalam perhitungan semesta kontinu:

$$CoA = \frac{\int_z z \cdot \mu(z) dz}{\int_z \mu(z) dz}$$

- Metode bisector

Proses metode ini diproses melalui mengambil *value* dari domain, yang dalam hal ini adalah domain pada *fuzzy*. Domain nya adalah 1/2 dari hasil perhitungann *fuzzy*. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan:

$$Z_p \text{ sedemikian hingga } \int_1^p \mu(z) dz - \int_p^n \mu(z) dz$$

- Large of Maximum

Diproses dengan melakukan suatu perhitungan guna untuk mendapatkan nilai terbesar pada domain. Large of Maximum biasa disingkat dengan LoM.

- Smallest of Maximum

Diproses dengan melakukan suatu perhitungan guna untuk mendapatkan nilai terkecil pada domain. Smallest of Maximum biasa disingkat dengan SoM.

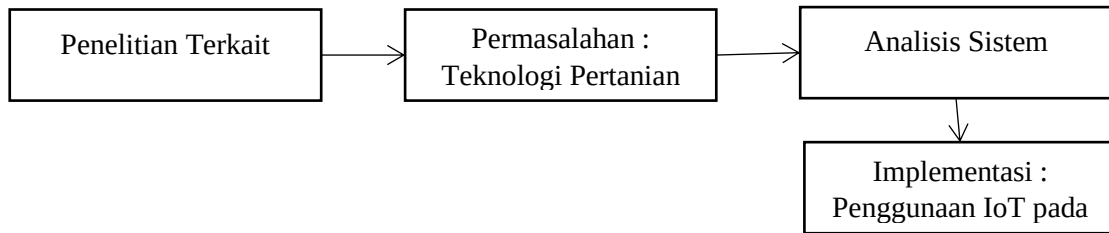
- Mean of Maximum

Diproses dengan melakukan suatu perhitungan guna untuk mendapatkan nilai rata-rata pada domain. Mean of Maximum biasa disingkat dengan MoM.

2.3 Kerangka Teori

Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang tercantum pada penelitian terkait, peneliti membuat sebuah kerangka teori guna

menjabarkan permasalahan yang ada. Jika di tinjau dari penelitian terkait sebelumnya, peneliti sebelumnya melakukan penelitian guna memajukan pertanian dengan teknologi informasi dan *Internet of Things (IoT)* . Kerangka teoritis dapat digambarkan dalam diagram berikut ini:



Gambar 2. 9 Kerangka Teori

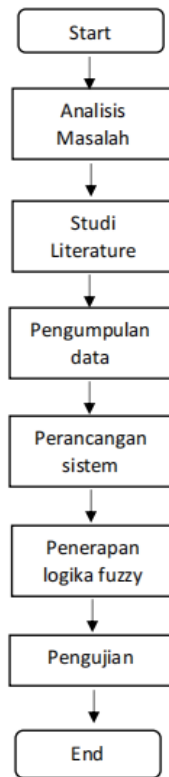
BAB III

KONSEP RANCANGAN

Pada Penelitian ini akan membuat sebuah sistem otomatisasi penyiraman, pengaturan pH dan pengaturan suhu serta monitoring berbasis *Internet of Things* pada *greenhouse* menggunakan logika *fuzzy*. Pada bab ke tiga ini yakni konsep rancangan yang akan membahas desain penelitian, desain sistem, kebutuhan sistem, penerapan metode, prosedur pelaksanaan penelitian dan rencana pengujian sistem.

3.1 Desain Penelitian

Pada suatu penelitian dibutuhkan suatu desain dalam penelitian yang akan dilakukan supaya dalam menjalankan penelitian yang akan dilakukan dapat lebih teratur. Adapun jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yang berarti analisis data yang digunakan dapat diukur. Berikut ini *flowchart* alur penelitiannya:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.1.1 Analisis Masalah

Analisis masalah dilakukan untuk mengetahui suatu permasalahan yang ada, Adapun hasil analisis masalah adalah ketidakefektifan suatu sistem pada *greenhouse* yang dilakukan secara manual khususnya dalam hal monitoring dan otomasi penyiraman, pengaturan pH dan pengaturan suhu. Berdasarkan hal tersebut, peneliti ingin membuat suatu sistem monitoring dan otomatisasi menggunakan bantuan *Internet of Things* yang didalamnya menggunakan metode *artificial intelligence* yakni metode *fuzzy*. Tujuannya adalah untuk mempermudah proses monitoring dan untuk

mengetahui tingkat akurasi sistem yang dibuat berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan logika *Fuzzy*.

3.1.2 Studi Literature

Tahap studi literature merupakan proses mengumpulkan referensi-referensi yang berhubungan dengan sistem monitoring, otomasi, *Internet of Things* (IoT) dan juga tentang logika *fuzzy*. Tujuan dari proses ini adalah untuk bahan acuan dan juga memperkuat penelitian yang dilakukan. Dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat peneliti gunakan sebagai data referensi yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Selain itu tahap ini sangat penting guna menambah wawasan dan juga pandangan untuk peneliti. Sehingga hasil dari penelitian ini dapat sesuai berdasarkan dengan tujuan yang telah disebutkan sebelumnya.

3.1.3 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan beberapa data di penelitian ini, diperoleh dari dua sumber data berikut ini:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung oleh peneliti dari penelitian yang dilakukan atau dari suatu objek penelitian yang diteliti. Data yang diperoleh yakni suhu, pH dari tanaman tomat dengan menggunakan sensor suhu dan pH. Kemudian dari data tersebut yang akan diolah pada proses berikutnya.

b. Data Sekunder

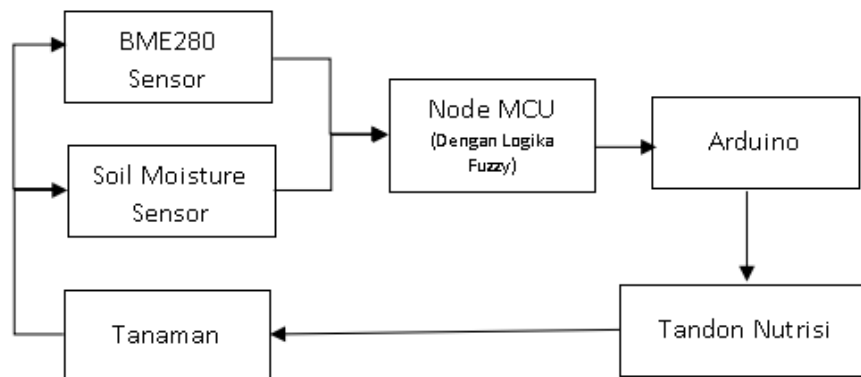
Data sekunder adalah data yang sifatnya sebagai pendukung, dan cara memperoleh juga secara tidak langsung atau dalam artian diperoleh dari jurnal dan penelitian-penelitian terkait. Adapun data yang diperoleh mengenai sistem otomasi, logika *fuzzy*, fungsi keanggotaan, serta kebutuhan air, suhu dan pH pada tanaman tomat yang ideal.

3.2 Desain Alur Sistem

Adapun desain alur sistem yang akan dibuat terbagi menjadi desain sistem penyiraman, desain sistem pengaturan pH, desain sistem pengaturan suhu, dan desain sistem transmisi data ke internet adapun desainnya sebagai berikut:

3.2.1 Desain Sistem Penyiraman

a. Dengan menggunakan logika *fuzzy*



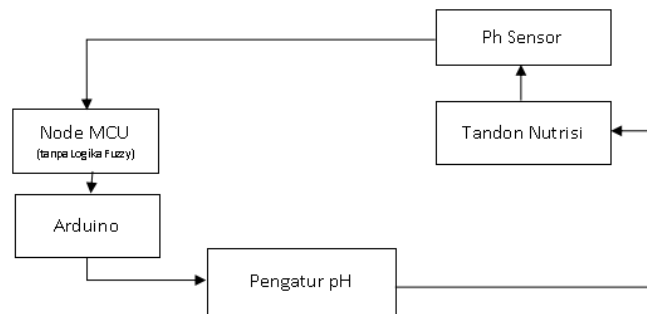
Gambar 3. 2 Desain Sistem Penyiraman dengan Menggunakan Logika *Fuzzy*

Soil Moisture Sensor mengambil data keadaan kelembaban media tanam. Secara bersamaan BME 280 Sensor mengambil data kelembaban udara dan suhu udara. Data-data tersebut kemudian diolah pada Node MCU menggunakan logika *fuzzy*

kemudian mengirimkan data output ke arduino, yang kemudian memberikan keputusan penyiraman pada tanaman.

3.2.2 Desain Sistem Pengaturan pH

a. Dengan menggunakan logika *fuzzy*

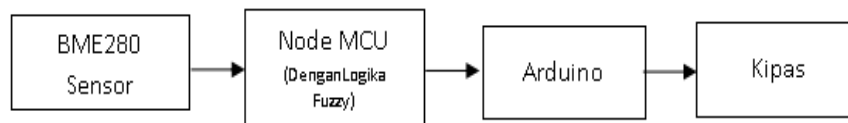


Gambar 3. 3 Desain Sistem Pengaturan pH Menggunakan Logika *Fuzzy*

pH Sensor mengambil data keasaman tandon nutrisi yang nantinya digunakan untuk menyiram tanaman dengan sistem drip. Data-data tersebut kemudian diolah pada Node MCU dengan menggunakan logika *fuzzy* yang kemudian mengirimkan data output ke arduino guna memberikan keputusan perubahan pH pada tanaman dengan cara mengatur pwm pompa larutan pengatur pH.

3.2.3 Desain Sistem Pengaturan Suhu

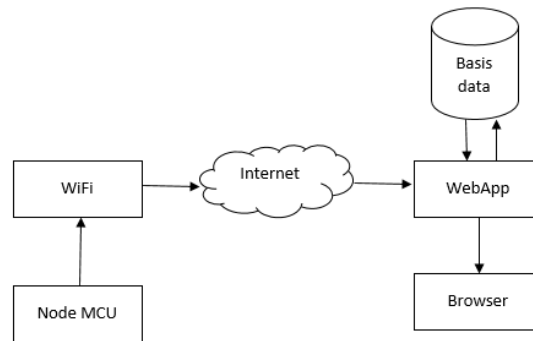
a. Dengan menggunakan logika *fuzzy*



Gambar 3. 4 Desain Sistem Pengaturan Suhu dengan Logika *Fuzzy*

Selain digunakan untuk sistem penyiraman, BME280 Sensor juga digunakan untuk mengambil data kelembaban udara dan suhu udara. Data-data tersebut kemudian diolah pada Node MCU dengan menggunakan logika *fuzzy* kemudian dikirimkan ke arduino, yang kemudian memberikan keputusan pengaturan suhu berupa menghidupkan maupun mematikan kipas berdasarkan hasil perhitungan logika *fuzzy*.

3.2.4 Desain Transmisi Data ke Internet



Gambar 3. 5 Desain Transmisi Data ke Internet

Data-data yang telah terbaca oleh node MCU kemudian dikirim dan diterima oleh webapp guna disimpan pada basis data melalui jaringan internet yang kemudian informasi yang telah diolah ditampilkan oleh *webapp* melalui *browser*.

Berdasarkan dari desain-desain sistem tersebut diatas, terdapat 2 cara yang digunakan yakni dengan menggunakan logika *fuzzy* dan tanpa menggunakan logika *fuzzy*, dan dapat disimpulkan bahwa terdapat kesamaan inputan, dan terdapat perbedaan saat pemrosesan data yakni dengan logika *fuzzy* dan tanpa menggunakan logika *fuzzy*, seperti pada sistem desain pada point a dan point b pada masing-masing

sub bab di atas, dari input dan proses tersebut akan dihasilkan suatu output, yang mana output dari menggunakan logika *fuzzy* dengan matlab akan dibandingkan.

3.3 Kebutuhan Sistem

Dalam pembuatan sistem ini tak terlepas dari *hardware* dan *software*, adapun sistem perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:

3.3.1 NodeMCU

NodeMCU atau *Node MicroController Unit* adalah perangkat keras yang memiliki fungsi menghubungkan antara arduino dengan *web server*. NodeMCU ini biasa disebut dengan ESP8266. ESP8266 diproduksi oleh Espressif Systems, yang berisi elemen penting dari komputer seperti CPU, RAM, jaringan (WiFi), dan bahkan sistem operasi dan SDK modern. Dikarenakan dalam NodeMCU terdapat WiFi, maka digunakan untuk membantu arduino dalam mengirim dan menyimpan data pada *database* yang kemudian ditampilkan dan diakses user di *website*. Hal tersebut menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk semua jenis proyek *Internet of Things (IoT)*.

3.3.2 Soil Moisture Sensor

Soil Moisture Sensor merupakan sensor yang digunakan mengukur kelembaban tanah saat ini. Sensor yang diintegrasikan ke dalam bantuan sistem irigasi dalam penjadwalan pasokan dan distribusi air jauh lebih efisien. Pengukur seperti itu membantu mengurangi atau meningkatkan irigasi untuk pertumbuhan tanaman yang

optimal. Dalam penggunaan sensor ini terdiri dari dua probe yang digunakan untuk mengukur volume air di dalam tanah. Kedua probe tersebut memungkinkan arus listrik melewati tanah dan mengukur tingkat kelembaban tanah menurut resistensinya. Ketika terdapat banyak air, tanah akan menghantarkan lebih banyak listrik, yang artinya resistansi akan berkurang, yang berarti tingkat kelembaban akan lebih tinggi. Sedangkan dalam kondisi tanah kering berarti mengurangi konduktivitas, sehingga mengakibatkan ketika air lebih sedikit maka tanah menghantarkan listrik lebih sedikit, yang berarti tingkat kelembaban akan lebih rendah.

3.3.3 BME 280 Sensor

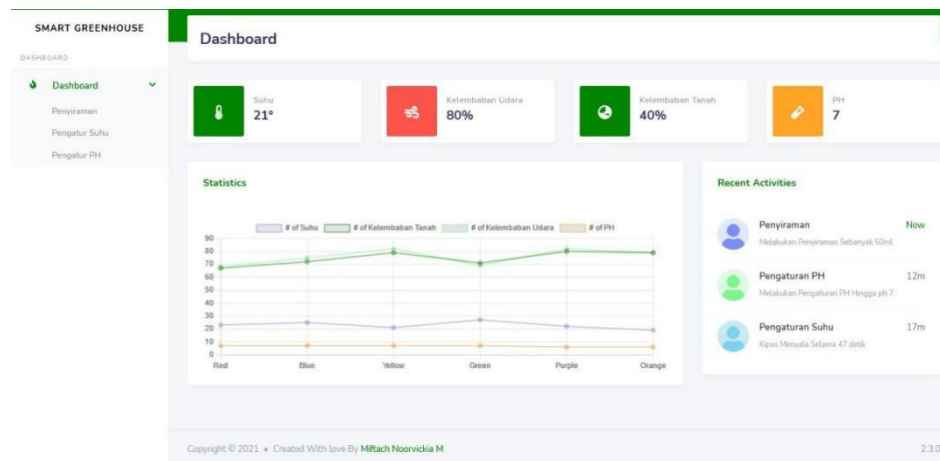
BME 280 merupakan sensor yang mengukur kelembaban, tekanan dan suhu yang mampu memberi pengguna pengukuran lingkungan yang komprehensif. Sensor kelembaban menawarkan waktu respons yang sangat cepat. Sensor ini memiliki fitur waktu respon yang cepat untuk mendukung kebutuhan performa dan juga akurasi yang tinggi. Sensor ini memiliki rentang tegangan 1,71 volt - 3,6 volt. Sensor ini mampu mengukur suhu dari -40°C hingga 85°C, dan kelembaban relatif 0 hingga 100% dan tekanan udara 300 hingga 1100 hPa.

3.3.4 Sensor pH

Sensor pH memiliki fungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan (pH) air yang mana keluarannya berupa tegangan analog. Sensor output range tegangan analognya antara 0 – 3Vdc dengan inputan power supply 3.3 – 5.5Vdc. Untuk mengukur pH larutan, probe dicelupkan ke dalam larutan.

3.3.5 Desain Interface

Adapun data yang telah didapatkan dan diolah dengan *fuzzy* kemudian disimpan dalam *database*, data-data tersebut akan ditampilkan dalam sebuah *website* dalam bentuk informasi mengenai penyiraman, suhu dan pH. Sistem monitoring ini berbasis *website* yang dapat dilihat aktivitasnya secara *realtime*. Penggunaan sistem monitoring pada *website* ini agar mudah di gunakan oleh para pengguna, sehingga tampilannya dirancang sedemikian rupa agar mudah digunakan. Adapun *desain interface* tampilan data monitoring di *website* adalah sebagai berikut:



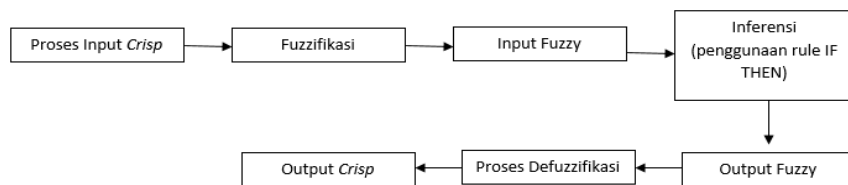
Gambar 3. 6 Desain *Interface* Tampilan data di *website*

3.4 Penerapan Metode

Metode dalam sistem otomatisasi ini adalah menggunakan logika *fuzzy* dan proses yang berjalan di dalamnya berdasar kepada hasil dari perhitungan *fuzzy* tersebut. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah kelembaban tanah, kelembaban udara, suhu, pH dan selisih pH. Pada masing-masing fitur akan menghasilkan sebuah output, seperti halnya pada fitur penyiraman maka outputnya

adalah delay waktu penyiraman, fitur suhu maka outputnya menyalakan dan mematikan akutaor kipas, dan pada fitur pH maka outputnya adalah mengatur PWM.. Proses pembuatan *Rule base* pada *fuzzy* ini adalah berupa *IF-THEN*, hasil defuzzifikasi diperoleh dengan mencari nilai rata-rata, adapun *outputnya* ini berupa konstanta.

Adapun proses penerapan *fuzzy* sebagai berikut :



Gambar 3. 7 Alur *fuzzy*

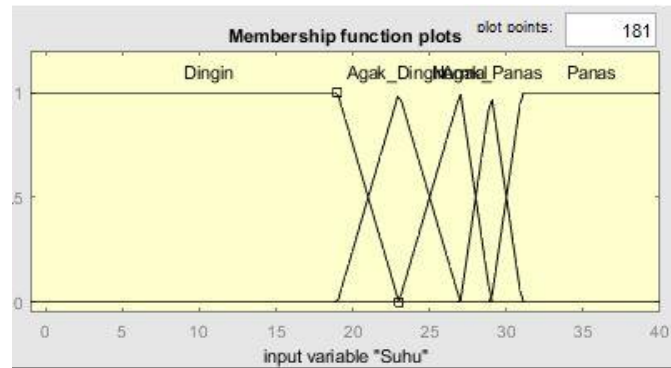
3.4.1 Fuzzifikasi

3.4.1.1 Penyiraman

Proses fuzzifikasi ini dilakukan untuk mendapat derajat keanggotaan, fungsi *membership* diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yang mana input yang digunakan adalah menggunakan dua parameter. Dalam hal ini adalah suhu udara serta kelembaban pada tanah. Parameter suhu memiliki lima variabel linguistik antara lain dingin, agak dingin, normal, agak panas, dan panas. Dan parameter kelembaban tanah memiliki tiga variabel linguistik, antara lain kering, lembab dan basah (Tajrie et al., 2017).

1. Variabel Suhu

Berikut adalah gambar *membership function* dari suhu udara pada fitur penyiraman:



Gambar 3. 8 *Membership function* suhu udara

Tiap variabel tersebut mempunyai jangkauan yang beragam. Adapun tabel nilai keanggotaan suhu sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Nilai pada *membership function* suhu udara

Variabel Linguistik	Nilai <i>membership function</i>
Dingin	0°C-23°C {bahu kiri: 0 19 23}
Agak Dingin	19°C-27°C {segitiga: 19 23 27}
Normal	23°C-29°C {segitiga: 23 27 29}
Agak Panas	27°C-31°C {segitiga: 27 29 31}
Panas	29°C-31°C {bahu kanan: 29 31 40}

Setelah mendapatkan nilai keanggotaan tersebut, kemudian dilakukan perhitungan fuzzifikasi.

Keanggotaan yang memiliki variabel lingustiknya berupa dingin adalah fungsi yang berbentuk bahu kiri pada kurvanya, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ atau } x > 23 \\ 1 & 0 \leq x \leq 19 \\ (23 - x)/(23 - 19); & 19 \leq x \leq 23 \end{cases}$$

Keanggotaan agak dingin merupakan fungsi dengan bentuk kurva segitiga, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq 19 \text{ atau } x \geq 27 \\ (x - 19)/(23 - 19); & 19 \leq x \leq 23 \\ (27 - x)/(27 - 23); & 23 \leq x \leq 27 \end{cases}$$

Keanggotaan normal merupakan fungsi dengan bentuk kurva segitiga, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq 23 \text{ atau } x \geq 29 \\ (x - 23)/(27 - 23); & 23 \leq x \leq 27 \\ (29 - x)/(29 - 27); & 27 \leq x \leq 29 \end{cases}$$

Keanggotaan agak panas merupakan fungsi dengan bentuk kurva segitiga, Adapun persamaannya sebagai berikut:

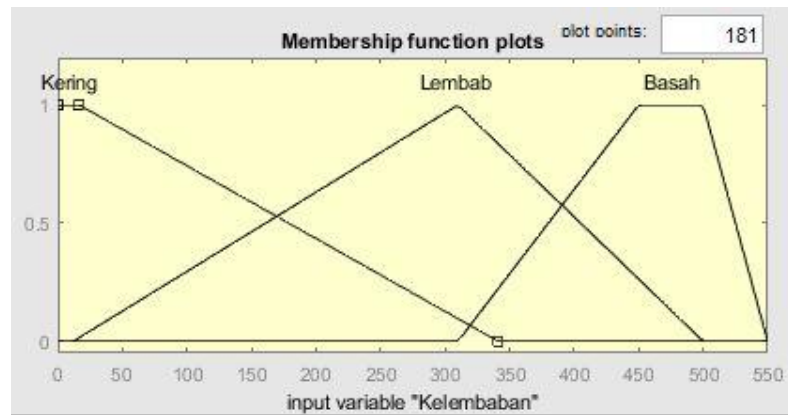
$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq 27 \text{ atau } x \geq 31 \\ (x - 27)/(29 - 27); & 27 \leq x \leq 29 \\ (31 - x)/(31 - 29); & 29 \leq x \leq 31 \end{cases}$$

Keanggotaan panas merupakan fungsi dengan bentuk bahu kanan, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 29 \\ (x - 29)/(31 - 29); & 29 \leq x \leq 31 \\ 1; & x \geq 31 \end{cases}$$

2. Variabel kelembaban tanah

Parameter selanjutnya adalah kelembaban tanah, dan berikut ini adalah *membership function* pada sensor kelembaban pada tanah:



Gambar 3. 9 *Membership function* kelembaban tanah

Dan masing-masing variabel dari parameter kelembaba tanah memiliki jangkauan dengan rata-rata sebesar 0 sampai 550 (ADC dari sensor kelembapan tanah). Adapun tabel nilai dari *membership*nya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Nilai pada *membership function* kelembaban tanah

Variabel Linguistik	Nilai pada fungsi keanggotaan
Kering	0-310 {bahu kiri: 0 15 310}
Lembab	12-500 {segitiga: 12 310 500}
Basah	310-550 {trapesium: 310 450 500 550}

Setelah mendapatkan nilai keanggotaan tersebut, kemudian dilakukan perhitungan fuzzifikasi. Keanggotaan yang memiliki variabel linguistiknya berupa kering adalah fungsi yang berbentuk bahu kiri pada kurvanya, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ atau } x > 310 \\ 1; & 0 \leq x \leq 15 \\ (310 - x)/(310 - 15); & 15 \leq x \leq 310 \end{cases}$$

Pada keanggotaan lembab menggunakan kurva dengan bentuk segitiga, adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

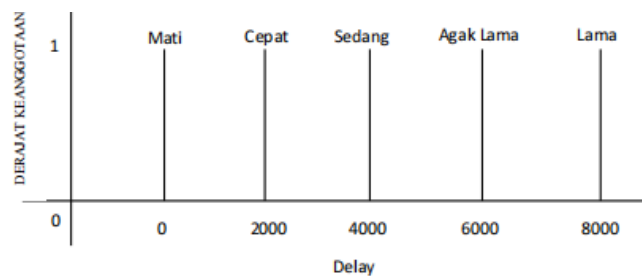
$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq 12 \text{ atau } x \geq 500 \\ (x - 12)/(310 - 12); & 12 \leq x \leq 310 \\ (500 - x)/(500 - 310); & 310 \leq x \leq 500 \end{cases}$$

Pada keanggotaan basah menggunakan kurva dengan bentuk trapesium, adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 300 \\ 1 & 450 \leq x \leq 500 \\ (x - 310)/(450 - 310); & 310 \leq x \leq 450 \\ (550 - x)/(550 - 500); & 500 \leq x \leq 550 \end{cases}$$

3. Variabel Delay Waktu

Variabel waktu ini adalah *output* pada fitur penyiraman yang memiliki input suhu udara dan kelembaban tanah tersebut diatas, waktu yang dimaksud dalam hal ini adalah lama delay penyiraman yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanaman dan inputan yang diterima. Fungsi keanggotaan output dari besar delay terdiri dari 5 variabel delay, yaitu mati, pelan, sedang, cepat dan sangat cepat. Satuan waktu dari delay tiap variable tersebut adalah milidetik. Pada fungsi keanggotaan output ini memiliki 1 titik sehingga menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dalam proses perhitungannya. Berikut ini adalah fungsi *membership* pada *output* waktu:

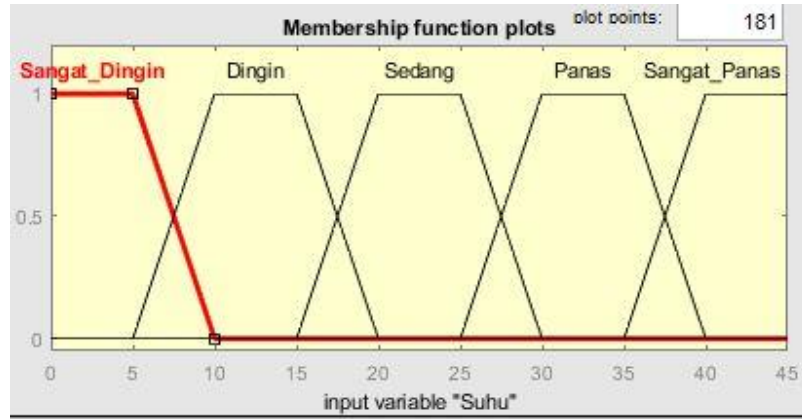


Gambar 3. 10 *membership function* waktu

3.4.1.2 Pengaturan Suhu

Pada sensor suhu menggunakan BME280, yang mana pada proses fuzzifikasi ini inputan dari BME280 diubah menjadi variabel *fuzzy*. Inputan dari BME280 ini berupa 2 parameter yakni suhu dan kelembaban. Pada parameter suhu dibagi menjadi

5 variabel linguistik yaitu, sangat dingin, dingin, sedang, panas, dan sangat panas. Berikut ini fungsi keanggotaan parameter suhu pada proses pengaturan suhu otomatis yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Kurniawan et al., 2019).



Gambar 3. 11 *Membership function suhu*

Setelah mendapatkan nilai keanggotaan tersebut, kemudian dilakukan perhitungan fuzzifikasi.

Keanggotaan sangat dingin merupakan fungsi dengan bentuk bahu kiri, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ atau } x > 10 \\ 1; & 0 \leq x \leq 5 \\ (10 - x)/(10 - 5); & 5 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

Pada keanggotaan dingin menggunakan kurva dengan bentuk trapesium, Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 5 \\ 1 & 9 \leq x \leq 15 \\ (x - 5)/(9 - 5); & 5 \leq x \leq 9 \\ (15 - x)/(15 - 9); & 15 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

Pada keanggotaan sedang menggunakan kurva dengan bentuk trapesium,

Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 15 \\ 1 & 20 \leq x \leq 25 \\ (x - 15)/(20 - 15); & 15 \leq x \leq 20 \\ (25 - x)/(25 - 20); & 25 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

Pada keanggotaan panas menggunakan kurva dengan bentuk trapesium,

Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

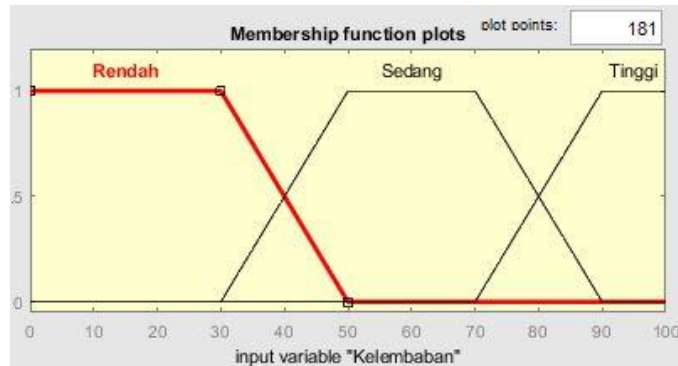
$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 25 \\ 1 & 30 \leq x \leq 35 \\ (x - 25)/(30 - 35); & 25 \leq x \leq 30 \\ (35 - x)/(35 - 30); & 35 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

Pada keanggotaan sangat panas menggunakan kurva dengan bentuk bahu

kanan, Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 35 \\ 1; & x \leq 40 \\ (35 - x)/(40 - 35); & 35 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

Adapun fungsi keanggotaan kelembaban pada pengaturan suhu adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 12 *Membership function* kelembaban udara

Pada fungsi keanggotaan tersebut terdiri dari 3 variable linguistik yaitu rendah, sedang dan tinggi. Adapun perhitungan fuzzifikasinya sebagai berikut:

Keanggotaan rendah merupakan fungsi dengan bentuk bahu kiri, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ atau } x > 50 \\ 1 & 0 \leq x \leq 30 \\ (50 - x)/(50 - 30); & 30 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

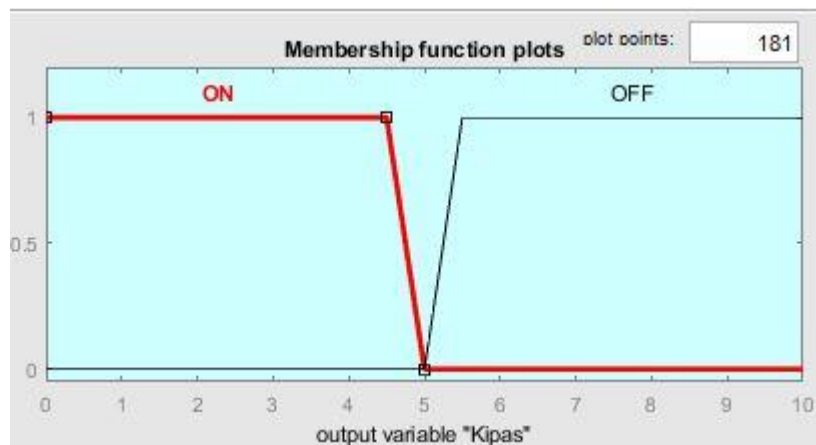
Pada keanggotaan sedang menggunakan kurva dengan bentuk trapesium, Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 30 \\ 1 & 50 \leq x \leq 70 \\ (x - 30)/(50 - 30); & 30 \leq x \leq 50 \\ (70 - x)/(70 - 50); & 70 \leq x \leq 90 \end{cases}$$

Keanggotaan tinggi merupakan fungsi dengan bentuk bahu kanan, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 70 \\ (x - 70)/(90 - 70); & 70 \leq x \leq 90 \\ 1; & x \geq 90 \end{cases}$$

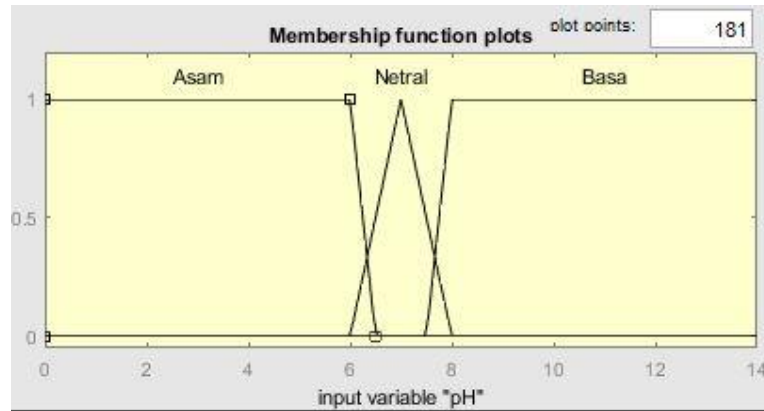
Dikarenakan otuput pada pengaturan suhu ini adalah menghidupkan dan mematikan akuator yang berupa kipas, maka berikut ini fungsi keanggotaan outputnya:



Gambar 3. 13 *Membership function* kipas

3.4.1.3 Pengaturan pH

Berikut ini merupakan fungsi keanggotaan dari proses pengaturan pH yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Pengaturan pH terdiri dari 2 input yakni parameter pH (hasil pembacaan sensor pH meter) dan ΔpH (selisih data pembacaan pH sekarang dan sebelumnya) yang mana parameter pH terdiri dari 3 variabel linguistik diantaranya adalah asam, netral dan basa (Alam & Nasuha, 2020).



Gambar 3. 14 *Membership function pH*

Adapun perhitungan fuzzifikasi pada fungsi keanggotaan pH adalah sebagai berikut:

Keanggotaan asam merupakan fungsi dengan bentuk bahu kiri, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < 0 \text{ atau } x > 6,5 \\ 1; & 0 \leq x \leq 6 \\ (6,5 - x)/(6,5 - 6); & 6 \leq x \leq 6,5 \end{cases}$$

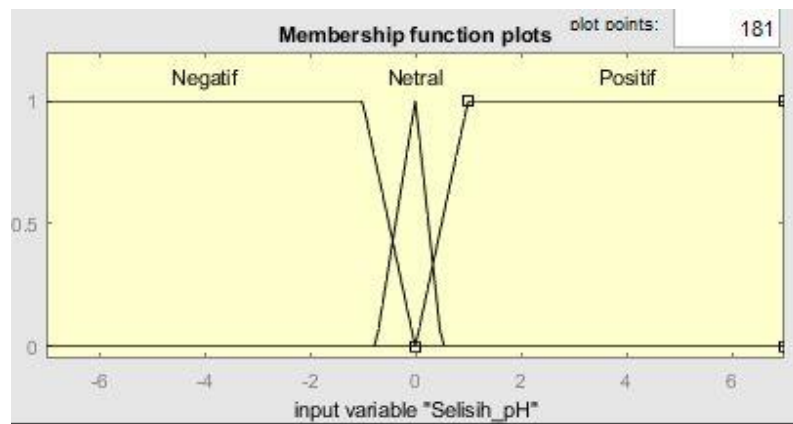
Pada keanggotaan netral menggunakan kurva dengan bentuk segitiga, Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq 6 \text{ atau } x \geq 8 \\ (x - 6)/(7 - 6); & 6 \leq x \leq 7 \\ (8 - x)/(8 - 7); & 7 \leq x \leq 8 \end{cases}$$

Keanggotaan basa merupakan fungsi dengan bentuk bahu kanan, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 7,5 \\ (x - 7,5)/(8 - 7,5); & 7,5 \leq x \leq 8 \\ 1; & x \geq 8 \end{cases}$$

Dan untuk parameter ΔpH memiliki 3 variabel linguistik yaitu negatif, netral dan positif. Berikut fungsi keanggotannya:



Gambar 3. 15 Membership function ΔpH

Membership yang memiliki variabel linguistik berupa negatif adalah sebuah fungsi yang berbentuk bahu kiri pada kurvanya, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < -6 \text{ atau } x > 0 \\ 1; & -6 \leq x \leq -1 \\ (0 - x)/(0 - (-1)); & -1 \leq x \leq 0 \end{cases}$$

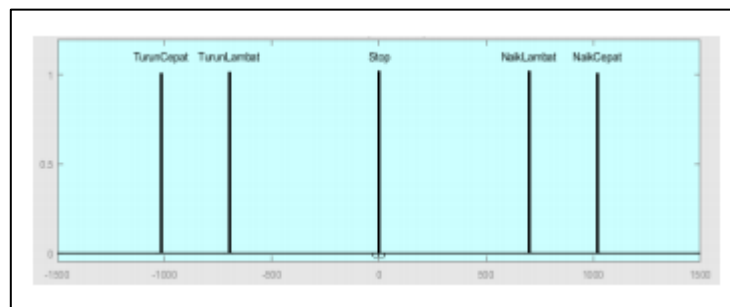
Pada keanggotaan netral menggunakan kurva dengan bentuk segitiga, Adapun bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x \leq -1 \text{ atau } x \geq 0,5 \\ (x - (-1))/(0 - (-1)); & -1 \leq x \leq 0 \\ (0,5 - x)/(0,5 - 0); & 0 \leq x \leq 0,5 \end{cases}$$

Keanggotaan positif merupakan fungsi dengan bentuk bahu kanan, Adapun persamaannya sebagai berikut:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0; & x < 0 \\ (x - 0)/(0,5 - 0); & 0 \leq x \leq 0,5 \\ 1; & x \geq 0,5 \end{cases}$$

Berikut rancangan *output* dalam pengaturan pH:



Gambar 3. 16 *Output* Pengaturan pH

3.4.2 Inferensi

3.4.2.1 Penyiramaan

Setelah menentukan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran, selanjutnya menentukan rules antara hasil dari sensor suhu dan sensor kelembaban tanah. *Fuzzy Rule* merupakan sebuah aturan yang akan menentukan output dari inputan yang diberikan.

Tabel 3. 3 *Rule Base*

Kelembaba	Dingin	Agak	Normal	Agak	Panas
Tanah		Dingin		Panas	
(KT)/ Suhu					
(S)					
Kering	Sedang	Sedang	Agak Lama	Agak Lama	Lama
Lembab	Cepat	Cepat	Sedang	Agak Lama	Agak Lama
Basah	Mati	Mati	Mati	Mati	Mati

Berdasarkan tabel tersebut 15 *rule* yang nantinya digunakan pada penelitian ini, antara lain:

(R1) *IF* Kelembaban Tanah *is* Kering *AND* Suhu Udara *is* Dingin *THEN Delay is* Sedang

(R2) *IF* Kelembaban Tanah *is* Kering *AND* Suhu Udara *is* Agak Dingin *THEN Delay is* Sedang

(R3) *IF* Kelembaban Tanah *is* Kering *AND* Suhu Udara *is* Normal *THEN Delay is* Agak Lama

(R4) *IF Kelembaban Tanah is Kering AND Suhu Udara is Agak Panas THEN Delay is Agak Lama*

(R5) *IF Kelembaban Tanah is Kering AND Suhu Udara is Panas THEN Delay is Lama*

(R6) *IF Kelembaban Tanah is Lembab AND Suhu Udara is Dingin THEN Delay is Cepat*

(R7) *IF Kelembaban Tanah is Lembab AND Suhu Udara is Agak Dingin THEN Delay is Cepat*

(R8) *IF Kelembaban Tanah is Lembab AND Suhu Udara is Normal THEN Delay is Sedang*

(R9) *IF Kelembaban Tanah is Lembab AND Suhu Udara is Agak Panas THEN Delay is Agak Lama*

(R10) *IF Kelembaban Tanah is Lembab AND Suhu Udara is Panas THEN Delay is Agak Lama*

(R11) *IF Kelembaban Tanah is Basah AND Suhu Udara is Dingin THEN Delay is Mati*

(R12) *IF Kelembaban Tanah is Basah AND Suhu Udara is Agak Dingin THEN Delay is Mati*

(R13) *IF Kelembaban Tanah is Basah AND Suhu Udara is Normal THEN Delay is Mati*

(R14) *IF Kelembaban Tanah is Basah AND Suhu Udara is Agak Panas THEN Delay is Mati*

(R15) *IF Kelembaban Tanah is Basah AND Suhu Udara is Panas THEN Delay is Mati*

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah penentuan implikasi pada masing-masing *rule* tersebut, yang mana dalam hal ini operasi AND yang digunakan, maka

pada tiap aturan akan dicari nilai minimum untuk “and” dari setiap hasil masukannya.

Dan berikut ini persamaan dari operasi logika *fuzzy* AND:

$$\mu A \cap B = \text{MIN}(\mu A[x], \mu B[y])$$

Adapun berikut ini merupakan perhitungan dari operasi logika *fuzzy* AND dengan menggunakan inputan suhu 30 dan kelembaban dengan nilai 100, yang mana suhu masuk keanggotaan agak panas dan panas serta nilai kelembaban masuk dalam kategori keanggotaan kering dan lembab. Sehingga rule base yang sesuai adalah R4, R5, R9, R10. Rule-rule tersebut akan dihitung menggunakan rumus implikasi yang tersebut diatas, Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

R4 *IF* Kelembaban Tanah *is* Kering *AND* Suhu Udara *is* Agak Panas *THEN Delay is* Agak Lama

$$R4 = \mu_{\text{SuhuUdara}} \cap \mu_{\text{KelembabanTanah}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{agakpanas}}[30], \mu_{\text{kering}}[100])$$

$$= \text{MIN}(0,5, 0.71)$$

$$= 0,5$$

R5 *IF* Kelembaban Tanah *is* Kering *AND* Suhu Udara *is* Panas *THEN Delay is* Lama

$$R5 = \mu_{\text{SuhuUdara}} \cap \mu_{\text{KelembabanTanah}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{panas}}[30], \mu_{\text{kering}}[100])$$

$$= \text{MIN}(0,5, 0.71)$$

$$= 0,5$$

R9 *IF* Kelembaban Tanah *is* Lembab *AND* Suhu Udara *is* Agak Panas *THEN* Delay *is*

Agak Lama

$$R9 = \mu_{\text{SuhuUdara}} \cap \mu_{\text{KelembabanTanah}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{agakpanas}}[30], \mu_{\text{lembab}}[100])$$

$$= \text{MIN}(0,5, 0.29)$$

$$= 0,29$$

R10 *IF* Kelembaban Tanah *is* Lembab *AND* Suhu Udara *is* Panas *THEN* Delay *is* Agak

Lama

$$R10 = \mu_{\text{SuhuUdara}} \cap \mu_{\text{KelembabanTanah}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{panas}}[30], \mu_{\text{lembab}}[100])$$

$$= \text{MIN}(0,5, 0.29)$$

$$= 0,29$$

3.4.2.2 Pengaturan Suhu

Adapun rule base pada proses pengaturan suhu berdasarkan fungsi keanggotaan pada proses fuzzifikasi adalah sebagai berikut, perlu diketahui bahwasanya suhu yang dimaksud pada rule berikut adalah suhu udara dan kelembaban yang dimaksud adalah kelembaban udara, berikut ini *rule* yang digunakan:

(R1) *IF* Suhu Udara *is* Sangat Dingin *AND* Kelembaban *is* Tinggi *THEN* Kipas *is* Off

(R2) *IF* Suhu *is* Sangat Dingin *AND* Kelembaban *is* Sedang *THEN* Kipas *is* OFF

(R3) *IF* Suhu *is* Sangat Dingin *AND* Kelembaban *is* Rendah *THEN* Kipas *is* ON

- (R4) *IF Suhu is Dingin AND Kelembaban is Tinggi THEN Kipas is OFF*
- (R5) *IF Suhu is Dingin AND Kelembaban is Sedang THEN Kipas is OFF*
- (R6) *IF Suhu is Dingin AND Kelembaban is Rendah THEN Kipas is ON*
- (R7) *IF Suhu is Sedang AND Kelembaban is Tinggi THEN Kipas is OFF*
- (R8) *IF Suhu is Sedang AND Kelembaban is Sedang THEN Kipas is OFF*
- (R9) *IF Suhu is Sedang AND Kelembaban is Rendah THEN Kipas is ON*
- (R10) *IF Suhu is Panas AND Kelembaban is Tinggi THEN Kipas is ON*
- (R11) *IF Suhu is Panas AND Kelembaban is Sedang THEN Kipas is ON*
- (R12) *IF Suhu is Panas AND Kelembaban is Rendah THEN Kipas is ON*
- (R13) *IF Suhu is Sangat Panas AND Kelembaban is Tinggi THEN Kipas is ON*
- (R14) *IF Suhu is Sangat Panas AND Kelembaban is Sedang THEN Kipas is ON*
- (R15) *IF Suhu is Sangat Panas AND Kelembaban is Rendah THEN Kipas is ON*

Adapun berikut ini merupakan perhitungan dari operasi logika *fuzzy AND* dengan menggunakan inputan suhu 27 dan kelembaban dengan nilai 40, yang mana suhu masuk keanggotaan sedang dan panas serta nilai kelembaban masuk dalam kategori keanggotaan rendah dan sedang. Sehingga rule base yang sesuai adalah R8, R9, R11, R12. Rule-rule tersebut akan dihitung menggunakan rumus implikasi:

$$\mu A \cap B = \text{MIN}(\mu A[x], \mu B[y]),$$

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

R8 *IF Suhu is Sedang AND Kelembaban is Sedang THEN Kipas is OFF*

$$\begin{aligned} R8 &= \mu_{\text{Suhu}} \cap \mu_{\text{Kelembaban}} \\ &= \text{MIN}(\mu_{\text{sedang}}[27], \mu_{\text{kelembaban}}[40]) \end{aligned}$$

$$= \text{MIN} (-0,4 , 0.5)$$

$$= -0,4$$

R9 *IF* Suhu *is* Sedang *AND* Kelembaban *is* Rendah *THEN* Kipas *is* ON

$$R9 = \mu_{\text{Suhu}} \cap \mu_{\text{Kelembaban}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{sedang}}[27], \mu_{\text{rendah}} [40])$$

$$= \text{MIN} (-0,4 , 0.5)$$

$$= -0,4$$

R11 *IF* Suhu *is* Panas *AND* Kelembaban *is* Sedang *THEN* Kipas *is* ON

$$R11 = \mu_{\text{Suhu}} \cap \mu_{\text{Kelembaban}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{panas}}[27], \mu_{\text{sedang}} [40])$$

$$= \text{MIN} (1,6 , 0.5)$$

$$= 0,5$$

R12 *IF* Suhu *is* Panas *AND* Kelembaban *is* Rendah *THEN* Kipas *is* ON

$$R12 = \mu_{\text{Suhu}} \cap \mu_{\text{Kelembaban}}$$

$$= \text{MIN}(\mu_{\text{panas}}[27], \mu_{\text{rendah}} [40])$$

$$= \text{MIN} (1,6 , 0.5)$$

$$= 0,5$$

3.4.2.3 Pengaturan pH

Adapun rule base pada proses pengaturan pH berdasarkan fungsi keanggotaan pada proses fuzzifikasi adalah sebagai berikut:

- (R1) *IF* pH is Asam *AND* ΔpH is Positif *THEN* Output is naik cepat
- (R2) *IF* pH is Netral *AND* ΔpH is Positif *THEN* Output is naik lambat
- (R3) *IF* pH is Basa *AND* ΔpH is Positif *THEN* Output is turun cepat
- (R4) *IF* pH is Asam *AND* ΔpH is Netral *THEN* Output is naik cepat
- (R5) *IF* pH is Netral *AND* ΔpH is Netral *THEN* Output is stop
- (R6) *IF* pH is Basa *AND* ΔpH is Netral *THEN* Output is turun cepat
- (R7) *IF* pH is Asam *AND* ΔpH is Negatif *THEN* Output is naik cepat
- (R8) *IF* pH is Netral *AND* ΔpH is Negatif *THEN* Output is turun lambat
- (R9) *IF* pH is Basa *AND* ΔpH is Negatif *THEN* Output is turun cepat

Adapun berikut ini merupakan perhitungan dari operasi logika *fuzzy AND* dengan menggunakan inputan pH 7,2 dan ΔpH dengan nilai 3, yang mana pH masuk keanggotaan netral serta nilai ΔpH masuk dalam kategori positif. Sehingga rule base yang sesuai adalah R2. Rule tersebut akan dihitung menggunakan rumus implikasi:

$$\mu A \cap B = \text{MIN}(\mu A[x], \mu B[y]),$$

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

R2 *IF* pH is Netral *AND* ΔpH is Positif *THEN* Output is naik lambat

$$\begin{aligned} R2 &= \mu_{\text{pH}} \cap \mu_{\Delta\text{pH}} \\ &= \text{MIN}(\mu_{\text{netral}}[7,2], \mu_{\text{positif}}[3]) \\ &= \text{MIN}(0,8, 1) \\ &= 0,8 \end{aligned}$$

3.4.3 Defuzzifikasi

Selanjutnya proses terakhir pada logika *fuzzy* yaitu defuzzifikasi. Defuzzifikasi adalah suatu proses yang mengubah nilai, dari nilai *fuzzy* menjadi nilai tegas. Dalam penelitian ini metode *fuzzy* yang digunakan adalah menggunakan metode centroid, yang mana metode ini menggabungkan semua daerah *fuzzy* pada proses sebelumnya dan kemudian mengintegrasikan fungsi keanggotaan dari masing-masing rule. Kali ini sebagai contoh kami akan focus membahas 1 proses defuzzifikasi pada bagian penyiraman yang mana inputnya adalah suhu dan kelembaban. Adapun proses perhitungan defuzzifikasi dengan menggunakan metode centroid adalah sebagai berikut:

Berdasarkan perhitungan pada Langkah sebelumnya yakni Langkah inferensi pada bagian penyiraman maka hasilnya menuju pada rule 4, rule 5, rule 9 dan rule 10 yang kemudian menentukan nilai titik potong pada daerah implikasi daerah rule tersebut.

1. Titik potong $a_1 =$

$$\alpha = \frac{x - 4000}{6000 - 4000}$$

$$0,5 = \frac{x - 4000}{2000}$$

$$x = 5000$$

2. Titik potong $a_2 =$

$$\alpha = \frac{8000 - x}{8000 - 6000}$$

$$0,5 = \frac{8000 - x}{2000}$$

$$x = 7000$$

3. Titik potong a3=

$$\alpha = \frac{x - 4000}{6000 - 4000}$$

$$0,29 = \frac{x - 4000}{2000}$$

$$x = 4580$$

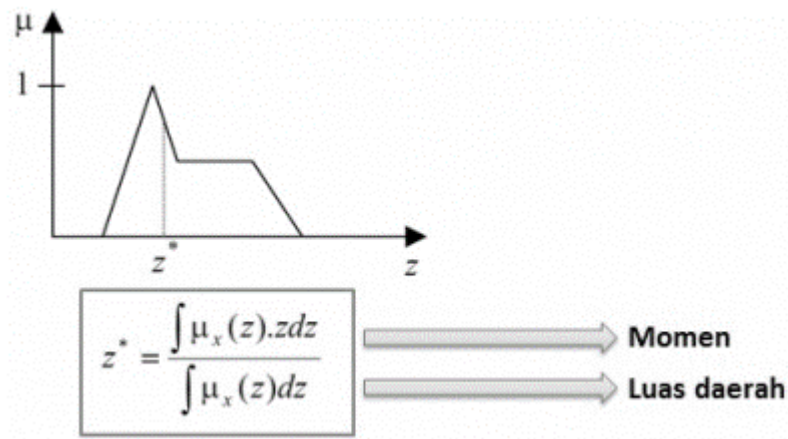
4. Titik potong a4=

$$\alpha = \frac{8000 - x}{8000 - 6000}$$

$$0,29 = \frac{8000 - x}{2000}$$

$$x = 7420$$

Setelah mendapatkan nilai titik diatas Langkah selanjutnya adalah menghitung luas dari setiap daerah implikasi, kemudian setelah mengetahui luas daerah-daerah tersebut dilanjut dengan menghitung moment dari setiap daerah untuk mengetahui hasil dari defuzzifikasi, berdasarkan rumus defuzzifikasi sebagai berikut:



Gambar 3. 17 Rumus Centroid

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan luas dan moment Langkah selanjutnya adalah menerapkan rumus centroid tersebut untuk menghasilkan output dari proses defuzzifikasi dengan rumus output sebagai berikut:

$$Output = \frac{M1 + M2 \dots Mi}{L1 + L2 \dots Li}$$

Dari perhitungan moment yang sudah didapatkan dan ditotalkan kemudian di bagi dengan hasil perhitungan total luas, sehingga didapatkan output dari proses terakhir dari metode *fuzzy* ini yakni defuzzifikasi.

3.5 Rencana Pengujian Sistem

Pengujian pada sistem ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari output otomatisasi penyiraman, suhu, dan pH yang didapatkan dengan logika *fuzzy* pada mikrokontroller dibandingkan dengan output pada hasil di matlab. Pengujian ini dilakukan pada data yang diperoleh selama 2 hari dengan interval pembacaan selama 15 menit, dengan data yang diperoleh untuk masing-masing fitur (pengaturan

penyiraman, suhu dan pH) adalah sebanyak 168 data. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui tingkat keerroran output, dan keakuratan dari sistem logika *fuzzy* pada perangkat yang telah dirancang, dengan nilai pembandingnya adalah output pada perhitungan matlab. Tingkat akurasi diketahui dengan melakukan perhitungan menggunakan *confussion matrix* pada masing-masing fitur yang diuji. Adapun tabel rancangan pengujiannya sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Rancangan pengujian pada fitur penyiraman

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
			Mikrokontroller	Matlab		Mikrokontroller	Matlab
	Suhu	Kelembaban					
1							
2							

Tabel 3. 5 Rancangan pengujian pada fitu suhu

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
			Mikrokontroller	Matlab		Mikrokontroller	Matlab
	Suhu	Kelembaban					
1							
2							

Tabel 3. 6 Rancangan pengujian pada fitur pH

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
			Mikrokontroller	Matlab		Mikrokontroller	Matlab
	pH	Selisih pH					
1							
2							

Dari hasil pengujian tersebut, kemudian dilanjutkan dengan menghitung tingkat akurasi per fitur pada sistem yang telah dibuat, adapun perhitungan akurasi menggunakan *confussion matrix* sebagai berikut:

Tabel 3. 7 *Confussion Matrix*

		predicted	
		False	True
Actual	False	TN	FP
	True	FN	TP

Keterangan:

TN = True Negatif

FN = False Negatif

FP = False Positif

TP = True Positif

Pada *confussion matrix* dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai akurasi, adapun akurasi adalah tingkat kedekatan antara nilai aktual dan dengan nilai prediksi guna mengevaluasi kinerja dari algoritma. Adapun rumus akurasi nya sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

3.6 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini berhubungan dengan objek penelitian yakni tanaman tomat pada *greenhouse*, oleh karena itu dibutuhkan suatu prosedur dalam

penelitian agar hasil maksimal dan terhindar dari hal-hal yang tidak diinginkan.

Adapun prosedur pelaksanaannya sebagai berikut:

3.6.1 Penanaman Tanaman Tomat

Bibit yang ditanam merupakan bibit yang memiliki kondisi dan kualitas yang baik, setelah bibit tumbuh kurang lebih selama 2 minggu, bibit dipindahkan pada tempat yang semestinya pada *greenhouse*. Dengan memperhatikan aspek sinar matahari yang cukup.

3.6.2 Perawatan Tanaman

Perawatan tanaman dilakukan guna untuk memantau kondisi tanaman dan memastikan tanaman dalam keadaan aman terhindar dari hama dan organisme yang tidak baik untuk tanaman. Hal ini dilakukan pengecekan selama 2-3 hari sekali.

3.6.3 Pengamatan dan Pengambilan Data

Pengamatan dilakukan secara berkala untuk memastikan sistem berjalan dengan baik, kemudian pengambilan data ini merupakan proses yang penting dikarenakan data-data tersebut akan diolah menggunakan logika *fuzzy*, adapun data yang diambil untuk proses otomatisasi penyiraman adalah data kelembaban dan suhu, selain itu data untuk pengaturan pH dan suhu juga diperlukan untuk pengaturan otomatis pada *greenhouse*.

BAB IV

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Dalam penelitian yang dilakukan ini, fokus pengujian yang penulis lakukan adalah berfokus pada pengujian sistem menggunakan logika *fuzzy* dan output pada matlab, yang mana pengujian ini digunakan untuk mengetahui keakuratan sistem yang telah dibuat dengan menggunakan logika *fuzzy*. Pengujian ini dilakukan dengan pengamatan selama 2 hari kalender dan interval pembacaan data per 15 menit, untuk memperoleh sejumlah 168 data, dengan jumlah tanaman tomat sebanyak 4 tanaman yang telah dirancang sedemikian rupa pada miniatur *greenhouse*. Adapun hasil pengujannya akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya ini.

4.1.1 Pengujian Sistem Menggunakan Logika *Fuzzy*

4.1.1.1 Pengaturan Penyiraman

Hasil pengujian yang dilakukan dalam pengaturan penyiraman menggunakan logika *fuzzy* sebagaimana dalam tabel berikut ini, yang mana inputan terdiri dari 2 yakni suhu dan kelembaban tanah, pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan logika *fuzzy* yang akan menghasilkan sebuah output pada pengaturan penyiraman sesuai berdasarkan pada penjelasan pada bab sebelumnya. Dari hasil pengujian ini dengan logika *fuzzy* ini kemudian akan dibandingkan dengan output pada matlab, sehingga tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini akan didapatkan.

Berikut ini hasil dari pengujian sistem pada pengaturan penyiraman:

Tabel 4. 1 Pengujian Sistem menggunakan *Fuzzy* pada penyiraman

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
	Suhu	Kelembaban Tanah	Mikrokontroller (Arduino)	Matlab		Arduino	Matlab
1	25.7	243	3865.38	3840	0.91%	Sedang	Sedang
2	27.24	147	5272.59	5100	3.27%	Agak Lama	Agak Lama
3	28.75	542	0	0	0%	Mati	Mati
4	29.93	611	0	0	0%	Mati	Mati
5	30.5	667	0	0	0%	Mati	Mati
6	31.66	679	0	0	0%	Mati	Mati
7	33.69	697	0	0	0%	Mati	Mati
8	34.5	703	0	0	0%	Mati	Mati
9	35.53	706	0	0	0%	Mati	Mati
10	35.75	704	0	0	0%	Mati	Mati
11	33.22	698	0	0	0%	Mati	Mati
12	31.12	677	0	0	0%	Mati	Mati
13	30.59	680	0	0	0%	Mati	Mati
14	31.97	682	0	0	0%	Mati	Mati
15	32.51	680	0	0	0%	Mati	Mati
16	32.25	677	0	0	0%	Mati	Mati
17	30.83	670	0	0	0%	Mati	Mati
18	29.69	660	0	0	0%	Mati	Mati
19	28.78	657	0	0	0%	Mati	Mati
20	24.88	22	4817.99	4840	0.46%	Sedang	Sedang
21	22.93	92	3451.37	3470	0,54%	Sedang	Sedang
22	23.43	19	4160.48	4160	0,01%	Sedang	Sedang
23	23.41	494	178.22	197	10,54%	Mati	Mati
24	23.2	467	447.31	466	4,18%	Mati	Mati
25	23.09	443	532.82	542	1,72%	Mati	Mati
26	23.04	451	438.36	436	0,83%	Mati	Mati
27	22.97	497	45.52	31,3	9,49%	Mati	Mati
28	22.9	469	316.72	287	9,38%	Mati	Mati
29	22.83	521	0	0	0%	Mati	Mati
30	22.75	395	957.57	953	0,48%	Mati	Mati

31	22.71	507	0	0	0%	Mati	Mati
32	22.7	459	450.56	378	16,10%	Mati	Mati
33	22.64	428	669.06	620	7,33%	Mati	Mati
34	22.61	394	968.88	964	0,50%	Mati	Mati
35	22.55	483	303.57	186	38,73%	Mati	Mati
36	22.45	422	737.82	678	8,11%	Mati	Mati
37	22.32	488	224.3	141	37,14%	Mati	Mati
38	22.16	491	173.08	113	34,71%	Mati	Mati
39	21.83	514	0	0	0%	Mati	Mati
40	21.73	477	389.83	301	22,79%	Mati	Mati
41	21.66	447	716.22	601	16,09%	Mati	Mati
42	21.58	477	389.83	316	18,94%	Mati	Mati
43	21.55	477	389.83	319	18,17%	Mati	Mati
44	21.54	491	173.08	139	19,69%	Mati	Mati
45	21.52	494	118.81	95,5	19,62%	Mati	Mati
46	21.51	480	347.83	287	17,49%	Mati	Mati
47	21.55	485	272.73	220	19,33%	Mati	Mati
48	21.57	482	318.58	257	19,33%	Mati	Mati
49	21.54	516	0	0	0%	Mati	Mati
50	21.49	489	207.55	170	18,09%	Mati	Mati
51	21.38	489	207.55	177	14,72%	Mati	Mati
52	21.31	493	137.25	120	12,57%	Mati	Mati
53	21.31	458	613.14	554	9,65%	Mati	Mati
54	21.39	491	173.08	147	15,07%	Mati	Mati
55	21.53	501	0	0	0%	Mati	Mati
56	21.73	467	515.62	406	21,26%	Mati	Mati
57	22.05	488	224.3	155	30,90%	Mati	Mati
58	22.61	487	240.74	141	41,43%	Mati	Mati
59	23.34	546	0	0	0%	Mati	Mati

60	23.73	554	0	0	0%	Mati	Mati
61	24.26	465	807.69	1050	30%	Mati	Cepat
62	24.86	395	1465	1910	30,38%	Cepat	Cepat
63	25.74	338	2407.14)	2810	16,74%	Cepat	Cepat
64	26.22	10	5610	5610	0%	Agak Lama	Agak Lama
65	26.84	25	5698.01	5760	1,09%	Agak Lama	Agak Lama
66	27.52	518	0	0	0%	Mati	Mati
67	28.02	524	0	0	0%	Mati	Mati
68	29.03	0	6030	6030	0%	Agak Lama	Agak Lama
69	29.32	0	6320	6320	0%	Agak Lama	Agak Lama
70	29.3	0	6300	6300	0%	Agak Lama	Agak Lama
71	30.15	0	7150	7150	0%	Lama	Lama
72	30.98	0	7980	7980	0%	Lama	Lama
73	30.06	510	0(mati)	0	0%	Mati	Mati
74	29.26	511	0(mati)	0	0%	Mati	Mati
75	28.41	554	0(mati)	0	0%	Mati	Mati
76	27.87	471	1169.35	1690	44,52%	Cepat	Cepat
77	27.18	510	0	0	0%	Mati	Mati
78	26.48	502	0	0	0%	Mati	Mati
79	25.89	500	0	0	0%	Mati	Mati
80	25.52	480	521.74	751	43,94%	Mati	Mati
81	25.24	488	336.45	552	64,07%	Mati	Mati
82	25.08	502	0	0	0%	Mati	Mati
83	24.96	502	0	0	0%	Mati	Mati
84	24.85	504	0	0	0%	Mati	Mati
85	24.75	506	0	0	0%	Mati	Mati
86	24.65	507	0	0	0%	Mati	Mati
87	24.62	503	0	0	0%	Mati	Mati
88	24.63	454	978.72	1350	37,94%	Mati	Cepat
89	24.69	453	992.96	1380	38,98%	Mati	Cepat
90	24.66	455	964.29	1340	38,96%	Mati	Cepat

91	24.62	478	564.1	840	48,91%	Mati	Mati
92	24.61	525	0	0	0%	Mati	Mati
93	24.54	558	0	0	0%	Mati	Mati
94	24.42	523	0	0	0%	Mati	Mati
95	24.26	565	0	0	0%	Mati	Mati
96	24.15	509	0	0	0%	Mati	Mati
97	24.02	509	0	0	0%	Mati	Mati
98	23.89	503	0	0	0%	Mati	Mati
99	23.79	566	0	0	0%	Mati	Mati
100	23.71	526	0	0	0%	Mati	Mati
101	23.64	510	0	0	0%	Mati	Mati
102	23.59	527	0	0	0%	Mati	Mati
103	23.54	510	0	0	0%	Mati	Mati
104	23.51	543	0	0	0%	Mati	Mati
105	23.48	480	521.74	579	10,97%	Mati	Mati
106	23.41	526	0	0	0%	Mati	Mati
107	23.31	511	0	0	0%	Mati	Mati
108	23.22	521	0	0	0%	Mati	Mati
109	23.16	511	0	0	0%	Mati	Mati
110	23.1	526	0	0	0%	Mati	Mati
111	23.03	510	0	0	0%	Mati	Mati
112	22.96	524	0	0	0%	Mati	Mati
113	22.87	492	138.85	84,9	38,85%	Mati	Mati
114	22.77	491	173.08	97,4	43,73%	Mati	Mati
115	22.67	478	330.95	228	31,11%	Mati	Mati
116	22.58	509	0	0	0%	Mati	Mati
117	22.53	511	0	0	0%	Mati	Mati
118	22.46	510	0	0	0%	Mati	Mati
119	22.38	511	0	0	0%	Mati	Mati
120	22.33	523	0	0	0%	Mati	Mati
121	22.24	566	0	0	0%	Mati	Mati
122	22.14	507	0	0	0%	Mati	Mati
123	22.05	566	0	0	0%	Mati	Mati
124	22.01	509	0	0	0%	Mati	Mati
125	21.96	500	0	0	0%	Mati	Mati
126	21.9	513	0	0	0%	Mati	Mati

127	21.82	489	207.55	152	26,76%	Mati	Mati
128	21.73	536	0	0	0%	Mati	Mati
129	21.72	562	0	0	0%	Mati	Mati
130	21.87	511	0	0	0%	Mati	Mati
131	21.38	515	0	0	0%	Mati	Mati
132	21.33	445	733.33	664	9,45%	Mati	Mati
133	21.26	502	0	0	0%	Mati	Mati
134	21.32	479	362.07	320	11,62%	Mati	Mati
135	21.5	515	0	0	0%	Mati	Mati
136	21.86	555	0	0	0%	Mati	Mati
137	22.34	501	0	0	0%	Mati	Mati
138	22.91	498	41.24	21,3	48,35%	Mati	Mati
139	23.4	500	0	0	0%	Mati	Mati
140	23.87	502	0	0	0%	Mati	Mati
141	24.44	502	0	0	0%	Mati	Mati
142	25.25	502	0	0	0%	Mati	Mati
143	26.29	489	311.32	370	18,85%	Mati	Mati
144	26.65	504	0	0	0%	Mati	Mati
145	27.02	505	0	0	0%	Mati	Mati
146	27.33	509	0	0	0%	Mati	Mati
147	27.45	525	0	0	0%	Mati	Mati
148	28	506	0	0	0%	Mati	Mati
149	28.65	540	0	0	0%	Mati	Mati
150	29.65	514	0	0	0%	Mati	Mati
151	30.24	494	356.44	291	18,36%	Mati	Mati
152	30.71	512	0	0	0%	Mati	Mati
153	31.38	526	0	0	0%	Mati	Mati
154	31.97	509	0	0	0%	Mati	Mati
155	32.46	0	8000	8000	0%	Lama	Lama
156	32.84	0	8000	8000	0%	Lama	Lama
157	33.14	504	0	0	0%	Mati	Mati
158	33.45	0	8000	8000	0%	Lama	Lama
159	33.4	543	0	0	0%	Mati	Mati
160	33.22	502	0	0	0%	Mati	Mati
161	33.2	505	0	0	0%	Mati	Mati

162	33.2	503	0	0	0%	Mati	Mati
163	33.47	503	0	0	0%	Mati	Mati
164	33.82	505	0	0	0%	Mati	Mati
165	34.32	504	0	0	0%	Mati	Mati
166	35.34	521	0	0	0%	Mati	Mati
167	35.84	502	0	0	0%	Mati	Mati
168	36.35	503	0	0	0%	Mati	Mati

Tabel tersebut berisikan nilai error perbandingan antara output pada mikrokontroller dengan output pada matlab, berdasarkan inputan yang didapatkan dari sensor. Berikut ini rumus menghitung error pada studi kasus percobaan pertama dengan suhu sebesar 25,7 dan kelembaban tanah 243.

$$\text{Error} = \frac{\text{Matlab} - \text{Mikrokontroller}}{\text{Mikrokontroller}} \times 100\%$$

$$= \frac{3840 - 3865.38}{3865.38} \times 100\%$$

$$= 0.91\%$$

Adapun nilai Rata-Rata Error dari perhitungan tersebut adalah :

$$\text{Rata- Rata Error} = \frac{\text{Total Error}}{\text{Total Data Uji}}$$

$$= \frac{11,6851}{168}$$

$$= 6,96\%$$

Berdasarkan tabel 4.1 hasil pengujian pada fitur penyiraman, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sistem pada fitur penyiraman. Untuk

mengetahui tingkat akurasinya dengan menggunakan perhitungan *confussion matrix*.

Berikut ini tabel *confussion matrix* pada fitur penyiraman:

Tabel 4. 2 *Confussion Matrix* Fitur Penyiraman

		predicted				
		mati	cepat	sedang	agak lama	lama
Actual	mati	146	4	0	0	0
	cepat	0	3	0	0	0
	sedang	0	0	4	0	0
	agak lama	0	0	0	6	0
	lama	0	0	0	0	5

Dari Tabel kemudian dilakukan perhitungan akurasi sebagaimana rumus berikut ini:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = \frac{4+146+3+6+5}{4+146+3+6+5+4} \times 100\% = 97,6\%$$

Dari perhitungan tersebut diketahui nilai akurasi sistem sebesar 97,6%.

4.1.1.2 Pengaturan Suhu

Pengujian selanjutnya adalah pengaturan suhu, pengujian yang dilakukan pada pengaturan suhu menggunakan logika *fuzzy* terdiri dari 2 inputan yakni suhu dan kelembaban, yang mana pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan logika *fuzzy* yang akan menghasilkan sebuah output pada pengaturan suhu, berdasarkan pada perhitungan pada penjelasan bab sebelumnya. Hasil output dari sistem menggunakan logika *fuzzy* kemudian akan dibandingkan dengan output pada matlab. Berikut ini hasil dari pengujian sistem pada pengaturan suhu menggunakan logika *fuzzy* dan perbandingannya:

Tabel 4. 3 Pengujian Sistem menggunakan *Fuzzy* pada pengaturan suhu

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
	Suhu	Kelembaban udara	Mikrokontroler (Arduino)	Matlab		Arduino	Matlab
1	25.7	75	6,77	6.79	0,30%	Off	Off
2	27.24	77	5,27	5,27	0,00%	Off	Off
3	28.75	79	4,04	4,03	0,25%	On	On
4	29.93	79	2,56	2,54	0,78%	On	On
5	30.5	79	2,37	2,41	1,69%	On	On
6	31.66	79	2,37	2,41	1,69%	On	On
7	33.69	80	2,37	2,41	1,69%	On	On
8	34.5	78	2,37	2,4	1,27%	On	On
9	35.53	78	2,37	2,4	1,27%	On	On
10	35.75	76	2,36	2,39	1,27%	On	On
11	33.22	72	2,35	2,36	0,43%	On	On
12	31.12	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
13	30.59	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
14	31.97	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
15	32.51	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
16	32.25	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
17	30.83	70	2,34	2,35	0,43%	On	On
18	29.69	70	2,72	2,69	1,10%	On	On
19	28.78	70	3,68	3,67	0,27%	On	On
20	24.88	69	7,62	7,65	0,39%	Off	Off
21	22.93	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
22	23.43	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
23	23.41	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
24	23.2	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
25	23.09	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off

26	23.04	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
27	22.97	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
28	22.9	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
29	22.83	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
30	22.75	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
31	22.71	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
32	22.7	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
33	22.64	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
34	22.61	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
35	22.55	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
36	22.45	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
37	22.32	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
38	22.16	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
39	21.83	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
40	21.73	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
41	21.66	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
42	21.58	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
43	21.55	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
44	21.54	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
45	21.52	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
46	21.51	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
47	21.55	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
48	21.57	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
49	21.54	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
50	21.49	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
51	21.38	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
52	21.31	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
53	21.31	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
54	21.39	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
55	21.53	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
56	21.73	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
57	22.05	77	7,58	7,61	0,40%	Off	Off

58	22.61	77	7,58	7,61	0,40%	Off	Off
59	23.34	78	7,57	7,6	0,40%	Off	Off
60	23.73	78	7,57	7,6	0,40%	Off	Off
61	24.26	79	7,57	7,59	0,26%	Off	Off
62	24.86	80	7,56	7,59	0,40%	Off	Off
63	25.74	81	6,47	6,49	0,31%	Off	Off
64	26.22	81	5,98	5,99	0,17%	Off	Off
65	26.84	79	5,51	5,51	0,00%	Off	Off
66	27.52	80	4,99	4,99	0,00%	On	On
67	28.02	82	4,48	4,47	0,22%	On	On
68	29.03	79	3,78	3,76	0,53%	On	On
69	29.32	76	3,26	3,25	0,31%	On	On
70	29.3	75	3,23	3,21	0,62%	On	On
71	30.15	75	2,02	2,38	17,82%	On	On
72	30.98	74	2,03	2,38	17,24%	On	On
73	30.06	73	2,05	2,37	15,61%	On	On
74	29.26	72	3,18	3,16	0,63%	On	On
75	28.92	72	3,54	3,52	0,56%	On	On
76	28.41	71	4,07	4,07	0,00%	On	On
77	27.87	71	4,62	4,62	0,00%	On	On
78	27.18	71	5,33	5,33	0,00%	Off	Off
79	26.48	71	6,05	6,06	0,17%	Off	Off
80	25.89	71	6,66	6,68	0,30%	Off	Off
81	25.52	71	7,06	7,08	0,28%	Off	Off
82	25.24	71	7,36	7,38	0,27%	Off	Off
83	25.08	71	7,53	7,55	0,27%	Off	Off
84	24.96	71	7,48	7,64	2,14%	Off	Off
85	24.85	71	7,48	7,64	2,14%	Off	Off
86	24.75	71	7,48	7,64	2,14%	Off	Off
87	24.65	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
88	24.62	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
89	24.63	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
90	24.69	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
91	24.66	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
92	24.62	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off

93	24.61	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
94	24.54	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
95	24.42	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
96	24.26	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
97	24.15	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
98	24.02	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
99	23.89	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
100	23.79	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
101	23.71	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
102	23.64	72	7,47	7,64	2,28%	Off	Off
103	23.59	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
104	23.54	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
105	23.51	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
106	23.48	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
107	23.41	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
108	23.31	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
109	23.22	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
110	23.16	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
111	23.1	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
112	23.03	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
113	22.96	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
114	22.87	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
115	22.77	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
116	22.67	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
117	22.58	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
118	22.53	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
119	22.46	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
120	22.38	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
121	22.33	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
122	22.24	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
123	22.14	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
124	22.05	73	7,46	7,63	2,28%	Off	Off
125	22.01	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
126	21.96	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
127	21.9	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
128	21.82	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
129	21.73	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
130	21.72	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off

131	21.87	74	7,44	7,62	2,42%	Off	Off
132	21.38	76	7,59	7,61	0,26%	Off	Off
133	21.33	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
134	21.26	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
135	21.32	73	7,6	7,63	0,39%	Off	Off
136	21.5	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
137	21.86	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
138	22.34	74	7,6	7,62	0,26%	Off	Off
139	22.91	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
140	23.4	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
141	23.87	75	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
142	24.44	76	7,59	7,62	0,40%	Off	Off
143	25.25	76	7,24	7,26	0,28%	Off	Off
144	26.29	76	6,19	6,2	0,16%	Off	Off
145	26.65	76	5,87	5,88	0,17%	Off	Off
146	27.02	76	5,49	5,5	0,18%	Off	Off
147	27.33	75	5,17	5,18	0,19%	Off	Off
148	27.45	75	5,05	5,05	0,00%	Off	Off
149	28	75	4,49	4,48	0,22%	On	On
150	28.65	75	3,82	3,8	0,52%	On	On
151	29.65	75	2,86	2,83	1,05%	On	On
152	30.24	75	2,2	2,38	8,18%	On	On
153	30.71	74	2,2	2,38	8,18%	On	On
154	31.38	74	2,2	2,38	8,18%	On	On
155	31.97	74	2,2	2,38	8,18%	On	On
156	32.46	74	2,2	2,38	8,18%	On	On
157	32.84	73	2,21	2,37	7,24%	On	On
158	33.14	73	2,21	2,37	7,24%	On	On
159	33.45	72	2,21	2,36	6,79%	On	On
160	33.4	71	2,21	2,36	6,79%	On	On
161	33.22	71	2,21	2,36	6,79%	On	On
162	33.2	71	2,21	2,36	6,79%	On	On
163	33.2	70	2,21	2,35	6,33%	On	On
164	33.47	70	2,21	2,35	6,33%	On	On
165	33.82	70	2,21	2,35	6,33%	On	On
166	34.32	71	2,21	2,36	6,79%	On	On
167	35.34	70	2,21	2,36	6,79%	On	On
168	35.84	69	2,2	2,37	7,73%	On	On

Tabel tersebut berisikan nilai error perbandingan antara output pada mikrokontroller dengan output pada matlab, berdasarkan inputan yang didapatkan dari sensor. Berikut ini rumus menghitung error pada studi kasus percobaan ketiga dengan suhu sebesar 28,75 dan kelembaban udara 79.

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \frac{\text{Matlab}-\text{Mikrokontroller}}{\text{Mikrokontroller}} \times 100\% \\ &= \frac{4,03-4,04}{4,04} \times 100 \\ &= 0.25\%\end{aligned}$$

Adapun nilai Rata-Rata Error dari perhitungan tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\text{Rata- Rata Error} &= \frac{\text{Total Error}}{\text{Total Data Uji}} \\ &= \frac{324,43}{168} \\ &= 1,93\%\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.3 hasil pengujian pada fitur suhu, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sistem pada fitur suhu. Untuk mengetahui tingkat akurasinya dengan menggunakan perhitungan *confussion matrix*.

Berikut ini tabel *confussion matrix* pada fitur suhu:

Tabel 4. 4 *Confussion Matrix* Fitur Suhu

		predicted	
		On	Off
Actual	On	48	0
	Off	0	120

Dari Tabel kemudian dilakukan perhitungan akurasi sebagaimana rumus berikut ini:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = \frac{48+120}{48+120} \times 100\% = 100\%$$

Tingkat akurasi sistem otomasi pada fitur suhu menggunakan logika *fuzzy* adalah sebesar 100% dengan jumlah data yang diujikan adalah sebanyak 168 data dibandingkan dengan hasil pada pengujian matlab.

4.1.1.3 Pengaturan pH

Pengujian selanjutnya adalah pada pengaturan pH, pengujian yang dilakukan pada pengaturan pH menggunakan logika *fuzzy* terdiri dari 2 inputan yakni pH dan selisih pH, yang mana pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan logika *fuzzy* yang akan menghasilkan sebuah output pada pengaturan pH, berdasarkan pada perhitungan pada penjelasan bab sebelumnya. Yang kemudian dibandingkan dengan hasil pada matlab. Sehingga dapat diketahui apakah sistem dengan logika *fuzzy* dan berfungsi dengan baik dan akurat. Berikut ini hasil dari pengujian sistem pada pengaturan pH menggunakan logika *fuzzy* dan pada matlab.

Tabel 4. 5 Pengujian Sistem menggunakan *Fuzzy* pada pengaturan pH

No	Input		Output		Error	Keanggotaan Output	
	pH	Selisih pH	Mikrokontroller (Arduino)	Matlab		Arduino	Matlab
1	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
2	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
3	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
4	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop

5	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
6	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
7	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
8	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
9	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
10	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
11	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
12	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
13	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
14	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
15	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
16	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
17	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
18	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
19	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
20	6.89	6.89	-700	-573	18,14%	turun lambat	turun lambat
21	5.29	5.29	1023	923	9,78%	naik cepat	naik cepat
22	6.89	1.6	-700	-573	18,14%	turun lambat	turun lambat
23	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
24	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
25	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
26	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
27	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
28	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
29	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
30	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
31	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
32	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
33	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
34	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
35	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
36	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
37	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
38	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
39	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop

40	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
41	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
42	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
43	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
44	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
45	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
46	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
47	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
48	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
49	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
50	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
51	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
52	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
53	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
54	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
55	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
56	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
57	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
58	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
59	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
60	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
61	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
62	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
63	6.89	0	0	0	0,00%	Stop	Stop
64	5.33	5.33	1023	923	9,78%	naik cepat	naik cepat
65	6.89	1.56	-700	-573	18,14%	turun lambat	turun lambat
66	6.79	-0.1	0	0	0,00%	Stop	Stop
67	6.35	-0.44	635.77	219	65,55%	naik lambat	stop
68	6.52	0.17	-274.09	-82.3	69,97%	Stop	Stop
69	6.89	0.37	-512.7	-148	71,13%	turun lambat	stop
70	6.87	-0.02	0	0	0,00%	stop	stop

71	6.89	0.02	-32.59	-7,87	75,85%	stop	stop
72	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
73	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
74	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
75	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
76	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
77	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
78	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
79	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
80	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
81	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
82	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
83	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
84	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
85	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
86	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
87	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
88	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
89	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
90	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
91	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
92	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
93	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
94	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
95	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
96	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
97	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
98	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
99	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
100	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
101	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
102	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
103	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
104	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
105	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
106	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
107	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
108	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop

109	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
110	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
111	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
112	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
113	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
114	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
115	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
116	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
117	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
118	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
119	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
120	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
121	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
122	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
123	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
124	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
125	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
126	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
127	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
128	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
129	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
130	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
131	6.71	6.71	-700	-566	19,14%	turun lambat	turun lambat
132	6.89	0.18	-250.65	-70.6	71,83%	stop	stop
133	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
134	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
135	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
136	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
137	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
138	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
139	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
140	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
141	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
142	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
143	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
144	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
145	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop

146	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
147	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
148	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
149	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
150	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
151	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
152	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
153	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
154	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
155	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
156	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
157	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
158	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
159	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
160	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
161	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
162	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
163	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
164	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
165	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
166	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
167	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop
168	6.89	0	0	0	0,00%	stop	stop

Tabel tersebut berisikan nilai error perbandingan antara output pada mikrokontroller dengan output pada matlab, berdasarkan inputan yang didapatkan dari sensor. Berikut ini rumus menghitung error pada studi kasus percobaan ke-21 dengan pH sebesar 5.29 dan selisih pH 5.29.

$$\text{Error} = \frac{\text{Matlab} - \text{Mikrokontroller}}{\text{Mikrokontroller}} \times 100\%$$

$$= \frac{923 - 1023}{1023} \times 100$$

$$= 9,78\%$$

Adapun nilai Rata-Rata Error dari perhitungan tersebut adalah :

$$\begin{aligned} \text{Rata- Rata Error} &= \frac{\text{Total Error}}{\text{Total Data Uji}} \\ &= \frac{447,45}{168} \\ &= 2,66\% \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.5 hasil pengujian pada fitur pH, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sistem pada fitur pH. Untuk mengetahui tingkat akurasinya dengan menggunakan perhitungan *confussion matrix*. Berikut ini tabel *confussion matrix* pada fitur pH:

Tabel 4. 6 tabel *confussion matrix* pada fitur pH

		predicted				
		TurunCepat	TurunLambat	Stop	NaikLambat	NaikCepat
Actual	TurunCepat	0	0	0	0	0
	TurunLambat	0	4	1	0	0
	Stop	0	0	160	0	0
	NaikLambat	0	0	1	0	0
	NaikCepat	0	0	0	0	2

Dari Tabel kemudian dilakukan perhitungan akurasi sebagaimana rumus berikut ini:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$$

$$\text{Akurasi} = \frac{4+160+2}{4+160+2+1+1} \times 100\% = 98.8\%$$

Tingkat akurasi sistem otomasi pada fitur pH menggunakan logika *fuzzy* adalah sebesar 98.8% dengan jumlah data yang diujikan adalah sebanyak 168 data dibandingkan dengan hasil pada pengujian matlab.

4.1.2 Data Tanaman

Berikut ini data tanaman yang digunakan dalam objek penelitian, yang mana dalam hal ini adalah tanaman tomat. Adapun data ini adalah data tanaman tomat yang berada pada dalam *greenhouse* yang memiliki perlakuan dari sistem yang telah dibuat, dan tanaman yang berada pada luar *greenhouse* yang mendapatkan perlakuan perawatan secara manual. Tanaman tomat yang berada dalam *greenhouse* memiliki tinggi 69 cm dengan jumlah tangkai sebanyak 15 tangkai. Sedangkan tanaman tomat yang berada diluar *greenhouse* memiliki tinggi 97 cm dengan jumlah tangkai sebanyak 7 tangkai. Berikut gambar tanaman tomat didalam *greenhouse* dan di luar *greenhouse*:
Tanaman Tomat dalam *greenhouse* (mendapat perlakuan sistem):



Gambar 4. 2 Jumlah tangkai tanaman tomat dalam *greenhouse*



Gambar 4. 1 Tinggi tanaman dalam *greenhouse*

Tanaman Tomat diluar greenhouse (mendapat perlakuan manual tanpa sistem):



Gambar 4. 4 Jumlah tangkai tanaman tomat luar *greenhouse*



Gambar 4. 3 Tinggi tanaman luar *greenhouse*

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Pada Logika Fuzzy

Perhitungan berikut ini menggunakan salah satu data yang diperoleh dari pembacaan sensor pada inputan fitur pengaturan suhu, yakni input suhu dan kelembaban udara yang dilakukan pada pukul 09.24, yang dalam hal ini merupakan pembacaan sensor yang ke -5 pada tabel 4.2. pada pembacaan sensor tersebut diketahui suhu 28.75 dan kelembaban tanah sebesar 79.

Berdasarkan pada data yang diperoleh suhu 28,75 merupakan keanggotaan sedang dan panas, adapun perhitungan keanggotaan sedang dan panas pada suhu adalah sebagai berikut:

$$\text{Suhu sedang} = \frac{c-x}{c-b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{30-28,75}{30-25} \\
 &= 0,25 \\
 \text{Suhu panas} &= \frac{x-a}{b-a} \\
 &= \frac{28,75-25}{30-25} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai keanggotaan suhu sedang adalah 0,25 dan suhu panas 0,75. Untuk input selanjutnya adalah kelembaban udara yang mana nilainya adalah 79, merupakan keanggotaan sedang dan tinggi. Adapun perhitungan keanggotaan kelembaban udara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kelembaban udara sedang} &= \frac{c-x}{c-b} \\
 &= \frac{90-79}{90-70} \\
 &= 0,55 \\
 \text{Kelembaban udara tinggi} &= \frac{x-a}{b-a} \\
 &= \frac{79-70}{90-70} \\
 &= 0,45
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai keanggotaan kelembaban udara sedang adalah 0,55 dan kelembaban udara tinggi 0,45. Langkah selanjutnya adalah menentukan *fuzzy rule* yang digunakan dengan cara membandingkan nilai fuzifikasi

pada perhitungan fungsi keanggotaan sebelumnya dengan menggunakan nilai terkecil (MIN). adapun hasilnya sebagai berikut:

R7= IF Suhu sedang AND Kelembaban Tinggi THEN Kipas is OFF

= 0,25 AND 0,45

= 0,25 (hasilnya adalah nilai terkecil dan perbandingan pada rule ke-7)

R8 = IF Suhu sedang AND Kelembaban Sedang THEN Kipas is OFF

= 0,25 AND 0,55

= 0,25 (hasilnya adalah nilai terkecil dan perbandingan pada rule ke-8)

R10 = IF Suhu Panas AND Kelembaban Tinggi THEN Kipas is ON

= 0,75 AND 0,45

= 0,45 (hasilnya adalah nilai terkecil dan perbandingan pada rule ke-10)

R11 = IF Suhu Panas AND Kelembaban Sedang THEN Kipas is ON

= 0,75 AND 0,55

= 0,55 (hasilnya adalah nilai terkecil dan perbandingan pada rule ke-10)

Setelah mengetahui *fuzzy rule*, proses selanjutnya adalah defuzifikasi. Dalam hal ini proses defuzifikasi menggunakan metode *centroid*. Berikut ini adalah perhitungan mencari panjang x dari masih masih fungsi on dan off, yang dalam hal ini kami sebut a1 dan a2.

$$A1 = \frac{x-a}{b-a}$$

$$0,25 = \frac{x-5}{0,5}$$

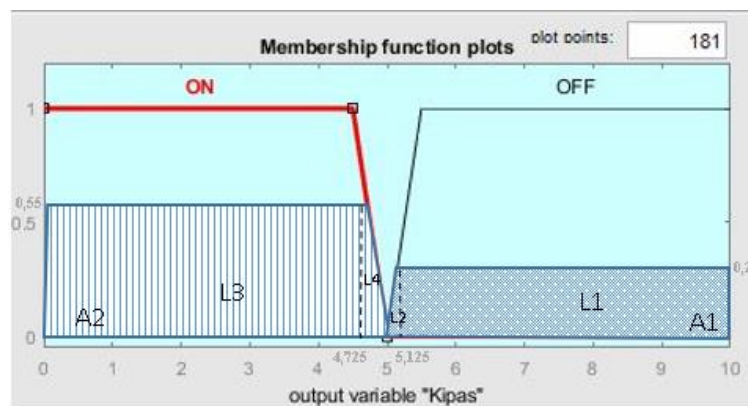
$$X = 5,125$$

$$A2 = \frac{c-x}{c-b}$$

$$0,55 = \frac{5-x}{0,5}$$

$$X = 4,725$$

Kemudian dilakukan perhitungan defuzifikasi dengan mencari luas dan momentum pada fungsi keanggotaan output kipas pada fitur pengaturan suhu:



Gambar 2. 10 Luas Daerah dan Momentum

Gambar tersebut merupakan hasil dari tahap sebelumnya, yang kemudian akan dicari nilai luas dan momentumnya. Adapun cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Mencari Luas Daerah

$$L1 = p \times l$$

$$= 4,875 \times 0,25$$

$$= 1,21875$$

$$L2 = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,125 \times 0,25$$

$$= 0,0156$$

$$L3 = p \times l$$

$$= 4,725 \times 0,55$$

$$= 2,59875$$

$$L4 = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,275 \times 0,55$$

$$= 0,075625$$

$$\text{Total Luas} = 3,908725$$

- Mencari nilai Moment

$$M1 = \int_{5,125}^{10} 0,25 \, x$$

$$= 9,216$$

$$M2 = \int_5^{5,125} \frac{1}{0,5} x - \frac{5}{0,5}$$

$$= 0,0794$$

$$M3 = \int_0^{4,725} 0,55 \, x$$

$$= 6,1395$$

$$M4 = \int_{4,725}^5 \frac{5}{0,5} - \frac{1}{0,5} \, x$$

$$= 0,3642$$

$$\text{Total Moment} = 15,7991$$

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan luas dan moment, selanjutnya adalah menerapkan rumus centroid tersebut untuk menghasilkan output dari proses defuzzifikasi dengan rumus output sebagai berikut:

$$Output = \frac{M1 + M2 \dots Mi}{L1 + L2 \dots Li}$$

$$Output = \frac{15,7991}{3,908725}$$

$$Output = 4,04$$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui hasil output dari proses defuzzifikasi fitur pengaturan suhu dengan inputan suhu 28,75 dan kelembaban udara 79 menghasilkan output sebesar 4,04. Yang berarti nilai output tersebut menunjukkan kipas dengan suhu dan kelembaban tersebut dalam keadaan ON atau menyala.

4.2.2 Source Code Mikrokontroler

Dalam pembuatan sistem menggunakan logika *fuzzy*, langkah awal yang dilakukan adalah mencari *fuzzifikasi*, dikarenakan penelitian ini berfokus pada 3 hal yakni pengaturan penyiraman (input suhu dan kelembaban), suhu (input suhu dan kelembaban) dan pH (input pH dan selisih pH) maka proses fuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan nilai fuzzifikasi dari masing-masing inputan. Adapun *source code* dibawah ini.

A. Pengaturan penyiraman

Souce code fuzzifikasi pada inputan fitur penyiraman (suhu dan kelembaban tanah):

```

void fuzzifikasi_penyiraman() {
    //suhu
    uMember = 0;
    hitung_member(1, suhu, 0, 19, 23, 0);
    uSuhuSiramDingin = uMember;
    hitung_member(2, suhu, 19, 23, 27, 0);
    uSuhuSiramAgakDingin = uMember;
    hitung_member(2, suhu, 23, 27, 29, 0);
    uSuhuSiramNormal = uMember;
    hitung_member(2, suhu, 27, 29, 31, 0);
    uSuhuSiramPanas = uMember;
    hitung_member(3, suhu, 29, 31, 40, 0);
    uSuhuSiramSangatPanas = uMember;

    //kelembaban_tanah
    uMember = 0;
    hitung_member(1, lembab_tanah, 0, 15, 310,
0);
    uTanahKering = uMember;
    hitung_member(2, lembab_tanah, 12, 310, 500,
0);
    uTanahLembab = uMember;
    hitung_member(3, lembab_tanah, 310, 450,
500, 550);
    uTanahBasah = uMember;
}
int fuzzy_set_penyiraman[3][5] = {
    {4000, 4000, 6000, 6000, 8000},
    {2000, 2000, 4000, 6000, 6000},
    {0, 0, 0, 0, 0}
};

```

Berdasarkan code tersebut merupakan tahapan fuzzifikasi dari fitur penyiraman, yang terdiri dari dua input yakni suhu dan kelembaban tanah, pada code tersebut di atas memperkenalkan masing-masing dari fungsi keanggotaan tiap inputan. Yang kemudian

dilanjutkan dengan proses selanjutnya yakni perhitungan pada tahap defuzifikasi.

Source code defuzifikasi penyiraman:

```
void defuzzifikasi_penyiraman() {
    float pembil = 0, penyeb = 0, centre_of_area = 0;
    float N_suhu[5] = {};
    float N_kelembaban[3] = {};
    float data_uSuhuSiram[5] = {uSuhuSiramDingin, uSuhuSiramAgakDingin,
    uSuhuSiramNormal, uSuhuSiramPanas, uSuhuSiramSangatPanas};
    float data_uKelembaban[3] = {uTanahKering, uTanahLembab,
    uTanahBasah};
    for (int set = 0; set < 15;) {
        for (int i = 0; i < 3; i++) {
            N_kelembaban[i] = data_uKelembaban[i];
            kondisiKelembabanSiram = max(N_kelembaban[i],
            kondisiKelembabanSiram);
            for (int j = 0; j < 5; j++) {
                N_suhu[j] = data_uSuhuSiram[j];
                kondisiSuhuSiram = max(N_suhu[j], kondisiSuhuSiram);
                /* Metode COA (Centre Of Area)*/
                Min_Suhu[set] = min(N_suhu[j], N_kelembaban[i]);
                pembil += Min_Suhu[set] * fuzzy_set_penyiraman[i][j];
                penyeb += Min_Suhu[set];
                delay(5);
                set++;
            }
        }
    }
    centre_of_area = pembil / penyeb;
    KeluaranPenyiraman = centre_of_area;
}
//EndFiturPenyiraman
```

Berdasarkan pada code defuzzifikasi tersebut, terdapat perhitungan untuk memperoleh output dengan menggunakan metode *centre of area* atau CoA, pada code tersebut diatur sedemikian rupa untuk memperoleh output berdasarkan rumus yang sesuai.

B. Pengaturan Suhu

Source code fuzzifikasi pada inputan fitur suhu (suhu dan kelembaban udara):

```
//FiturSuhu
void fuzzifikasi_suhu() {
    //suhu
    uMember = 0;
    hitung_member(1, suhu, 0, 5, 10, 0);
    uSuhuSangatDingin = uMember;
    hitung_member(4, suhu, 5, 10, 15, 20);
    uSuhuDingin = uMember;
    hitung_member(4, suhu, 15, 20, 25, 30);
    uSuhuSedang = uMember;
    hitung_member(4, suhu, 25, 30, 35, 40);
    uSuhuPanas = uMember;
    hitung_member(3, suhu, 35, 40, 40, 0);
    uSangatPanas = uMember;

    //kelembaban
    uMember = 0;
    hitung_member(1, lembab, 0, 30, 50, 0);
    uKelembabanRendah = uMember;
    hitung_member(4, lembab, 30, 50, 70, 90);
    uKelembabanSedang = uMember;
    hitung_member(3, lembab, 70, 90, 90, 0);
    uKelembabanTinggi = uMember;
}
```

Berdasarkan code tersebut merupakan tahapan fuzifikasi dari fitur pengatur suhu, yang terdiri dari dua input yakni suhu dan kelembaban udara, pada code tersebut di atas memperkenalkan masing-masing dari fungsi keanggotaan tiap inputan. Yang kemudian dilanjutkan dengan proses selanjutnya yakni perhitungan pada tahap selanjutnya.

Rule Base fitur pengatur suhu:

```
// Fuzzy Rule Base
float rule[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
rule[0] = min(uSuhuSangatDingin, uKelembabanTinggi); //Off
rule[1] = min(uSuhuSangatDingin, uKelembabanSedang); //Off
rule[2] = min(uSuhuSangatDingin, uKelembabanRendah); //ON
rule[3] = min(uSuhuDingin, uKelembabanTinggi); //Off
rule[4] = min(uSuhuDingin, uKelembabanSedang); //Off
rule[5] = min(uSuhuDingin, uKelembabanRendah); //ON
rule[6] = min(uSuhuSedang, uKelembabanTinggi); //off
rule[7] = min(uSuhuSedang, uKelembabanSedang); //off
rule[8] = min(uSuhuSedang, uKelembabanRendah); //on
rule[9] = min(uSuhuPanas, uKelembabanTinggi); //on
rule[10] = min(uSuhuPanas, uKelembabanSedang); //on
rule[11] = min(uSuhuPanas, uKelembabanRendah); //on
rule[12] = min(uSangatPanas, uKelembabanTinggi); //on
rule[13] = min(uSangatPanas, uKelembabanSedang); //on
rule[14] = min(uSangatPanas, uKelembabanRendah); //on
float nyala[9] = {rule[2], rule[5], rule[8], rule[9], rule[10], rule[11],
rule[12], rule[13], rule[14]};
float mati[6] = {rule[0], rule[1], rule[3], rule[4], rule[6], rule[7]};
float on_a = 0;
float on_b = 4.5;
float on_c = 5;
float off_a = 5;
float off_b = 5.5;
float off_c = 10;
maxNyala = nyala[0];
```

```

for (int i = 0; i < 9; i++) {
    if (nyala[i] > maxNyala) {
        maxNyala = nyala[i];
    }
}
maxMati = mati[0];
for (int i = 0; i < 6; i++) {
    if (mati[i] > maxMati) {
        maxMati = mati[i];
    }
}
maxMati = mati[0];
for (int i = 0; i < 6; i++) {
    if (mati[i] > maxMati) {
        maxMati = mati[i];
    }
}

```

Source code defuzzifikasi fitur pengaturan suhu:

```

m1 = 0;
m2 = 0;
m3 = 0;
m4 = 0;
if (maxMati > 0) {
    x1 = maxMati * (off_b - off_a) + off_a;
    al_off = ((off_c - off_a) + (off_c - x1)) * maxMati / 2 ;
    m1 = maxMati / 2 * (pow(off_c, 2)) - maxMati / 2 * (pow(x1, 2));
    //lurus
    m2 = (4 * pow(x1, 3) / 6 - 5 * 6 * pow(x1, 2) / 6) - (4 * pow(off_a, 3) /
    6 - 5 * 6 * pow(off_a, 2) / 6);
}
if (maxNyala > 0) {
    x2 = (maxNyala * (on_c - on_b) - on_c) * -1;
    al_on = (on_c + x2) * maxNyala / 2 ;
    m3 = maxNyala / 2 * (pow(x2, 2)); //lurus
    m4 = (10 * 3 * pow(on_c, 2) / 6 - 2 * 2 * pow(on_c, 3) / 6) - (10 * 3 *
    pow(x2, 2) / 6 - 2 * 2 * pow(x2, 3) / 6);
}

```

```

    float E_m = m1 + m2 + m3 + m4;
    float E_a = al_off + al_on;
    KeluaranSuhu = E_m / E_a;
}
m1 = 0;
m2 = 0;
m3 = 0;
m4 = 0;
if (maxMati > 0) {
    x1 = maxMati * (off_b - off_a) + off_a;
    al_off = ((off_c - off_a) + (off_c - x1)) * maxMati / 2 ;
    m1 = maxMati / 2 * (pow(off_c, 2)) - maxMati / 2 * (pow(x1, 2));
//lurus
    m2 = (4 * pow(x1, 3) / 6 - 5 * 6 * pow(x1, 2) / 6) - (4 * pow(off_a, 3) /
6 - 5 * 6 * pow(off_a, 2) / 6);
}
if (maxNyala > 0) {
    x2 = (maxNyala * (on_c - on_b) - on_c) * -1;
    al_on = (on_c + x2) * maxNyala / 2 ;
    m3 = maxNyala / 2 * (pow(x2, 2)); //lurus
    m4 = (10 * 3 * pow(on_c, 2) / 6 - 2 * 2 * pow(on_c, 3) / 6) - (10 * 3 *
pow(x2, 2) / 6 - 2 * 2 * pow(x2, 3) / 6);
}
    float E_m = m1 + m2 + m3 + m4;
    float E_a = al_off + al_on;
    KeluaranSuhu = E_m / E_a;
}

```

Berdasarkan pada code defuzifikasi tersebut, terdapat perhitungan untuk memperoleh output dengan menggunakan metode *centre of area* atau CoA, pada code tersebut diatur sedemikian rupa untuk memperoleh output berdasarkan rumus yang sesuai.

C. Pengaturan pH

Source code fuzzifikasi pada inputan fitur pH (pH dan selisih pH):

```
//FiturPH
void fuzzifikasi_pH() {
    //pH
    uMember = 0;
    hitung_member(1, pH, 0, 6, 6.5, 0);
    uAsam = uMember;
    hitung_member(2, pH, 6, 7, 8, 0);
    uNetral = uMember;
    hitung_member(3, pH, 7, 8, 8, 0);
    uBasa = uMember;
    //^pH
    uMember = 0;
    hitung_member(1, delta, -6, -1, 0, 0);
    uNegatif = uMember;
    hitung_member(2, delta, -1, 0, 0.5, 0);
    uDeltaNetral = uMember;
    hitung_member(3, delta, 0, 0.5, 0.5, 0);
    uPositif = uMember;
}
int fuzzy_set_pH[3][3] = {
    {1023, 700, -1023},
    {1023, 0, -1023},
    {1023, -700, -1023}
};
```

Berdasarkan code tersebut merupakan tahapan fuzzifikasi dari fitur pengatur pH, yang terdiri dari dua input yakni pH dan selisih pH, pada code tersebut di atas memperkenalkan masing-masing dari fungsi keanggotaan tiap inputan. Yang kemudian dilanjutkan dengan proses selanjutnya yakni perhitungan pada tahap selanjutnya.

Source code defuzzifikasi fitur pengatur pH:

```
void defuzzifikasi_pH() {
    float pembil = 0, penyeb = 0, centre_of_area = 0;
    float N_pH[3] = {};
    float N_deltapH[3] = {};
    float data_uPH[3] = {uAsam, uNetral, uBasa};
    float data_uDeltaPH[3] = {uNegatif, uDeltaNetral, uPositif};
    for (int set = 0; set < 9; set++) {
        for (int i = 0; i < 3; i++) {
            N_pH[i] = data_uPH[i];
            kondisiPH = max(N_pH[i], kondisiPH);
            for (int j = 0; j < 3; j++) {
                N_deltapH[j] = data_uDeltaPH[j];
                kondisiDeltaPH = max(N_deltapH[j], kondisiDeltaPH);
                /* Metode COA (Centre Of Area)*/
                Min_pH[set] = min(N_pH[j], N_deltapH[i]);
                pembil += Min_pH[set] * fuzzy_set_pH[i][j];
                penyeb += Min_pH[set];
                delay(5);
            }
        }
    }
    centre_of_area = pembil / penyeb;
    Keluaran_pH = centre_of_area;
}
//EndFiturPH
```

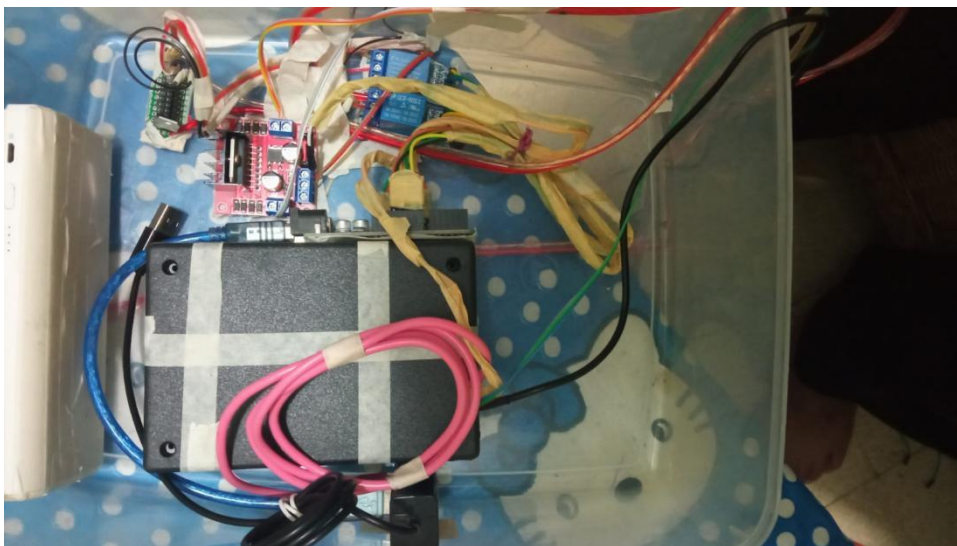
Berdasarkan pada code defuzzifikasi tersebut, terdapat perhitungan untuk memperoleh output dengan menggunakan metode *centre of area* atau CoA, pada code tersebut diatur sedemikian rupa untuk memperoleh output berdasarkan rumus yang sesuai.

4.2.3 Sistem Hardware

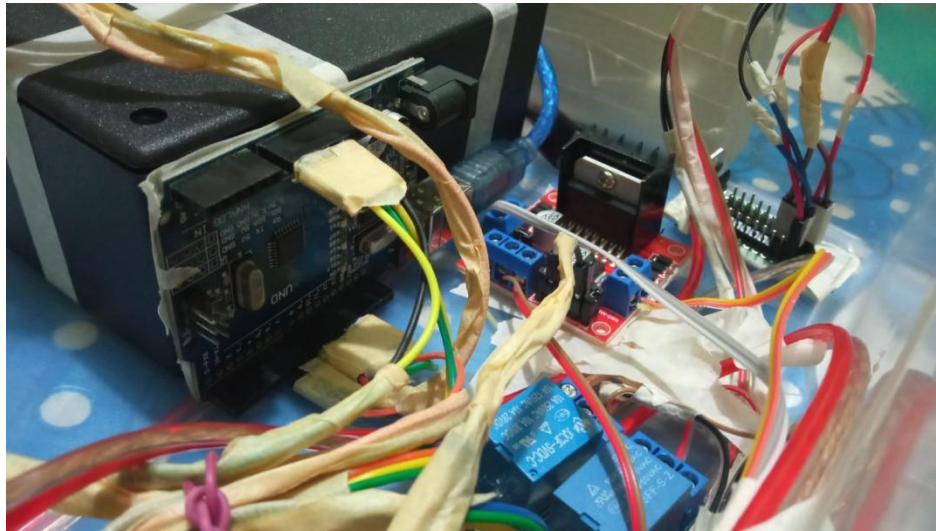
4.2.3.1 Rangkaian Hardware

Pada rangkaian sistem hardware dalam penelitian ini menggunakan NodeMcu dan Arduino uno sebagai mikrokontrolernya, yang mana pembacaan data dari sensor-sensor seperti *soil moisture*, BME280, Sensor pH akan dikirimkan ke nodeMcu dan kemudian di integrasikan dengan arduino, selanjutnya hasil pengolahan menggunakan logika *fuzzy* metode mamdani akan dikirimkan ke *website* yang telah dirancang melalui bantuan internet untuk menampilkan data dan perbandingan antara menggunakan logika *fuzzy* dan matlab.

Berikut adalah gambar rangkaian *hardware* yang telah dirancang:



Gambar 4. 5 Rangkaian sistem tampak atas



Gambar 4. 6 Rangkain sistem tampak samping



Gambar 4. 7 Rangkain sistem pada *greenhouse*

4.2.3.2 Node Mcu

Rangkaian sistem dalam penelitian ini menggunakan nodeMcu yang digunakan untuk mengirim data ke arduino, data yang telah diolah sedemikian rupa menggunakan logik *fuzzy* dikirimkan ke arduino, melalui pin 12 node mcu ke pin 7 arduino dan pin

13 node mcu ke pin 8 arduino atau rx node mcu ke tx arduino dan tx node mcu ke rx arduino, yang selanjutnya dapat dikirim ke server melalui bantuan wi-fi. Berikut rangkain dari nodeMcu yang telah dirancang sedemikian rupa untuk hasil yang maksimal:



Gambar 4. 8 Rangkaian NodeMCU

4.2.3.3 Pengaturan Sensor

4.2.3.3.1 Sensor Kelembaban Tanah (*Soil Moisture Sensor*)

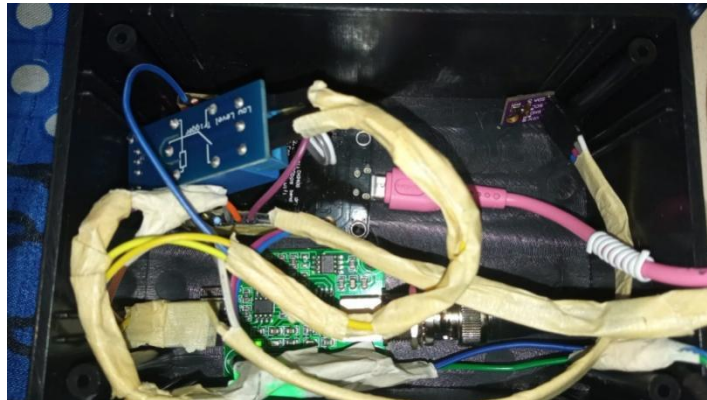
Berikut ini merupakan sensor kelembaban tanah, sensor ini digunakan untuk mengetahui berapa kelembaban tanah yang kemudian data tersebut akan digunakan untuk inputan pada fitur penyiraman, dengan menggunakan kecerdasan buatan dengan logika *fuzzy* maka akan mengetahui aksi yang seharusnya dengan secara otomatis tanpa melibatkan aksi penyiraman manual oleh manusia.



Gambar 4. 9 Pemasangan sensor kelembaban tanah pada *greenhouse*

4.2.3.3.2 Sensor Suhu dan kelembaban udara (BME280)

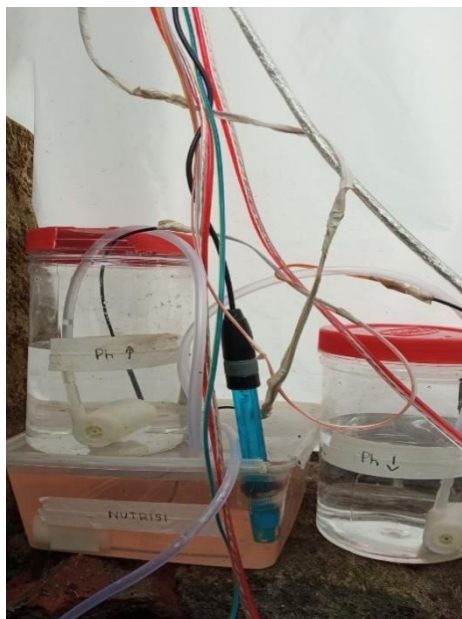
Berikut ini merupakan sensor suhu dan kelembaban udara, sensor ini digunakan untuk mengetahui berapa suhu dan kelembaban udara, yang kemudian data tersebut akan digunakan untuk inputan pada fitur penyiraman dan pada fitur pengaturan suhu, dengan menggunakan kecerdasan buatan dengan logika *fuzzy* maka akan mengetahui aksi yang seharusnya dengan secara otomatis.



Gambar 4. 10 Sensor BME280

4.2.3.3.3 Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk mengetahui pH dan selisih pada nutrisi air yang digunakan, yang kemudian hasil data tersebut akan diolah untuk menghasilkan hasil yang benar. Sensor pH digunakan pada fitur pengaturan pH .



Gambar 4. 11 Sensor pH

4.2.3.4 Rangkaian Output

4.2.3.4.1 Ouput Pengatur Penyiraman

Berikut ini adalah output dari pengaturan penyiraman yang berupa berapa lamanya waktu penyiraman dalam suatu kondisi, output ini berdasarkan pada perhitungan logika *fuzzy* yang telah dirancang. Kondisi lama waktu penyiraman berdasarkan dengan data keadaan yang diperoleh dari sensor. Apabila kondisi menunjukan angka output untuk melakukan penyiraman maka dengan otomatis sistem akan melakukan penyiraman dengan rancangan alat yang telah dibuat.



Gambar 4. 12 Output pengaturan penyiraman

4.2.3.4.2 Ouput Pengatur Suhu (Kipas)

Berikut output dari pengaturan suhu yakni berupa pengaktifan maupun penonaktifan dari kipas. Apabila suatu kondisi dari data sensor menunjukan keadaan kipas harus menyala karena suhu panas untuk keadaan tanaman, maka kipas akan otomatis menyala sampai suhu normal dan sesuai dengan yang dibutuhkan tanaman.



Gambar 4. 13 Ouput pengaturan suhu berupa kipas

4.2.3.4.3 Ouput Pengatur pH

Berikut output dari pengaturan pH yang mana berfungsi untuk mengatur nutrisi pH pada air, terdapat cairan pH up dan pH down untuk menghasilkan pH yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sistem akan otomatis mengatur kadar pH yang sesuai dengan yang dibutuhkan berdasarkan dengan data sensor yang diperoleh menggunakan sensor pH.



Gambar 4. 14 cairan pH up pH down sebelum diaplikasikan



Gambar 4. 15 Ouput Pengaturan pH

4.2.3.5 Tampilan Greenhouse

Berikut ini merupakan tampilan dari *greenhouse* yang telah dirancang sebagai wadah untuk melakukan penelitian sistem menggunakan logika *fuzzy*.



Gambar 4. 16 Tampilan *Greenhouse*



Gambar 4. 17 *Greenhouse* tampak samping

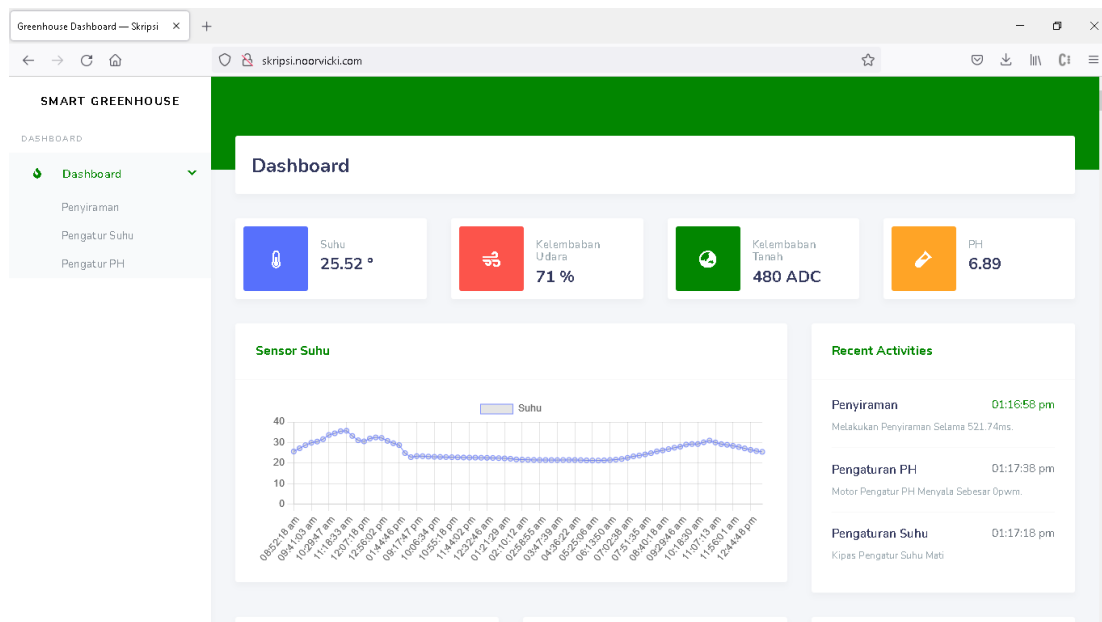
4.2.4 Sistem Interface

Pembuatan website sistem ini menggunakan Bahasa pemograman PHP native untuk sistem backendnya dan frontendnya menggunakan CSS Bootstrap. Yang kemudian ditempatkan pada hosting untuk dapat diakses melalui jaringan internet. Untuk dapat mengakses website *smart greenhouse* dengan menggunakan link berikut: <http://skripsi.noorvicki.com/>. Adapun tampilannya sebagai berikut:

4.2.4.1 Dashboard

Saat pertama kali membuka alamat website tersebut, maka halaman yang pertama kali dilihat adalah halaman *dashboard*, pada halaman *dashboard* berisi hasil dari pembacaan sensor suhu, sensor kelembaban udara, sensor kelembaban tanah dan pH. Yang berada paling atas (4 item) tersebut merupakan data hasil pembacaan sensor

yang paling terbaru. Kemudian pada tampilan tersebut juga kita dapat mengetahui grafik pembacaan sensor interval per 15 menit, lengkap dengan waktu pembacaan dan hasil sensornya. Data yang ditampilkan merupakan data yang realtime. Adapun tampilannya sebagai berikut:

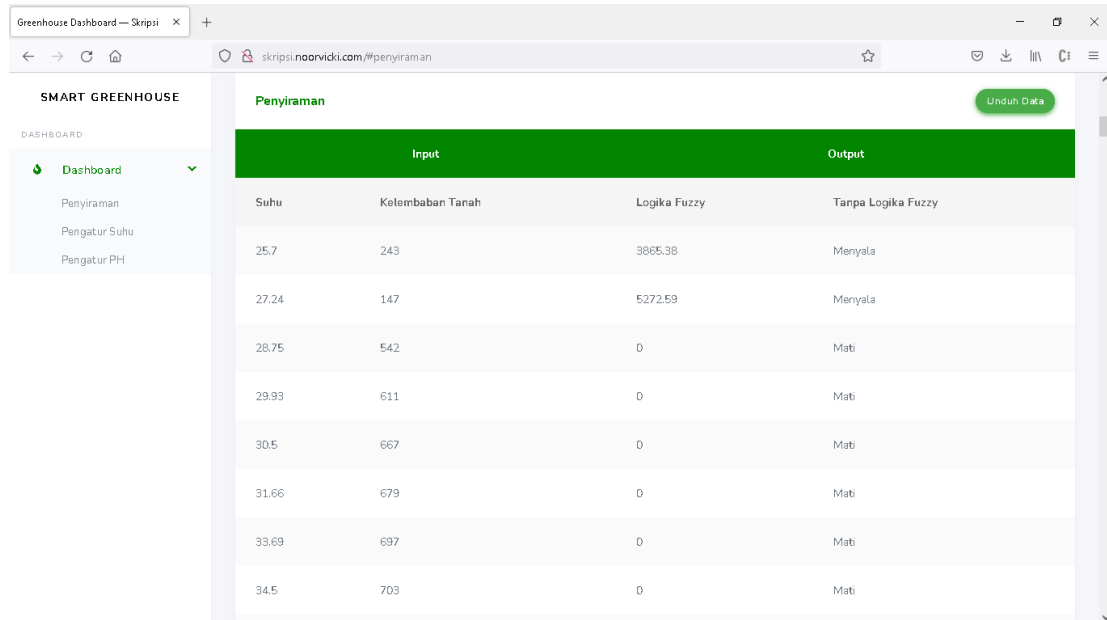


Gambar 4. 18 Halaman *Dashboard Smart Greenhouse*

4.2.4.2 Penyiraman

Selanjutnya adalah halaman penyiraman dalam bentuk tabel, dalam tabel tersebut menampilkan pembacaan sensor pada inputan pada fitur penyiraman yakni suhu dan kelembaban tanah, selain itu dalam tabel tersebut juga menampilkan output hasil perhitungan menggunakan logika *fuzzy* dan output tanpa menggunakan logika *fuzzy* yang terdiri dari menyala dan mati dan diasumsikan sebagai nilai yang benar. Kedua dari hasil tersebut selanjutnya akan dibandingkan dan kemudian dihitung nilai

keakurasiannya pada akhir tahap. Adapun tampilan dari halaman penyiraman adalah sebagai berikut:

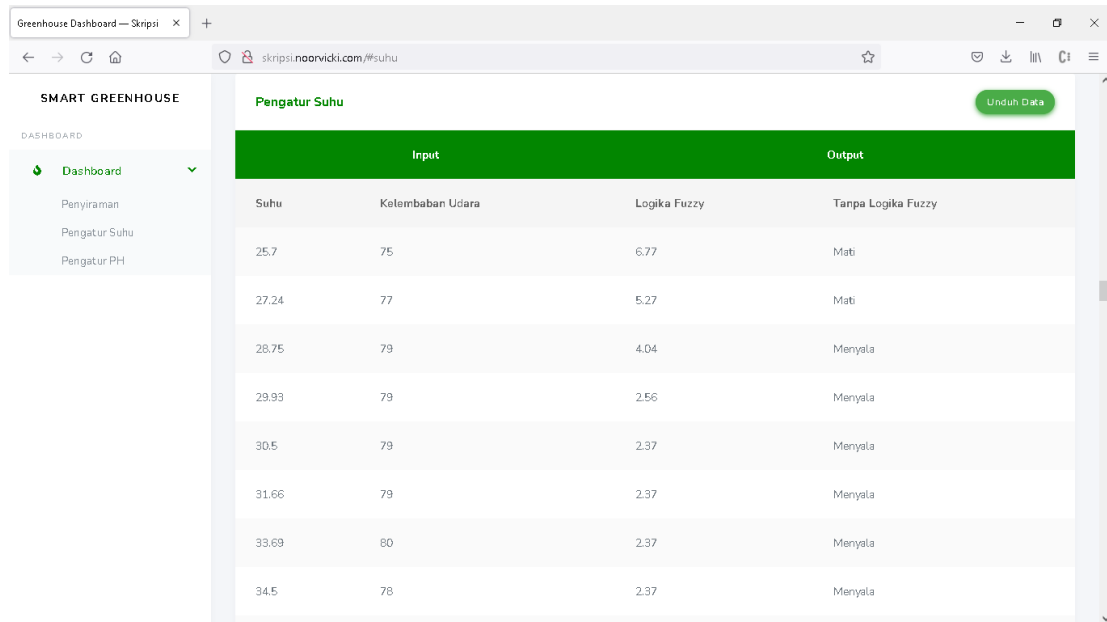


Input		Output	
Suhu	Kelembaban Tanah	Logika Fuzzy	Tanpa Logika Fuzzy
25.7	243	3865.38	Menyala
27.24	147	5272.59	Menyala
28.75	542	0	Mati
29.93	611	0	Mati
30.5	667	0	Mati
31.66	679	0	Mati
33.69	697	0	Mati
34.5	703	0	Mati

Gambar 4. 19 Halaman Penyiraman

4.2.4.3 Pengatur Suhu

Halaman berikutnya adalah halaman pengatur suhu dalam bentuk tabel, dalam tabel tersebut menampilkan pembacaan sensor pada inputan pada fitur pengaturan suhu yakni suhu dan kelembaban udara, selain itu dalam tabel tersebut juga menampilkan output hasil perhitungan menggunakan logika *fuzzy* dan output tanpa menggunakan logika *fuzzy* yang terdiri dari menyala dan mati. Adapun tampilan halaman pengatur suhu adalah sebagai berikut:

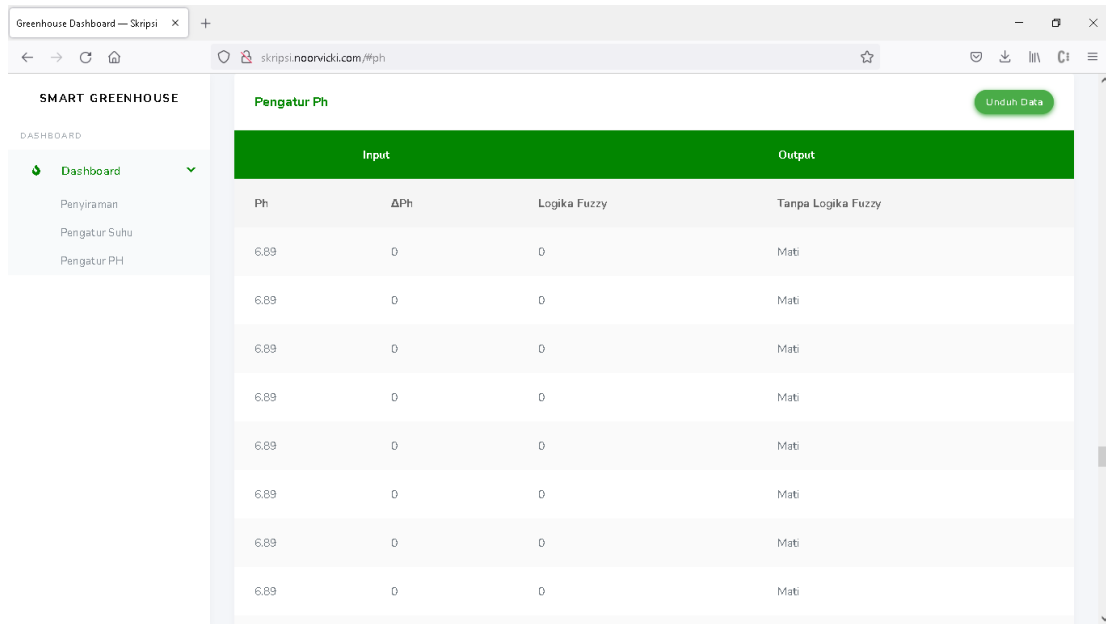


Input		Output	
Suhu	Kelembaban Udara	Logika Fuzzy	Tanpa Logika Fuzzy
25.7	75	6.77	Mati
27.24	77	5.27	Mati
28.75	79	4.04	Menyala
29.93	79	2.56	Menyala
30.5	79	2.37	Menyala
31.66	79	2.37	Menyala
33.69	80	2.37	Menyala
34.5	78	2.37	Menyala

Gambar 4. 20 Halaman Pengatur suhu

4.2.4.4 Pengatur pH

Berikut ini adalah halaman pengatur pH dalam bentuk tabel, dalam tabel tersebut menampilkan pembacaan sensor pada inputan pada fitur pengaturan pH yakni pH dan selisih pH, selain itu dalam tabel tersebut juga menampilkan output hasil perhitungan menggunakan logika *fuzzy* dan ouput tanpa menggunakan logika *fuzzy* yang terdiri dari menyala dan mati. Adapun tampilan halaman pengatur pH adalah sebagai berikut:



Input		Output	
Ph	ΔPh	Logika Fuzzy	Tanpa Logika Fuzzy
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati
6.89	0	0	Mati

Gambar 4. 21 Halaman Pengatur pH

4.2.5 Integrasi Islam

Perkembangan teknologi terus mengalami sebuah perkembangan dan kemajuan dari masa ke masa, sebagai manusia yang dikaruniai akal untuk berpikir maka sudah seharusnya kita mengikuti perkembangan teknologi yang ada, dan ikut berkontribusi kemajuan di dalamnya, oleh sebab itu peneliti membuat sebuah sistem otomasi dan monitoring penyiraman, pengatur pH dan suhu pada objek tanaman tomat. Yang mana hal tersebut tidak lain untuk bertafakur kepada Allah SWT atas segala ciptaanya di bumi ini khususnya dalam hal ini adalah air. Sebagaimana kita ketahui bahwasanya air sangat bermanfaat bagi tumbuhan. Sesuai dengan Al-Qur'an surah Al-An'am ayat 99 yang memiliki arti:

“Dan Dialah yang menurunkan air dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan, maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau, Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang kurma, mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah, dan menjadi masak. Sungguh, pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.”

Pada ayat tersebut berdasarkan dari tafsir al-misbah menjelaskan tentang tumbuhan, ada beberapa proses yang dilalui untuk buah tumbuh mencapai fase matang, yang apabila buah sudah matang maka buah memiliki beberapa kandungan zat didalamnya antara lain protein, zat gula, karbo, serta zat tepung. Semuanya itu terbentuk karena bantuan cahaya matahari yang mana cahaya tersebut masuk melalui klorofil. Selain itu, ayat tersebut juga menjelaskan bahwa air hujan adalah satu satunya sumber air yang bersih untuk tanah (Quraish Shihab, 2007).

Selain sebagai bentuk tafakur kepada Allah SWT atas segala ciptaannya yang dalam hal ini adalah air, sistem ini diharapkan dapat mengurangi sifat berlebih-lebihan para petani dalam hal penyiraman, pengaturan pH pada tanaman, yang dalam artian semua pemberian atau perawatan yang diberikan petani untuk tanaman sesuai berdasarkan kebutuhan saja, tidak berlebihan. Hal tersebut selaras dengan potongan ayat Al-Quran Surah Al-A'raf 55 yang memiliki arti “....., *Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang melampaui batas*”. Selain itu dengan adanya sistem ini

memberikan kontribusi untuk turun menjaga alam terutama dari kerusakan-kerusakan yang tidak diinginkan, sebagaimana dalam Al-Qur'an surah Al-Baqoroh ayat 205 yang artinya:

“Dan apabila ia berpaling (dari kamu), ia berjalan di bumi untuk mengadakan kerusakan padanya, dan merusak tanam-tanaman dan binatang ternak dan Allah tidak menyukai kebinasaan”

Pada ayat tersebut, sesuai dengan tafsir Quraish shihab yang didalamnya menjelaskan mengenai apabila seseorang diberi kekuasaan, namun seseorang itu tidak menjaga atau melakukan perbaikan akan tetapi justru menghancurkan dan merusak tanaman maupun binatang ternak, maka Allah tidak menyukai orang seperti itu, karena Allah tidak menyukai kerusakan (Quraish Shihab, 2007).

Tujuan dari adanya sistem ini salah satunya yakni untuk mempermudah pekerjaan para petani dalam hal memonitoring dan melakukan pengontrolan pada penyiraman, suhu dan pH pada tanaman. Hal tersebut dapat membantu meringkankan pekerjaan petani karena sistem melakukan tugasnya secara otomatis. Tujuan ini merujuk pada suatu hadist yang diriwayatkan oleh Thabrani yang artinya sebagai berikut:

“Manusia yang paling dicintai oleh Allah adalah manusia yang paling banyak bermanfaat dan berguna bagi manusia yang lain, sedangkan perbuatan yang paling dicintai Allah adalah memberikan kegembiraan pada orang lain ataupun menghapuskan kesusahan orang lain....” (HR. Thabrani).

Dengan adanya sistem dan alat ini diharapkan dapat memberikan kegembiraan dan mengurangi kesusahan pada para petani dalam proses perawatan tanaman. Selain itu berdasarkan pada ayat-ayat rujukan yang disebut di atas, dengan dibuatnya sistem ini dapat menjadikan kita menjadi pribadi yang selalu mengingat Allah dan menjaga kelestarian Alam.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Tingkat akurasi pada sistem yang telah dibuat diketahui dengan cara melakukan pengujian sistem, yakni membandingkan output pada mikrokontroller dengan output pada perhitungan matlab, sehingga didapatkan tabel *confussion matrix* untuk memperoleh nilai akurasi. Adapun nilai akurasi pada fitur penyiraman adalah sebesar 97,6%, fitur pengaturan suhu nilai akurasinya adalah 100% serta nilai akurasi pada fitur pengatur pH sebesar 98,8%. Selain didapatkan nilai akurasi dari perbandingan tersebut juga diketahui nilai rata-rata error pada fitur penyiraman adalah sebesar 6.96%, nilai rata-rata error pada fitur pengaturan suhu adalah 1,93% dan nilai rata-rata error pada fitur pengaturan pH sebesar 2,66%.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan oleh penulis untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada saat perakitan alat dalam proses pembuatan sistem, untuk kedepannya diharapkan nantinya dapat beralih pada *Printed Circuit Board* agar dihasilkan rangkaian yang lebih tertata rapi.

2. Diharapkan pada penelitian selanjutnya, sistem dapat terintegrasi dengan notifikasi via aplikasi chatting seperti telegram untuk mengetahui kondisi tanaman dan aksi atau output yang telah dilakukan oleh sistem secara otomatis.
3. Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan *greenhouse* belum memenuhi standar *greenhouse* yang baik, oleh karena ini penulis berharap pada ahli-ahli *greenhouse* untuk dapat membuat *greenhouse* sesuai standart dan memutakhirkan sistem yang telah dibuat oleh penulis.
4. Penulis menyarankan waktu penelitian yang lebih lama agar terdapat banyak variasi data terutama pada pH yang sangat sulit untuk berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrori Muchammad, H. P., & Amrul. (2015). *Aplikasi Logika Fuzzy Metode Mamdani*. XI(2), 91–99.
https://scholar.google.co.id/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=OMkvO-4AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=OMkvO-4AAAAJ:fb8zXXH2BUC
- Admindpu. (2020). *Jenis-Jenis Irigasi*. DPU Kulon Progo.
<https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/320/jenis-jenis-irigasi>
- Afifah, N. N., Priramadhi, R. A., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2020). Sistem Pengontrolan Pengairan Budidaya Tanaman Tomat Berdasarkan Kelembaban dan Suhu Tanah berbasis *Artificial intelligence*. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 8791–8801.
- Agrapana. (2020). *Internet of Things (IoT) dalam Industri Pertanian 4.0*.
<https://himarekta.sith.itb.ac.id/?p=419>
- Alam, R. L., & Nasuha, A. (2020). *Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic Controller berbasis IoT*. 5(1), 11–20. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i1.34587>
- Ali, T. A. A. (2018). Precision Agriculture Monitoring System using *Internet of Things (IoT)*. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(4), 2961–2970. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.4493>
- Alim, M. F. (2019). *Konsep dan Manfaat Greenhouse*. Pusat Manajemen Pengetahuan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gajah Mada.
<http://kmc.tp.ugm.ac.id/kms/konsep-dan-manfaat-greenhouse/>
- Antonio, T. T. (2019). *Green House Sebagai Alternatif Budidaya Tanaman Perkotaan*. Cybext. <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/81943/Green-House-Sebagai-Alternatif-Budidaya-Tanaman-Perkotaan/>
- Asih, M. S. (2018). *Sistem Pendukung Keputusan Fuzzy Mamdani pada Alat Penyiraman Tanaman Otomatis*. 5341(April), 41–52.
- Boedi Setiawan, A., Prasetya, B., & Febrinda Hidayatulail, B. (2019). *Fuzzy Mamdani Pada Tanaman Tomat Hidroponik (Mamdani Fuzzy on Hydroponics Tomato Plants)*. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*,

3(2), 228. <https://doi.org/10.21070/jeeee-u.v3i2.2471>

Caesar Pats Yahwe, Isnawaty, L. . F. A. (2016). Rancang Bangun Prototype System Monitoring Kelembaban Tanah Melalui Sms Berdasarkan Hasil Penyiraman Tanaman System Monitoring Kelembaban Tanah Melalui Sms Berdasarkan Hasil Penyiraman Tanaman. *SemanTIK*, 2(1), 97–110. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ccr.2005.01.030>

Ekaputra, E., Yanti, D., Saputra, D., & Irsyad, F. (2017). Rancang Bangun Sistem Irigasi Tetes untuk Budidaya Cabai (*Capsicum Annum L .*) dalam *Greenhouse* di Nagari Biaro , Kecamatan Ampek Angkek , Kabupaten DESIGN OF DRIP IRRIGATION SYSTEM FOR CHILI (*CAPSICUM ANNUM L .*) CULTIVATION IN *GREENHOUSE* IN NAGARI BIARO. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 103–112.

Elijah, O., Member, S., Rahman, T. A., & Orikumhi, I. (2018). *An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture : Benefits and Challenges*. June. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2844296>

Fadlina, I. M., Supriyono, B., & Soeaidy, S. (2013). PERENCANAAN PEMBANGUNAN PERTANIAN BERKELANJUTAN (Kajian tentang Pengembangan Pertanian Organik di Kota Batu) Sustainable Development of Agrocultural (Studies on Organic Agricultural Development in Batu City). *J-Pal*, 4(1), 43–57. <http://jpal.ub.ac.id/index.pHp/jpal/article/view/115/115>

Ghosh, A., Chakraborty, D., & Law, A. (2018). *Artificial intelligence* in Internet of things. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 3(4), 208–218. <https://doi.org/10.1049/trit.2018.1008>

Ginangjar, R., Candra, R., & Kembaren, S. B. (2018). Kendali Dan Pemantauan Kelembaban Tanah, Suhu Ruangan, Cahaya Untuk Tanaman Tomat. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 23(3), 166–174. <https://doi.org/10.35760/ik.2018.v23i3.2372>

Gunawan, E. P. (2020). *ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF THINGS (AIOT)*. Binus.Ac.Id. <https://binus.ac.id/malang/2020/11/artificial-intelligence-of-things-aiot/>

Gunawan, R., Andhika, T., . S., & Hibatulloh, F. (2019). Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 7(1), 66–78. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v7i1.1640>

- Hari, Y., Utama, Y. A. K., & Budijanto, A. (2017). Pengembangan Sistem Kendali Cerdas dan Monitoring Pada Budidaya Buah Tomat. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*, 151–156.
- Irvan. (2019). *Budidaya tomat*. Cybex. <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/84547/BUDIDAYA--TOMAT/>
- Jaya, A. M. A. P. (2021). PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS DENGAN METODE FUZZY MAMDANI. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komputer*, 7(1), 106–112.
- Komaludin, D. (2018). Penerapan Teknologi Internet of Thing (IoT) pada Bisnis Budidaya Tanaman Hidroponik sebagai Langkah Efisiensi Biaya Perawatan. *Festival Riset Ilmiah Manajemen & Akuntansi*, 682–690.
- Konstruksi, P. P. D. P. S. D. A. D. (2018). *Modul 10 Kebutuhan Air*. https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2018/07/947a7_Modul_10_Kebutuhan_Air.docx
- Kurniawan, R., Kurniawan, W., & Maulana, R. (2019). *Prototype Rancang Bangun Sistem Cerdas Pengatur Otomasi Suhu , Kelembaban , dan Sirkulasi Udara Pada Greenhouse Menggunakan Metode Fuzzy logic*. 3(8), 7981–7989.
- Kusuma, S. R., Hartati, R. S., & Sukerayasa, I. W. (2020). Metode Fuzzy Logic Terhadap Hasil Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang. *Jurnal SPEKTRUM*, 7(1), 18–24.
- Kusumaningrum, S. I. (2019). Pemanfaatan Sektor Pertanian Sebagai Penunjang Pertumbuhan Perekonomian Indonesia. *Jurnal Transaksi*, 11(1), 80–89.
- M. Sugeng Riadi, Erli Saputra, D. U. (2016). *Penerapan AI pada Game Card Battle Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Sugeno*. 2016(x), 1–10. <http://eprints.mdp.ac.id/id/eprint/1855>
- Mat, I., Mohd Kassim, M. R., Harun, A. N., & Mat Yusoff, I. (2016). IoT in Precision Agriculture applications using Wireless Moisture Sensor Network. *ICOS 2016 - 2016 IEEE Conference on Open Systems*, 24–29. <https://doi.org/10.1109/ICOS.2016.7881983>
- Maulana, E. (2010). *Pengaruh Interval Waktu Pemberian Air terhadap Produktivitas Tanaman Tomat Di Lahan kering Dataran Rendah pada Musim Kemarau The Effect of Irrigation Water Interval towards Tomato Plants Productivity at Lowland Dry Farming in Dry Season*. 10(3), 207–212.

- Maulana, M. R., Hannats, M., Ichsan, H., & Purnomo, S. (2018). *Penerapan Metode Logika Fuzzy Untuk Alat Kontrol Kelembapan Tanah Pada Greenhouse Laboratorium Tanah BPTP Jawa Timur*. 2(11).
- Muanah, M., Karyanik, K., & Romansyah, E. (2020). Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Penerapan Teknik Irigasi Tetes Pada Lahan Kering. *Jurnal Agrotek Ummat*, 7(2), 103. <https://doi.org/10.31764/jau.v7i2.3128>
- Munir, R. (n.d.). *Pengantar Logika Fuzzy*.
- Negara, i dewa gede jaya, Budianto, m. bagus, Supriyadi, A., & Saidah, H. (2020). Analisis Kebutuhan Air Tanaman Dengan Metode Caoli. *GARA*, 14(1), 419–425.
- News, C. (2016). *Hemat dan Efisien, Petani Tomat di Batu Terapkan Irigasi Tetes*. Cendananews.Com. <https://www.cendananews.com/amp/2016/02/hemat-dan-efisien-petani-tomat-di-batu-terapkan-irigasi-tetes.html>
- Nusantara, E. V., Ardiansah, I., & Bafdal, N. (2021). Desain Sistem Otomatisasi Pengendalian Suhu Rumah Kaca Berbasis Web Pada Budidaya Tanaman Tomat. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 9(1), 34–42. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.05>
- Osuwa, A. A., Ekhorgbon, E. B., & Fat, L. T. (2019). The application of *artificial intelligence* in the internet of things. *Proceedings - 2019 International Conference on Information Technology and Computer Application, ITCA 2019*, 141–144. <https://doi.org/10.1109/ITCA49981.2019.00038>
- Pertanian, D. D. (2015). *Pedoman Teknis Budidaya Tomat*. <Http://Distan.Jogjaprovo.go.id/>.
- Pollo, D. E. D. G. (2019). *Automatic Watering Device for Tomato Using Soil Moisture Sensor*. April.
- Prasetya, B., Setiawan, A. B., & Hidayatulail, B. F. (2019). Pengaturan pH Media Tanam Dan Suhu Tanaman Tomat Pada Sistem Hidroponik Drip Menggunakan Fuzzy Mamdani. *SinarFe7*, 220–224.
- Prathibha, S. R., Hongal, A., & Jyothi, M. P. (2017). IOT Based Monitoring System in Smart Agriculture. *Proceedings - 2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology, ICRAECT 2017*, 81–84. <https://doi.org/10.1109/ICRAECT.2017.52>
- Putri, A. R., Suroso, & Nasron. (2019). Perancangan Alat Penyiram Tanaman Otomatis

pada Miniatur *Greenhouse* Berbasis IOT. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2019*, 155–159.

Quraish Shihab. (2007). *Tafsir Al-Misbah* (Volume 9).

Rohmawati, N., Karlina, L., Lasahido, S., Sari, R., & Puspitasari, L. (2014). *Pengendalian Temperature Fermentor Yogurt Menggunakan Fuzzy Logic*.

Sapei, A. (2006). Irigasi tetes. *Teknik Tanah Dan Air Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB*, 1–44.

Susila, A. D., Suarni, S., Pramono, H., & Aksari, O. (2011). APLIKASI ZAT PENGATUR TUMBUH PADA BUDIDAYA TOMAT CHERRY (*Lycopersicon esculentum* Var. *Cerasiforme*) SECARA HIDROPONIK. *Prosiding Seminar Nasional PERHORTI, November*, 23–24.

Syadza, Q., Permana, A. G., & Ramadan, D. N. (2018). Pengontrolan dan Monitoring Prototype *Greenhouse* Menggunakan Mikrokontroler dan Firebase. *Eproceeding Telkom University Open Library*, 4(1), 192–197.

Tajrie, A. M., Sumaryo, S., Ekaputri, C., Elektro, F. T., & Telkom, U. (2017). OTOMATIS PADA SMART GREENHOUSE MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY AUTOMATIC LIGHTING AND WATERING PLANTS CONTROL SYSTEM ON. 4(3), 3216–3223.

Tando, E. (2019). Review : Pemanfaatan Teknologi *Greenhouse* Dan Hidroponik Sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim Dalam Budidaya Tanaman Hortikultura. *Buana Sains*, 19(1), 91. <https://doi.org/10.33366/bs.v19i1.1530>

Tani, P. (2020). *Pentingnya Penggunaan IoT Di Bidang Pertanian Saat Pandemi*. <https://paktanidigital.com/artikel/pentingnya-penggunaan-iot-di-bidang-pertanian-saat-pandemi/#.YIQzbJAzbiU>

Zhang, P., Zhang, Q., Liu, F., Li, J., Cao, N., & Song, C. (2017). The Construction of the Integration of Water and Fertilizer Smart Water Saving Irrigation System Based on Big Data. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering and IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, CSE and EUC 2017*, 2, 392–397. <https://doi.org/10.1109/CSE-EUC.2017.258>

Zulkarnain, M. F., Lienjte, K. T., & Mawara, J. M. (2017). ANALISIS KETERSEDIAAN AIR UNTUK TANAMAN TOMAT (*Lycopersicum esculentum* Mill) DAN JAGUNG (*Zea mays* L.) DI TONSEWER. *Cocos*, 1(5).

