

**SISTEM KENDALI PH PADA TANAMAN HIDROPONIK *DEEP FLOW*  
*TECHNIQUE* (DFT) MENGGUNAKAN *FUZZY* MAMDANI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**BUNGA CAHYANING UNTARI**  
NIM. 18650031



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**SISTEM KENDALI PH PADA TANAMAN HIDROPONIK *DEEP FLOW*  
*TECHNIQUE* (DFT) MENGGUNAKAN *FUZZY MAMDANI***

**SKRIPSI**

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

**Oleh:  
BUNGA CAHYANING UNTARI  
NIM. 18650031**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

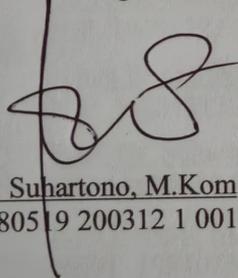
**SISTEM KENDALI PH PADA TANAMAN HIDROPONIK *DEEP FLOW*  
*TECHNIQUE* (DFT) MENGGUNAKAN *FUZZY MAMDANI***

**SKRIPSI**

Oleh:  
**BUNGA CAHYANING UNTARI**  
**NIM. 18650031**

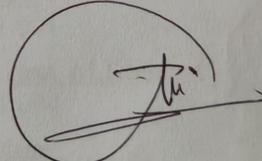
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal : 30 September 2022

Pembimbing I



Prof. Dr. Suhartono, M.Kom  
NIP.19680519 200312 1 001

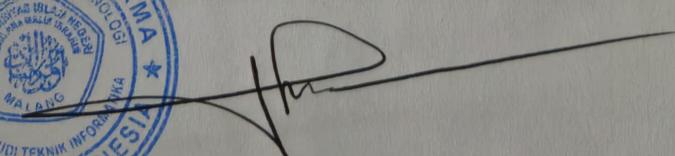
Pembimbing II



Ajib Hanani, M.T  
NIDT. 19840731 20160801 1 076

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



  
Dr. Fachrul Kurniawan ST., M.MT., IPM  
NIP. 19771020 200912 1 001

**HALAMAN PERNGESAHAN**

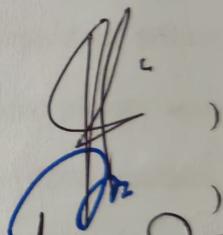
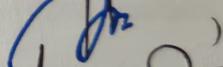
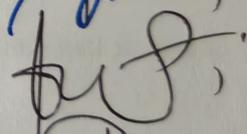
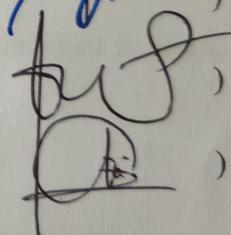
**SISTEM KENDALI PH PADA TANAMAN HIDROPONIK DEEP FLOW  
TECHNIQUE (DFT) MENGGUNAKAN FUZZY MAMDANI**

**SKRIPSI**

**Oleh:**  
**BUNGA CAHYANING UNTARI**  
**NIM. 18650031**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)  
Pada Tanggal 18 Oktober 2022

**Susunan Dewan Penguji**

Ketua Penguji	<u>Dr.Totok Chamidy, M.Kom</u> NIP. 19691222 200604 1 001	(  )
Anggota Penguji 1	<u>Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom</u> NIP. 19831213 201903 1 004	(  )
Anggota Penguji 2	<u>Prof. Dr. Suhartono, M.Kom</u> NIP.19680519 200312 1 001	(  )
Anggota Penguji 3	<u>Ajib Hanani, M.T</u> NIDT. 19840731 20160801 1 076	(  )

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



Dr.Fachrul Kurniawan ST., M.MT ., IPM  
NIP. 19771020 200912 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bunga Cahyaning Untari  
NIM : 18650031  
Fakultas/Program studi : Sains dan Teknologi/Teknik Informatika  
Judul Skripsi : Sistem Kendali pH Pada Tanaman Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) Menggunakan *Fuzzy Mamdani*.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan 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, 30 September 2022  
Yang membuat pernyataan,



Bunga Cahyaning Untari  
NIM. 18650031

**HALAMAN MOTTO**

“Urip iku Urup”

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wata'ala

Shalawat serta salam kepada Rasulullah Shalallahu 'alaihi wasallam

Dengan segenap hati, penulis mempersembahkan sebuah karya ini kepada:

Kedua orang tua tercinta, Bapak Eddy Susanto dan Ibu Trismini yang telah memberikan motivasi terbesar bagi penulis, yang selalu membimbing dan menuntun dengan sabar, yang selalu mendoakan, serta memberikan dukungan penuh dan juga kasih sayang yang tak terhingga.

Kakak, adik, dan keponakan dari penulis, Amalia Noor Lufiatunisa, Chandra Tris Dianto, dan Berlian Kusuma Elsyia yang senantiasa menemani, menghibur serta memberikan dukungan selama penulis menempuh pendidikan hingga saat ini. Tak lupa keluarga di rumah yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang juga memberikan doa untuk penulis.

Kepada bapak Prof. Dr. Suhartono selaku dosen pembimbing I dan juga bapak Ajib Hanani, M.T selaku dosen pembimbing II yang senantiasa sabar dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan skripsi. Tak lupa seluruh dosen dan staff program studi Teknik Informatika Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.

Teman-teman Unity of Informatics Force yang selalu memberikan energi positif dan memberikan dukungan terhadap penulis. Dan juga semua orang yang telah membantu dalam menyelesaikan pendidikan, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr Wb*

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Kendali pH Pada Tanaman Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) Menggunakan *Fuzzy Mamdani*.” ini dengan baik dan lancar. Tak lupa Sholawat serta salam kami curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini. Tujuan dari penyusunan skripsi ini guna memenuhi salah satu syarat untuk bisa menempuh ujian sarjana computer pada Fakultas Sains dan Teknologi (FSAINTEK) Program Studi Teknik Informatika di Universitas Islam (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Selama proses pengerjaan skripsi ini banyak sekali pihak yang terlibat membantu secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karenanya, penulis banyak mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Hariani, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. Suhartono selaku Dosen Pembimbing I yang selalu sabar membimbing dalam menyelesaikan skripsi.

5. Bapak Ajib Hanani, M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dalam menyelesaikan skripsi.
6. Dr. Totok Chamidy, M.Kom selaku Dosen Penguji I dan Bapak Johan Ericka Wahyu Prakasa, M.Kom selaku Dosen Penguji II yang memberikan arahan dalam menyelesaikan skripsi.
7. Dr. M. Amin Hariyadi selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan motivasi serta saran selama pendidikan.
8. Orang tua tercinta yang telah mendukung, memberikan motivasi, memberikan semangat, bimbingan, dan juga doa hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
9. Kakak, adik, dan juga keponakan yang telah memberikan doa, motivasi, hiburan dan dukungan penuh hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
10. Seluruh keluarga yang telah mendukung, memberikan motivasi dan selalu mendoakan penulis.
11. Mochammad Rizqy Pratama yang telah menemani dan juga membantu penulis selama ini.
12. Teman-teman Unity of Informatics Force yang telah memberikan semangat dan juga doa kepada penulis.
13. Penulis sendiri yang telah berusaha untuk menyelesaikan skripsi.
14. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis berharap kritik serta saran untuk penelitian kedepannya. Penulis juga berharap terdapat manfaat yang bisa diambil dari skripsi penulis.

*Waasalamualaikum Wr. Wb*

Malang, 11 Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>نبذة مختصرة.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Tanaman Pakcoy .....	8
2.2.2 Arduino Uno (ATMega328) .....	9
2.2.3 Selenoid valve .....	11
2.2.4 NodeMCU ESP8266 .....	12
2.2.5 Sensor pH.....	13
2.2.6 DC Step Down .....	14
2.2.7 Water pump.....	15
2.2.8 Power supply.....	16
2.2.9 Relay .....	17
2.2.10 Metode Fuzzy Logic Control .....	18

2.2.10.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	18
2.2.10.2 Fungsi Keanggotaan.....	19
2.2.10.3 <i>Fuzzy Logic Control Mamdani</i> .....	20
<b>BAB III KONSEP PERANCANGAN.....</b>	<b>22</b>
3.1 Desain Penelitian.....	22
3.2 Pengumpulan Data.....	22
3.2.1 Data Primer.....	23
3.2.2 Data Sekunder.....	23
3.3 Analisis Kebutuhan.....	24
3.3.1 Kebutuhan Hardware.....	24
3.3.2 Kebutuhan Software.....	25
3.4 Desain Sistem.....	25
3.5 Implementasi Metode <i>Fuzzy logic control Mamdani</i> .....	28
3.5.1 Fuzzifikasi.....	29
3.5.2 Inferensi <i>Fuzzy</i> .....	33
3.5.3 Defuzzifikasi.....	36
3.6 Rancangan Eksperimen.....	37
<b>BAB IV UJI DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1 Hasil Pengujian.....	39
4.1.1 Pengujian Alat.....	39
4.1.1.1 Pengujian Sensor pH dengan pH Meter.....	39
4.1.1.2 Pengujian Pompa Air.....	41
4.1.2 Pengujian Sistem.....	42
4.1.2.1 Uji Mikrokontroler dengan Tools.....	42
4.1.3 Hasil Pengamatan Tanaman.....	46
4.2 Pembahasan.....	48
4.2.1 Perhitungan <i>fuzzy logic</i> .....	48
4.2.1.1 Perhitungan <i>Fuzzy Logic</i> dengan <i>Google Colab</i> .....	48
4.2.1.2 <i>Source code</i> Mikrokontroler.....	52
4.2.2 Sistem Hardware.....	58
4.2.2.1 Rangkaian Sistem.....	58
4.2.2.2 NodeMCU ESP8266.....	59
4.2.3 Sistem Interface.....	60
4.2.3.1 <i>Fuzzy Logic</i> .....	60

4.2.4 Sistem Hidroponik.....	61
4.3 Integrasi Islam.....	63
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>66</b>
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino UNO ATmega328 .....	10
Gambar 2.2 Arduino UNO ATmega328 Pin Mapping .....	10
Gambar 2.3 <i>Solenoid valve</i> .....	12
Gambar 2.4 NodeMCU ESP8266 .....	13
Gambar 2.5 Pin Mapping NodeMCU8266 .....	13
Gambar 2.6 Sensor pH .....	14
Gambar 2.7 DC Step Down .....	15
Gambar 2.8 <i>Water pump</i> .....	16
Gambar 2.9 <i>Power supply</i> .....	17
Gambar 2.10 <i>Relay / Switch</i> .....	18
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian .....	22
Gambar 3.2 Desain Sistem .....	26
Gambar 3.3 Flowchart Kontrol pH .....	27
Gambar 3.4 Flowchart Proses <i>Fuzzy Logic Control</i> .....	29
Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Kesalahan .....	30
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Perubahan Kesalahan .....	31
Gambar 4.1 Pengujian Sensor pH dan pH Meter .....	41
Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Tanaman .....	48
Gambar 4.3 Defuzzifikasi Data Sampel .....	52
Gambar 4.4 Rangkaian Sistem Arduino UNO .....	59
Gambar 4.5 NodeMCU ESP8266 .....	60
Gambar 4.6 Tampilan Website Hidroponik .....	61
Gambar 4.7 Instalasi Hidroponik DFT .....	62
Gambar 4.8 Sensor pH .....	62
Gambar 4.9 <i>Solenoid valve</i> .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO ATmega328 .....	11
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Solenoid valve</i> .....	12
Tabel 2.3 Spesifikasi NodeMCU ESP8266 .....	13
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor pH .....	14
Tabel 2.5 Spesifikasi DC Step Down .....	15
Tabel 2.6 Spesifikasi <i>Water pump</i> .....	16
Tabel 2.7 Spesifikasi <i>Power supply</i> .....	17
Tabel 2.8 Spesifikasi <i>Relay</i> .....	18
Tabel 3.1 Rule Base.....	33
Tabel 3.2 Rancangan Uji Coba Sensor pH .....	37
Tabel 3.3 Rancangan Uji Coba Metode <i>Fuzzy Logic Control</i> .....	38
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pembacaan Sensor pH dan pH Meter.....	40
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Solenoid valve</i> .....	42
Tabel 4.3 Perbandingan Alat Kendali dan Google Colab (Asam).....	42
Tabel 4.4 Perbandingan Alat Kendali dan Google Colab (Basa) .....	44
Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Tanaman Dengan IoT .....	46
Tabel 4.6 Hasil Pegamatan Tanaman Tanpa IoT.....	47
Tabel 4.7 Rule Base .....	50

## ABSTRAK

Untari, Bunga Cahyaning. 2022. **Sistem Kendali pH Pada Tanaman Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) Menggunakan *Fuzzy Mamdani***. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Prof. Dr. Suhartono, M.Kom., (II) Ajib Hanani, M.T.

---

Kata Kunci: *Fuzzy Mamdani, Internet of Things, Deep Flow Technique, Arduino*

Hidroponik merupakan salah satu alternatif budidaya tanaman yang fleksibel dan efisien. Teknik hidroponik sendiri sangat beragam, salah satunya *Deep Flow Technique* (DFT). Dikombinasikan dengan kecanggihan teknologi di zaman sekarang yaitu *Internet of Things* (IoT) akan lebih memudahkan pengontrolan tanaman hidroponik dari jarak jauh. Dalam proses budidaya tanaman hidroponik, *power of hydrogen* (pH) pada media tanam sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Dengan adanya sistem kendali pH pada tanaman hidroponik ini, akan membantu pengontrolan terhadap tanaman secara berkala. Dalam penelitian ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan NodeMCU yang digunakan sebagai sarana pengiriman data ke *web server*. Kemudian terdapat satu sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor pH meter, yang kemudian diolah dan dijadikan 2 parameter. Metode yang digunakan dalam pembuatan sistem kendali pH ini adalah *fuzzy logic* tipe Mamdani yang mana *output* dari penelitian ini berupa durasi nyala *solenoid valve* dalam mengeluarkan cairan asam dan basa sesuai dengan kebutuhan tumbuhan. Sistem kendali pH ini berhasil dibangun dan berhasil mengirimkan data ke *web server*. Hasil pengujian sensor pH dengan beberapa larutan didapatkan nilai akurasi sebesar 97,99%. Untuk pengujian metode *fuzzy logic* tipe Mamdani ini menggunakan *Google Colab* sebagai perbandingan. Dari hasil perbandingan tersebut didapatkan nilai akurasi sistem sebesar 99,975% untuk katup asam dan 99,994% untuk katup basa.

## ABSTRACT

Untari, Bunga Cahyaning. 2022. *pH Control System in Deep Flow Hydroponic Plants Technique (DFT) Using Fuzzy Mamdani*. Thesis. Department of Informatics Engineering, Faculty of Science and Technology. Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Supervisor: (I) Prof. Dr. Suhartono, M. Kom., (II) Ajib Hanani, M.T.

---

*Keyword: Fuzzy Mamdani, Internet of Things, Deep Flow Technique, Arduino*

*Hydroponics is a flexible and efficient alternative to plant cultivation. There are many different hydroponic techniques, one of which is the Deep Flow Technique (DFT). Combined with today's technological sophistication, the Internet of Things (IoT) will make it easier to control hydroponic plants remotely. In the process of cultivating hydroponic plants, the power of hydrogen (pH) in the growing media greatly affects plant growth. With the pH control system in this hydroponic plant, it will help control the plant on a regular basis. In this study using Arduino Uno as a microcontroller and NodeMCU which is used as a means of sending data to a web server. Then there is one sensor used in this study, namely the pH meter sensor, which is then processed and used as 2 parameters. The method used in the manufacture of this pH control system is Mamdani type fuzzy logic where the output of this research is the duration of the solenoid valve flame in removing acid and alkaline liquids according to plant needs. This pH control system was successfully built and successfully sent data to the web server. The results of testing the pH sensor with several solutions obtained an accuracy value of 97.99%. For testing the Mamdani-type fuzzy logic method, Google Colab is used as a comparison. From the comparison results, the system accuracy value is 99.975% for the acid valve and 99.994% for the base valve.*

## نبذة مختصرة

Untari ، Bunga Cahyaning. 2022. نظام التحكم في درجة الحموضة في النباتات المائية ذات التدفق العميق تقنية (DFT) باستخدام ضبابي ممداني. فرضية. قسم هندسة المعلوماتية بكلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية ، مالانج. المشرف: (1) أ.د.سوهارتونو م. كوم (2) عجيب حناني ط.

الكلمة الرئيسية: *Fuzzy Mamdani* ، إنترنت الأشياء ، تقنية التدفق العميق ، *Arduino*

الزراعة المائية هي بديل مرن وفعال لزراعة النباتات. هناك العديد من تقنيات الزراعة المائية المختلفة ، أحدها هو تقنية التدفق العميق (DFT). جنبًا إلى جنب مع التطور التكنولوجي اليوم ، ستجعل إنترنت الأشياء (IoT) من السهل التحكم في النباتات المائية عن بُعد. في عملية زراعة النباتات المائية ، تؤثر قوة الهيدروجين (pH) في وسط النمو بشكل كبير على نمو النبات. مع نظام التحكم في درجة الحموضة في هذا النبات المائي ، سيساعد في التحكم في النبات بشكل منتظم. في هذه الدراسة ، استخدم *Arduino Uno* كمتحكم دقيق و *NodeMCU* الذي يستخدم كوسيلة لإرسال البيانات إلى خادم الويب. ثم هناك مستشعر واحد مستخدم في هذه الدراسة ، وهو مستشعر مقياس الأس الهيدروجيني ، والذي تتم معالجته واستخدامه كمعلمتين. الطريقة المستخدمة في تصنيع نظام التحكم في الأس الهيدروجيني هذا هي نوع ممداني المنطق الضبابي حيث نتاج هذا البحث هو مدة لهب صمام الملف اللولبي في إزالة السوائل الحمضية والقلوية حسب احتياجات النبات. تم بناء نظام التحكم في الأس الهيدروجيني هذا بنجاح وأرسل البيانات بنجاح إلى خادم الويب. حصلت نتائج اختبار حساس الأس الهيدروجيني بعدة حلول على دقة تصل إلى 97.99%. لاختبار طريقة المنطق الضبابي من نوع Mamdani ، يتم استخدام *Google Colab* كمقارنة. من نتائج المقارنة ، تبلغ قيمة دقة النظام 99.975% للصمام الحمضي و 99.994% للصمام الأساسي. تم بناء نظام التحكم في الأس الهيدروجيني هذا بنجاح وأرسل البيانات بنجاح إلى خادم الويب. حصلت نتائج اختبار حساس الأس الهيدروجيني بعدة حلول على دقة تصل إلى 97.99%. لاختبار طريقة المنطق الضبابي من نوع Mamdani ، يتم استخدام *Google Colab* كمقارنة. من نتائج المقارنة ، تبلغ قيمة دقة النظام 99.975% للصمام الحمضي و 99.994% للصمام الأساسي.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era serba keterbatasan lahan seperti saat ini, hidroponik menjadi salah satu alternatif untuk budidaya tanaman baik di wilayah urban maupun sub urban. Dalam implementasinya, hidroponik ini memiliki beberapa jenis sistem. Salah satu yang sering digunakan adalah sistem *Deep Flow Technique*. Dalam sistem hidropopnik DFT menggunakan air sebagai media untuk menyediakan nutrisi bagi tanaman. Air dapat menumbuhkan berbagai jenis tanaman yang mana hal ini disebutkan di dalam Al-Qur'an Surat An-Nahl Ayat 11 yang berbunyi :

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

*"Dia menumbuhkan bagi kalian dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan."* (QS An Nahl: 11)

Ayat 11 pada Surah An-Nahl merupakan bukti dan juga petunjuk yang memperlihatkan bahwa tiada Tuhan selain Allah. Allah menumbuhkan semuanya dari bumi dengan air yang sama, tetapi hasilnya berbeda jenis, rasa, warna, bau, dan bentuknya menurut tafsir Ibnu Katsir (National & Pillars, n.d.). Penelitian ini memiliki kesesuaian dengan ayat di atas yaitu air digunakan untuk menumbuhkan tanaman yang beraneka ragam dengan nikmat yang Allah berikan yakni berupa air.

Metode tanam dalam hidroponik *Deep Flow Technique* ini yaitu meletakkan akar tanaman dalam air nutrisi di kedalaman 4-6 cm, dengan kondisi air yang di sirkulasi terus menerus selama 24 jam (Sesanti & Sismanto, 2016). Selain nutrisi, yang tidak kalah penting bagi pertumbuhan dan perlu perhatian khusus yaitu adalah *potential of hydrogen* (pH), dimana pH ini adalah kondisi asam atau basa dari suatu larutan. pH ini sendiri sangat berpengaruh pada penyerapan nutrisi yang dibutuhkan bagi tanaman. Tidak menutup kemungkinan selama masa budidaya tanaman hidroponik akan mengalami perubahan terhadap pH larutan dari faktor eksternal atau gangguan dari lingkungan sekitar.

Disebutkan di atas bahwa hidroponik dengan sistem *Deep Flow Technique* ini bersirkulasi secara terus menerus sehingga perlu pengecekan berkala untuk memantau pertumbuhan tanaman. Dalam prakteknya, pengecekan pH yang ada saat ini masih menggunakan pengecekan secara manual dengan menggunakan pH meter serta memberikan larutan penyeimbang pH secara manual. Hal tersebut akan memakan banyak waktu dan tenaga dalam pelaksanaannya, sehingga dianggap tidak efisien. Sehingga diperlukan suatu sistem kontrol yang mampu mengontrol pH secara berkala dengan cara yang otomatis.

Dalam pembuatan sistem kontrol pH pada media tanam hidroponik telah dilakukan dengan berbagai macam metode kendali salah satunya adalah *fuzzy* (Rozie et al., 2021); (Jinawi et al., 2021); (Syafei & Watiasih, n.d.); (Luthfi Andhikaputra et al., 2021). Metode *fuzzy* merupakan metode yang banyak sekali digunakan dalam pembuatan sistem kontrol terutama metode *fuzzy* mamdani (Sembiring et al., 2020); (Murtadho et al., 2021). Dalam implementasinya, metode

*fuzzy* mamdani dapat menerapkan konsep *open-loop* atau *close-loop*. Dimana konsep *open-loop* tidak mempertimbangkan adanya umpan balik dari pH yang terukur untuk pengendalian. Sedangkan konsep *close-loop* terdapat sinyal umpan balik pH terukur ke pengendali.

Untuk implementasi nya, budidaya tanaman hidroponik ini dapat memanfaatkan teknologi yang ada seperti *Internet of Things* (IoT). Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah pemantauan jarak jauh dan juga meningkatkan jangkauan pendeteksian sensor. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sholihah dkk (Sholihah et al., 2021) juga mengkombinasikan antara *fuzzy logic control* dan juga IoT untuk pengendalian TDS nutrisi. Sedangkan Pancawati dkk (Pancawati & Yulianto, 2016) melakukan kombinasi yang sama untuk kendali pH dalam sistem hidroponik NFT pada penelitiannya.

Dari penjabaran di atas, di dapatkan sebuah ide untuk membuat sistem kendali *potential of hydrogen* (pH) dalam sistem hidroponik *Deep Flow Technique* berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan dibuatnya sistem kendali ini, diharapkan dapat memudahkan masyarakat dalam budidaya tanaman secara hidroponik yang mana hal ini merupakan suatu solusi dari penjabaran permasalahan yang terjadi di awal.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Dari penjelasan di atas di dapatkan suatu permasalahan yaitu seberapa besar nilai akurasi sistem kontrol dengan metode *fuzzy* mamdani dalam

penggunaannya pada pengukuran pH tanaman hidroponik *deep flow technique* (DFT) berbasis *Internet of Things* (IoT)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Dari permasalahan yang di dapat, penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai akurasi sistem kontrol dengan metode *fuzzy mamdani* dalam penggunaannya pada pengukuran pH tanaman hidroponik *deep flow technique* (DFT) berbasis *Internet of Things* (IoT).

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ada pada penelitian ini agar tidak menyimpang jauh dari permasalahan yang muncul adalah sebagai berikut :

1. Hanya menggunakan sensor pH untuk mendapatkan variabel input
2. *Output* penelitian berupa durasi nyala selenoid *valve* larutan asam dan juga basa
3. Cairan yang digunakan untuk control tanaman adalah berupa Asam Fosfat yang berfungsi untuk menurunkan *potential of Hydrogen* (pH) dan Kalium Hidroksida yang berfungsi untuk menaikkan *potential of Hydrogen* (pH).
4. Objek yang digunakan adalah tanaman pakcoy
5. Tidak membahas mengenai Teknik Hidroponik secara detail.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan ditujukan untuk memudahkan dalam budidaya tanaman hidroponik yang berfokus pada kendali pH otomatis yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman.
2. Penelitian yang dilakukan diperuntukkan membantu mengatasi keterbatasan lahan untuk budidaya tanaman baik di daerah urban maupun sub urban.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Pramono dan Nuruddin (Pramono et al., 2020), melakukan penelitian terkait dengan budidaya tanaman secara hidroponik dengan sistem *Deep Flow Technique* (DFT) untuk memantau pH, TDS, EC, suhu, suhu larutan, kelembapan dan ketinggian larutan. Dalam penelitian tersebut dibuat suatu sistem kontrol yang dihubungkan dengan aplikasi *mobile* yaitu *Blynk* untuk memonitoring tanaman secara *real time* selama ponsel masih dalam jangkauan internet. Dalam pembuatannya sistem kontrol ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai *microcontroller* dengan sensor yang dipasangkan yaitu sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11, sensor ultrasonik, dan sensor suhu LM35. Komponen lain sebagai pelengkap dari komponen yang sudah disebutkan adalah *relay* yang digunakan untuk mengontrol pompa serta LCD 2,4 inch yang digunakan untuk menampilkan data *output* dari proses yang terjadi. Sistem kontrol yang dibuat ini juga memiliki otomatisasi pemberian larutan nutrisi dengan waktu yang sudah ditentukan dan di programkan pada *microcontroller*. Akurasi data yang tersimpan dan dikirimkan pada aplikasi *Blynk* serta data yang ditampilkan dalam layar LCD pada sistem kontrol memiliki akurasi sebesar kurang lebih 5,83%.

Gregoryan dan Andjarwirawan (Gregoryan, 2019), juga melakukan penelitian yang melibatkan IoT hidroponik dengan menggunakan sistem *Deep Flow Technique*. Dalam penelitiannya, Gregoryan menggunakan objek 2 tanaman sekaligus yaitu tanaman kangkung dan tanaman bayam. Sistem kontrol yang

dibuat adalah berupa sistem kontrol yang berfungsi untuk monitoring pH, kepekatan, serta volume air yang akan disesuaikan secara otomatis dengan setpoint yang sudah ditentukan oleh *owner*. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Pramono dan Nuruddin, Gregoryan dan Andjarwirawan menggunakan *website* sebagai sarana untuk menampilkan data kondisi terkini dari tanaman hidroponik. Dalam pembuatannya sistem kontrol ini menggunakan Arduino Wemos D1R1 sebagai *microcontroller* dengan beberapa sensor yang digunakan yaitu sensor pH (SEN0161), sensor ultrasonik (SR04), sensor *flowmeter*, serta sensor TDS (SEN0244). Komponen pelengkapanya berupa *relay*, ADS1115, dan pompa *submersible* mini. Dalam kerjanya, sistem kontrol ini memiliki otomatisasi dalam pengendalian pH yang mana data kondisi terkini akan disesuaikan dengan data *setpoint* dengan cara menambahkan larutan pH *up* dan juga pH *down*.

Suryatini dkk (SURYATINI et al., 2021), melakukan penelitian berupa pembuatan sistem kontrol untuk mengendalikan nutrisi dan air dalam budidaya tanaman hidroponik. Dalam pembuatannya, sistem kontrol ini menggunakan metode *fuzzy logic* dengan tipe mamdani yang menggunakan kadar nutrisi dan level air sebagai *input offset*. *Output* dari sistem kontrol ini adalah berupa durasi dari pompa air dan nutrisi untuk mencapai nilai *setpoint* yang sudah di tentukan melalui *slider* manual atau *database*. Perangkat lunak yang digunakan dalam sistem kontrol ini adalah aplikasi android yaitu *Blynk*. Tingkat keberhasilan yang didapat dalam pembuatan sistem kontrol yaitu 95,14% untuk pengendalian nutrisi serta 91,64% untuk pengendalian level air dalam mencapai *setpoint*. Dalam penelitiannya, Suryatini juga membandingkan antara tanaman yang ditanam

dengan mengendalikan nutrisi serta level air dan tidak dengan selisih tumbuh tanaman sebesar 1,96cm.

Sholihah dkk (Sholihah et al., 2021), membuat sebuah sistem kontrol yang berfungsi untuk mengendalikan TDS nutrisi pada budidaya tanaman hidroponik. Dalam penelitiannya Sholihah menggunakan sistem hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) dengan metode yang digunakan di dalam sistem nya adalah *fuzzy logic control* (FLC). *Inputan* dari sistem ini adalah berupa nilai *error* dan juga *delta error* yang mana nilai tersebut didapat dari selisih antara *setpoint* dengan sensor TDS SKU:SEN0244. *Output* dari sistem kontrol ini adalah berupa durasi nyala pompa untuk mencapai nilai TDS yang sesuai dengan *setpoint*. Tampilan dari *output* ini akan ditampilkan pada layer LCD dan juga aplikasi android *Blynk*. Hasil yang didapat dari pengujian sistem kontrol ini adalah berupa nilai *error* dari sensor TDS sebesar 0,165%. Sistem kontrol ini juga menghasilkan nilai *integral absolute error* (IAE) minimal sebesar 1119 untuk *setpoint* yang bernilai 800 ppm serta *integral time absolute error* (ITAE) minimal sebesar 4200 untuk *setpoint* yang bernilai 1000 ppm.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Tanaman Pakcoy**

Pakcoy atau juga biasa disebut bok choy adalah sayuran jenis sawi dengan nama latin *Brassica rapa L.* yang tergolong dalam famili *Brassicaciae*. Di Indonesia sendiri pakcoy ini sudah banyak dibudidayakan dan di jual di pasaran dengan harga yang lebih tinggi dari jenis tanaman sawi lainnya. Pakcoy ini tergolong dalam sayuran yang berumur pendek, yakni sekitar 45 hari. Area

tumbuh pakcoy bisa di dataran tinggi maupun dataran rendah, tetapi alangkah lebih baiknya di dataran tinggi. Jenis tanaman ini akan tumbuh pada kondisi yang cukup sinar matahari, aerasi yang sempurna (tidak menggenang), dan pH media tanam nya berkisar antara 6-7, serta suhu yang berkisar antara 15-30°C. Pakcoy ini juga sudah banyak dibudidayakan secara hidroponik dengan tetap memperhatikan kondisi lingkungan tumbuh dari tanaman tersebut (Wibowo & Asriyanti, 2013).

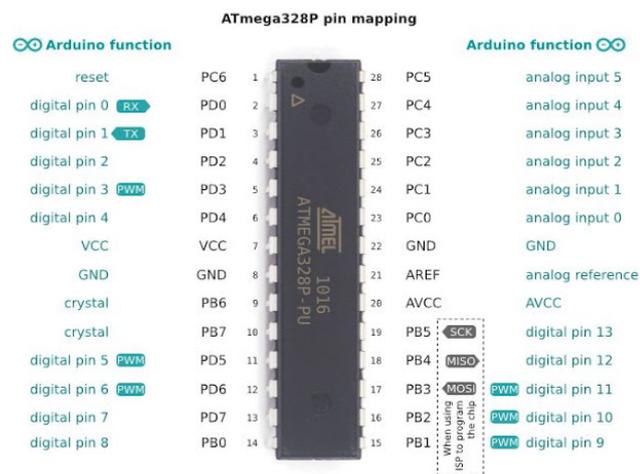
### **2.2.2 Arduino Uno (ATMega328)**

Arduino merupakan salah satu *microcontroller* atau bisa disebut juga development board yang menggunakan *chip* mikrokontroler yaitu ATMega328. Beberapa bagian penting di dalam Arduino UNO adalah *Integrated Circuit (IC)*, *I/O*, *Analog to Digital Converte (ADC)* dan juga *memory*. IC terbagi menjadi beberapa bagian lagi yang terdiri dari 14 pin *input* atau *output* digital, 6 pin analog *input*, soket adaptor, resonator keramik 16MHz, pin header ICSP, koneksi USB, serta reset button. Dengan dilengkapi bagian-bagian tersebut Arduino UNO mampu untuk mengontrol dan mengendalikan rangkaian elektronik dengan program yang telah dibuat dan disimpan di dalamnya. Berikut adalah bentuk dari Arduino UNO ATMega328 serta pin mappingnya yang disajikan dalam Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 .



Gambar 2.1 Arduino UNO ATmega328

Sumber : <https://www.caratekno.com/pengertian-arduino-uno-mikrokontroler/>



Gambar 2.2 Arduino UNO ATmega328 Pin Mapping

Sumber : <https://www.caratekno.com/pengertian-arduino-uno-mikrokontroler/>

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO ATmega328

Spesifikasi	Keterangan
Chip Microcontroller	ATmega328
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (rekomendasi)	7-12V
Tegangan Input (batas)	6-20V
Pin I/O Digital	14
Pin Input Analog	6
Arus DC per I/O Pin	40 mA
Arus DC for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Panjang	68.6 mm
Lebar	53.4 mm
Berat	25 g

### 2.2.3 Selenoid valve

*Selenoid valve* adalah salah satu komponen dalam dunia elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan katup dengan arus listrik AC ataupun DC melalui kumparan atau yang biasa disebut juga selenoida. *Selenoid valve* ini memiliki lubang *input*, *output* dan juga *exhaust*. Lubang *input* merupakan tempat dari udara bertekanan masuk. Lubang *output* merupakan tempat keluarnya tekanan air yang mana disambung dengan *pneumatic* dan juga lubang *exhaust* yang berfungsi sebagai tempat keluarnya *input* yang berada di dalam disaat plunger bergerak maupun berpindah posisi saat *selenoid valve* menyala.



Gambar 2.3 *Solenoid valve*

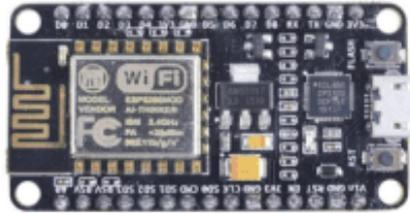
Sumber : <https://bc-robotics.com/tutorials/controlling-a-solenoid-valve-with-arduino/>

Tabel 2.2 Spesifikasi *Solenoid valve*

Spesifikasi	Keterangan
Arus DC	12V
Soket Valve Inlet/outlet	1/2" / 20mm & 3/4"/25mm
Type	Lurus
Operation Mode	N/C-Normally Closed
Tekanan Air	0.02-0.8Mpa

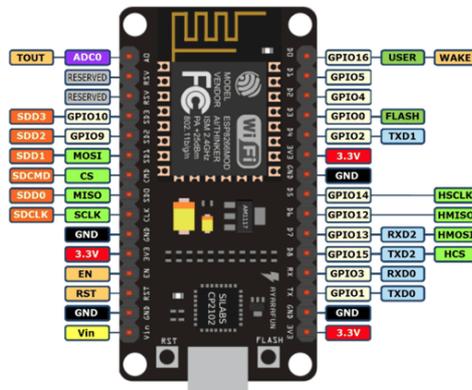
#### 2.2.4 NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah suatu *electronic board* berbasis ESP8266 yang bisa menjalankan fungsi *microcontroller* dan koneksi internet atau *WiFi*. NodeMCU ini adalah salah satu *platform* dalam dunia elektronik yang bersifat *open source*. Terdapat 2 bagian dalam NodeMCU yaitu *System on Chip* ESP8266 dan *firmware* yang menggunakan Bahasa pemrograman *scripting Lua*. NodeMCU ini juga bisa dikatakan sebagai *microcontroller* atau *Arduino board* milik ESP8266. NodeMCU ini hanya memerlukan USB yang disambungkan dengan *device* untuk memprogramnya.



Gambar 2.4 NodeMCU ESP8266

Sumber : <https://www.nyebarilmu.com/apa-itu-module-nodemcu-esp8266/>



Gambar 2.5 Pin Mapping NodeMCU8266

Sumber : <https://www.nyebarilmu.com/apa-itu-module-nodemcu-esp8266/>

Tabel 2.3 Spesifikasi NodeMCU ESP8266

Spesifikasi	Keterangan
Tipe ESP8266	ESP-12E
Port USB	Micro USB
Pin GPIO	13
ADC	1 pin (10 bit)
USB ke Serial Converter	CP2102
Tegangan Input	5V
Dimensi	47mm x 24mm

### 2.2.5 Sensor pH

Sensor pH adalah suatu modul elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman air. Setiap larutan atau air perlu dikalibrasi secara

berkala supaya pH nya tetap terjaga dalam konstrasi yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan. *Input* dari modul ini adalah berupa nilai pH air dan *output* dari modul ini adalah berupa tegangan analog pada *microcontroller* yang bernilai 1 – 1024. Berikut adalah bentuk dari sensor pH yang disajikan dalam Gambar 2. 6.



Gambar 2.6 Sensor pH

Sumber : <https://haraduno.blogspot.com/2020/04/cara-kalibrasi-sensor-ph-arduino.html>

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor pH

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan	5V
Dimensi Modul	43mm x 32mm
Rentang pengukuran	0 - 14 pH
Rentang suhu	0 - 60°C
Akurasi	± 0.1pH (25°C)
Waktu respon	≤ 1 min
Jenis konektor	BNC
Antarmuka	PH 2.0
Indikator daya	LED

### 2.2.6 DC Step Down

Modul DC step down ini adalah salah satu komponen elektronik yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dalam rentang 4-38V menjadi 1,25-36V dengan efisiensi nya hingga 96%. Modul DC dalam rangkaian ini digunakan

untuk converter tegangan dari *power supply*. Gambar dari DC step down ini disajikan dalam Gambar 2. 7.



Gambar 2.7 DC Step Down

Sumber : <https://digiwarestore.com/id/other-appliances/x14015-dc-dc-step-down-buck-converter-adjustable-5a-644163.html>

Tabel 2.5 Spesifikasi DC Step Down

Spesifikasi	Keterangan
Input Tegangan	4-38 VDC
Output Tegangan	1,25-36 VDC
Output Arus Max	5A
Output Daya 75W	
Frekuensi Switch	180 KHz
Suhu Operasional	min45-85 <sup>0</sup> C

### 2.2.7 Water pump

*Water pump* atau pompa air adalah alat yang digunakan untuk memompa air atau cairan pada suatu rangkaian elektronik dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 2.8 *Water pump*

Sumber : <https://blog.situansan.com/pompa-air/>

Tabel 2.6 Spesifikasi *Water pump*

Spesifikasi	Keterangan
Voltage	220-240 VAC 50 Hz
Watt	15 watt
Kapasitas	800 liter/jam
Tinggi Maksimum	0,8 meter

### 2.2.8 *Power supply*

*Power supply* adalah salah satu komponen penyedia daya bagi satu beban listrik atau lebih. Fungsi dari *power supply* ini bagi rangkaian elektronika adalah untuk menjaga atau mengatur tegangan listrik yang masuk pada komponen elektronika yang lain dalam suatu rangkaian elektronika. Hal tersebut dilakukan agar komponen lain tetap pada tegangan yang stabil, jika komponen tidak mendapat tegangan yang stabil maka komponen tersebut bisa rusak atau bahkan terbakar.

Gambar 2.9 *Power supply*

Sumber : <https://www.indotrading.com/daehwatndinternational/oska-power-supply-p603366.aspx>

Tabel 2.7 Spesifikasi *Power supply*

Spesifikasi	Keterangan
AC Input	220V +/- 15%
DC Output	12V - 10A (120 Watt max)
Dimensi	16x10x4,3cm

### 2.2.9 *Relay*

*Relay* atau biasa disebut juga dengan *Switch* adalah saklar dalam rangkaian elektronika yang dikendalikan secara elektrik dari tegangan listrik. Itu berarti *relay* ini bekerja dengan cara aktif dan juga non-aktif, melepas arus listrik atau tidak. *Relay* memiliki 3 pin pengontrol untuk menghidupkan *relay* yaitu GND (*ground*/tegangan 0V) , VCC (tegangan +5V) , dan juga IN yang merupakan *inputan* dari sensor dalam satu rangkaian elektronika yang digunakan untuk menyalakan *relay*. Berikut adalah bentuk *relay* yang disajikan dalam Gambar 2.

10.



Gambar 2.10 Relay / Switch

Sumber : <https://create.arduino.cc/projecthub/muhammed-shameel-k-v/how-to-use-a-relay-with-arduino-e04e3cc>

Tabel 2.8 Spesifikasi Relay

Spesifikasi	Keterangan
Supply Tegangan	5V DC
Current	>100mA
Load	250V 10A AC or DC 30V 10A
Dimensi	50.5mm x 38.5mm x 18.5mm
Berat	31g

### 2.2.10 Metode *Fuzzy Logic Control*

*Fuzzy logic controller method* adalah salah satu cabang ilmu *Artificial Intelligent* atau yang biasa disebut juga kecerdasan buatan. Metode ini merupakan kotak hitam yang menjembatani antara ruang *input* dan juga ruang *output*. Dalam himpunan crisp (tegas) terkadang perubahan nilai kecil bisa menjadi suatu perbedaan kategori yang besar. Dalam hal ini *fuzzy logic* bekerja dengan melibatkan nilai kabur untuk menilai suatu kondisi.

#### 2.2.10.1 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan crisp (tegas) memiliki batasan yang jelas, sehingga hanya ada 2 kemungkinan saja yaitu A bernilai 1 yang artinya suatu item tergolong ke dalam himpunan tersebut dan A bernilai 0 yang artinya suatu item tidak tergolong di

dalam himpunan tersebut. Sebagai contoh dalam suatu kondisi yaitu benar dan salah, asam dan basa, panas dan dingin, dan lain sebagainya.

Berbeda dengan himpunan crisp (tegas), himpunan *fuzzy* memiliki nilai ketidakpastian atau nilai samar di dalamnya. Hal tersebut dinotasikan ke dalam sebuah bahasa matematika yang dituliskan dalam Persamaan (1) (Lee, 1990).

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (1)$$

Himpunan ini memiliki 2 atribut sebagai berikut :

1. Linguistik merupakan penamaan untuk suatu kondisi dalam bentuk kata pada kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh adalah tingkat keasaman dalam suatu larutan : asam, netral, dan basa.
2. Numeris merupakan penamaan dalam bentuk angka untuk suatu variable tertentu. Sebagai contoh adalah tingkat keasaman dalam suatu larutan : 5,0 ; 6,0 ; dan 7,0.

#### **2.2.10.2 Fungsi Keanggotaan**

Fungsi keanggotaan (*membership function*) digunakan untuk menghitung derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan ini adalah representasi berupa kurva dari pemetaan titik *inputan* dalam nilai keanggotaannya. Fungsi keanggotaan ini memiliki interval dengan rentang 0 hingga 1. Untuk mendapatkan nilai tersebut, diperlukan suatu pendekatan yang dinamakan dengan pendekatan fungsi.

### 2.2.10.3 Fuzzy Logic Control Mamdani

*Fuzzy logic control* tipe mamdani merupakan salah satu metode penalaran dari *fuzzy logic* yang dikemukakan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. *Fuzzy logic* tipe mamdani juga biasa disebut dengan metode *min* dan *max* karena pada proses perhitungannya metode ini menggunakan nilai *min* dan juga *max* (Widaningsih, 2017). Dalam prosesnya, *fuzzy logic* mamdani memiliki 6 tahapan yaitu :

1. Pembuatan himpunan *fuzzy*, di tahap ini variabel yang menjadi nilai *input* dan *output* dibagi ke dalam 1 atau bisa juga lebih himpunan *fuzzy*.
2. Fuzzifikasi, pada tahap ini variabel *input* akan ditentukan derajat keanggotaannya.
3. Operasi logika *fuzzy*, tahap ini hanya dilakukan dalam kondisi tertentu saja. Apabila *antecedent* memiliki lebih dari satu pernyataan untuk melakukan operasi himpunan *fuzzy*, tahapan ini harus dilakukan. *Output* dari tahapan ini adalah derajat kebenaran dari *antecedent* berupa bilangan tunggal.
4. Implikasi, pada tahap ini bentuk keluaran set *output fuzzy* ditentukan. *Output* aturan *fuzzy* juga ditentukan dalam tahap ini dengan cara menginputkan *output fuzzy* ke variabel *output*. Dalam tahap ini, fungsi implikasi yang diterapkan adalah fungsi *min*.

5. Agregasi, pada tahap ini terjadi kombinasi *output* keseluruhan aturan *if – then* menjadi suatu kumpulan *fuzzy* yang bersifat tunggal dengan menerapkan fungsi *max*.
6. Defuzzifikasi, tahap ini adalah akhir dari perhitungan metode *fuzzy*. Dalam tahap ini *inputan* prosesnya berupa himpunan *fuzzy* yang didapat dari komposisi aturan *fuzzy* dan *outputnya* adalah berupa bilangan domain pada himpunan *fuzzy*. Defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid atau biasa disebut juga *center of area*. Metode centroid ini mengambil titik pusat dari daerah *fuzzy*. Terdapat 2 rumus dalam metode centroid sebagai berikut :

Untuk semesta diskrit :

$$Z^* = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz} \quad (2)$$

Untuk semesta kontinu :

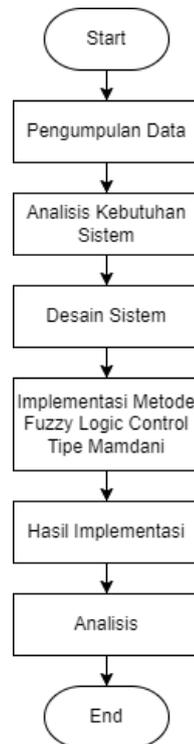
$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (3)$$

## BAB III

### KONSEP PERANCANGAN

#### 3.1 Desain Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan oleh penulis dalam melakukan penelitian mencakup pengumpulan data, analisis kebutuhan sistem, desain sistem, implementasi metode, hasil implementasi, dan analisis. Alur penelitian jika digambarkan dalam diagram blok adalah seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

#### 3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat oleh peneliti secara langsung sedangkan data sekunder adalah data pendukung dari penelitian terdahulu.

Penjelasan mengenai data primer dan data sekunder akan dibahas lebih detail pada sub sub bab berikutnya.

### **3.2.1 Data Primer**

Data primer atau data pokok dari penelitian ini adalah berupa nilai kesalahan pH dan perubahannya pada media tanam hidroponik *deep flow technique*. Nilai kesalahan pH dan perubahannya didapat dari perhitungan fungsi waktu yang *inputnya* berupa nilai pH yang di dapat dari sensor pH yang terpasang. pH atau *power of hydrogen* dari media tanam akan di deteksi melalui sensor pH yang akan dipasangkan. Suatu larutan dikatakan netral apabila nilai pH yang dimiliki sebesar 7. Apabila nilai pH yang di deteksi dibawah 7, artinya tingkat keasaman air semakin tinggi, dan apabila nilai pH yang di deteksi lebih dari 7, artinya tingkat keasaman air sudah berubah menjadi basa. Sebelum itu, *set point* data sudah ditentukan menyesuaikan kondisi tanaman yang akan ditanam secara hidroponik. Sensor pH akan terus menerus mendeteksi kadar keasaman air, sehingga kadar pH air akan tetap terjaga sesuai dengan data *set point* yang sudah ditentukan.

### **3.2.2 Data Sekunder**

Data sekunder atau data dukung dari penelitian ini berupa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Tahtawi dan Kurniawan (Al Tahtawi & Kurniawan, 2020) mengangkat kasus yang sama yaitu pengendalian pH tetapi memiliki objek tanam yang berbeda. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Wibowo (Wibowo, 2020), mengangkat objek tanam yang sama dengan penelitian ini yaitu tanaman pakcoy. Menurut

penelitiannya tanaman pakcoy ini sudah banyak dibudidayakan dengan cara hidroponik. Selain itu permintaan pasar dari tanaman pakcoy ini cukup besar serta harga jual yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sawi-sawian yang lain. Faktor lain yang mendorong penulis untuk menggunakan tanaman pakcoy karena umur tanamnya pendek, berkisar antara 40-50 hari pasca tanam.

### **3.3 Analisis Kebutuhan**

#### **3.3.1 Kebutuhan Hardware**

Untuk membuat suatu rangkaian sistem kontrol pH, kebutuhan perangkat keras yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. PC / Laptop untuk membuat program pada mikrokontroler dan *platform* IoT yang akan digunakan.
2. Arduino Uno (ATMega328) sebagai mikrokontroler yang menghubungkan antara ruang *input* dan ruang *output*.
3. Sensor pH untuk mendeteksi kadar pH di dalam air.
4. *Solenoid valve* untuk mengalirkan larutan asam maupun basa ketika dibutuhkan.
5. *Water pump* untuk memompa air dari bak tampung menuju ke seluruh pipa wadah tanaman.
6. *Relay* sebagai saklar bagi *solenoid valve*.
7. DC step down untuk merubah tegangan dari *power supply*.

8. NodeMCU ESP8266 untuk menghubungkan antara sistem kontrol dengan *platform* IoT yang digunakan misalnya *website*.
9. *Power supply* untuk menyuplai tegangan dan juga menjaga tegangan agar tetap stabil.
10. Perangkat Hidroponik (pipa pvc sebagai wadah tanaman, pipa sebagai distributor air, bak tampung sebagai tandon nutrisi).

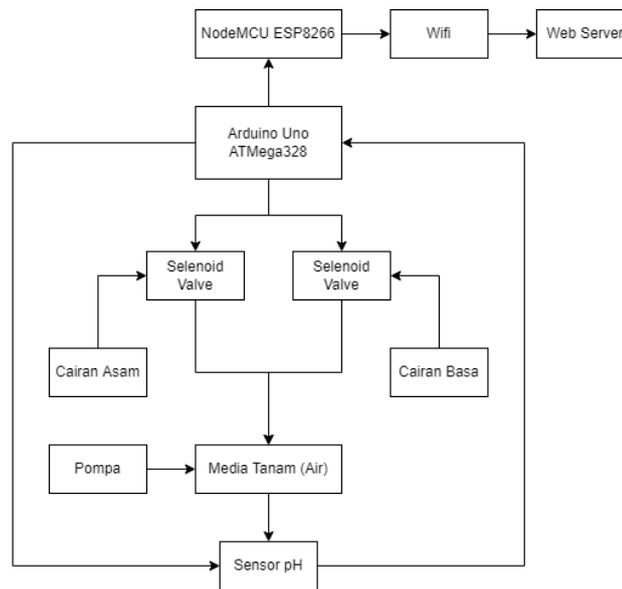
### 3.3.2 Kebutuhan Software

Untuk kebutuhan perangkat lunak yang akan digunakan dalam perancangan sistem kontrol pH ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem Operasi Windows 10 64-bit sebagai sistem operasi yang akan dijalankan pada PC / Laptop.
2. Arduino IDE *software* digunakan untuk membuat program pada mikrokontroler.
3. *Visual Studio Code* adalah kode *editor* yang akan digunakan untuk membuat *software* sebagai *platform* IoT.

### 3.4 Desain Sistem

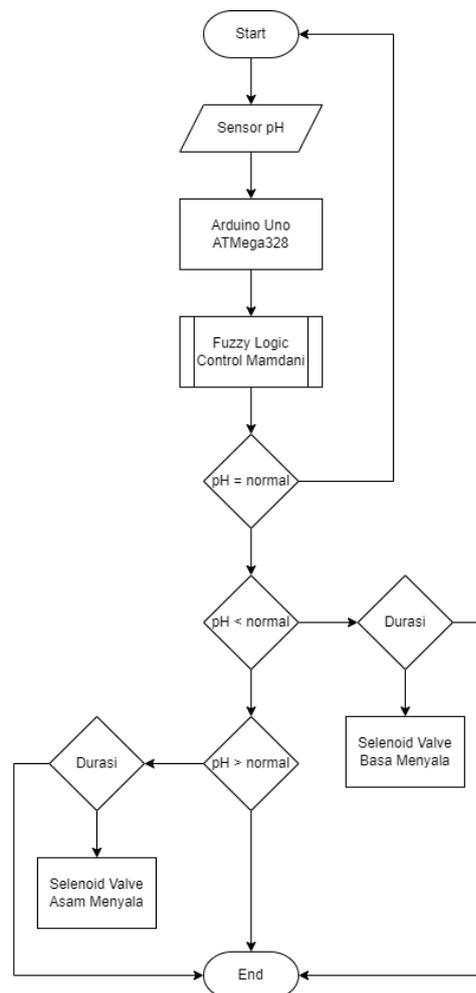
Untuk mempermudah pengerjaan, penulis membuat suatu desain sistem untuk menggambarkan jalannya sistem kontrol yang akan dirancang. Berikut adalah desain sistem dari sistem kontrol pH yang akan dirancang.



Gambar 3.2 Desain Sistem

Pada desain sistem di atas dapat dilihat bahwa Arduino Uno ATmega328 berperan sebagai kontrol dari semua komponen. Arduino merupakan mikrokontroler yang menjembatani antara ruang *input* dan ruang *output*. Pompa air menyala dan mengalirkan air secara terus menerus pada instalasi hidroponik DFT. Kemudian sensor pH yang di pasang pada rangkaian akan mendeteksi tingkat keasaman air yang menjadi media tanam dari hidroponik. Setelah itu Arduino akan membaca data yang diterima dari sensor pH yang kemudian data tersebut akan dilanjutkan menuju ke *selenoid valve*. Apabila nilai kesalahan pH yang diterima oleh mikrokontroler bernilai positif (*pos*), maka *selenoid valve* larutan basa yang akan menyala, dan apabila nilai kesalahan pH yang diterima oleh mikrokontroler negative (*neg*), maka *selenoid valve* asam yang akan menyala. Untuk studi kasus pada tanaman pakcoy, nilai normal pH nya adalah berkisar antara 6 hingga 7. Namun sebelum menggunakan sensor pH terhadap sistem kontrol, perlu dilakukan kalibrasi agar hasil yang di dapatkan akurat.

Selain itu, kalibrasi juga digunakan sebagai nilai kebenaran dari penyimpangan nilai konvensional dengan cara menunjukkan instrument ukur. Dan dari tujuan tersebut diharapkan sensor pH akan terjaga agar tetap sesuai dengan spesifikasi tanaman pakcoy yang di tanam dalam sistem hidroponik yaitu pH yang berkisar antara 6 hingga 7.



Gambar 3.3 Flowchart Kontrol pH

Flowchart di atas menjelaskan tentang alur sistem kontrol pH yang terjadi. Dimulai dari sensor pH yang akan mendeteksi kadar keasaman pada air yang kemudian data tersebut dikirimkan pada mikrokontroller. Mikrokontroller yang

sudah di program dengan memasukkan metode *fuzzy logic control* akan membaca dan menghitung data sesuai dengan alur metode *fuzzy*. Ketika *output* dari perhitungan menggunakan *fuzzy* keluar, akan dibaca dengan 3 kondisi yaitu *error* = nol, *error* = neg, dan *error* = pos. Apabila kondisi *error* = nol bernilai benar, maka proses akan kembali ke awal, jika kondisi salah maka akan membaca kondisi yang selanjutnya. Apabila kondisi *error* = pos bernilai benar, maka *timer* dan *solenoid valve* basa menyala, jika kondisi salah maka akan membaca kondisi selanjutnya. Apabila kondisi *error* = neg bernilai benar, maka *timer* dan *solenoid valve* asam menyala. Setelah semua proses dilakukan, tahap selanjutnya adalah mengumpan balikkan *output* pada proses awal.

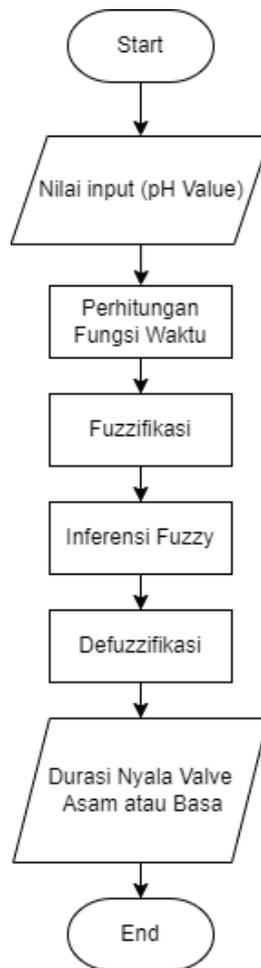
### 3.5 Implementasi Metode *Fuzzy logic control* Mamdani

*Fuzzy logic control* tipe mamdani memiliki tahapan-tahapan dalam perhitungannya. Pada penelitian ini, terdapat perhitungan tambahan sebelum masuk ke perhitungan *fuzzy* yaitu perhitungan fungsi waktu. Perhitungan tersebut berfungsi untuk merubah nilai *input* murni (nilai pH) ke dalam fungsi waktu sehingga di dapat nilai *input* baru berupa nilai kesalahan dan nilai perubahan kesalahan. Berikut adalah persamaan da fungsi waktu :

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (4)$$

$$de(t) = e(t) - e(t-1) \quad (5)$$

Adapun berikut ini adalah tahapan dari proses metode *fuzzy logic control* tipe mamdani :



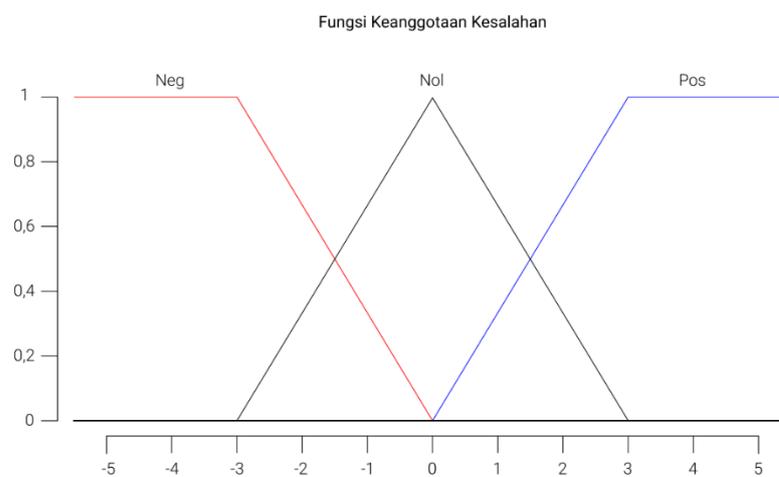
Gambar 3.4 Flowchart Proses *Fuzzy* Logic Control

### 3.5.1 Fuzzifikasi

Tahap pertama untuk metode *fuzzy logic* tipe mamdani adalah membuat himpunan *fuzzy* atau bisa disebut juga sebagai fuzzifikasi. Dalam tahap ini himpunan *crisp* akan dirubah menjadi himpunan *fuzzy*. Dalam penelitian ini terdapat 2 variabel *input* dan 1 variabel *output* yang perlu dibuat fungsi keanggotaannya. 2 variabel *input* dalam penelitian ini yaitu nilai kesalahan dan juga nilai perubahannya saat ini, sedangkan untuk variabel *output* nya adalah durasi dari nyala pompa. Pembentukan fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel dijelaskan dalam pembahasan selanjutnya.

a. Fungsi Keanggotaan Nilai Kesalahan

Fungsi keanggotaan pada variabel *input* nilai kesalahan atau nilai *error* dibagi menjadi 3 bagian yaitu negatif, nol, dan positif. Direpresentasikan dalam bentuk kurva, fungsi keanggotaan variabel *input* nilai kesalahan ditunjukkan dalam Gambar 3. 4.



Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Kesalahan

Fungsi keanggotaan kesalahan dituliskan dalam persamaan berikut :

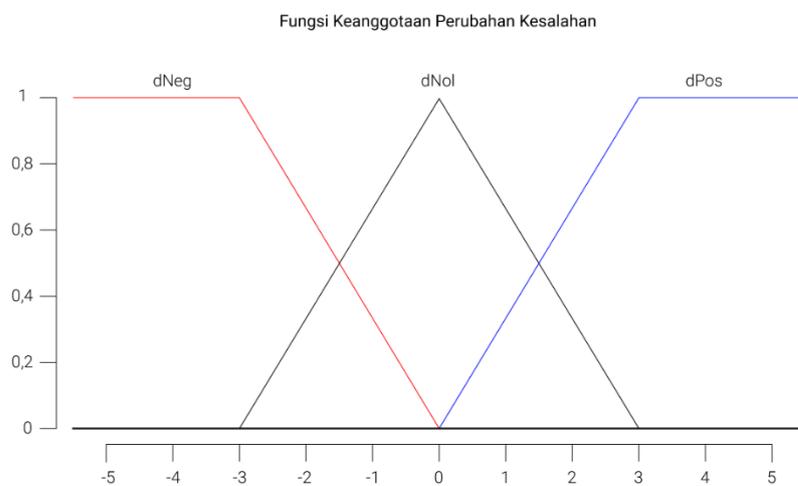
$$\mu_{\text{neg}} = \begin{cases} 0; & x \geq 0 \\ \frac{0-x}{0+3}; & -3 \leq x \leq 0 \\ 1; & x \leq -3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{nol}} = \begin{cases} 0; & x \leq -3 \text{ or } x \geq 3 \\ \frac{x+3}{0+3}; & -3 \leq x \leq 0 \\ \frac{3-x}{3-0}; & 0 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{pos}} = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{3-0}; & 0 \leq x \leq 3 \\ 1; & x \geq 3 \end{cases}$$

b. Fungsi Keanggotaan Nilai Perubahan Saat Ini

Sama dengan variabel *input* nilai kesalahan, fungsi keanggotaan nilai perubahan saat ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu delta negatif, delta nol, dan delta positif. Direpresentasikan dalam bentuk kurva, fungsi keanggotaan variabel *input* nilai perubahan saat ini ditunjukkan dalam gambar 3. 5.



Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan Perubahan Kesalahan

Fungsi keanggotaan perubahan kesalahan adalah sebagai berikut :

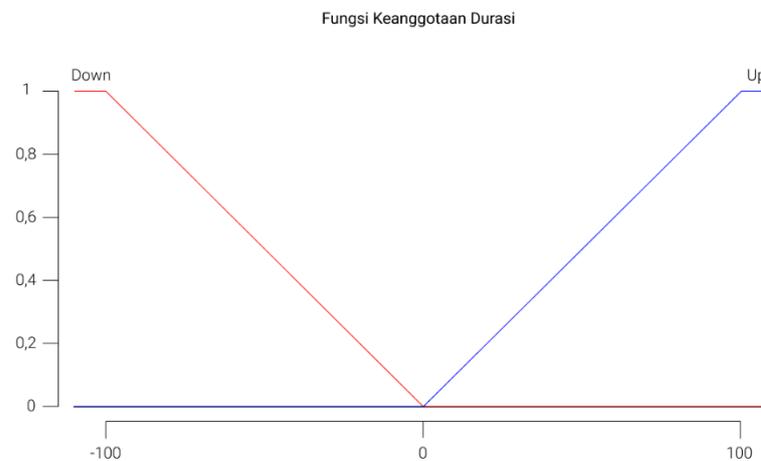
$$\mu_{dNeg} = \begin{cases} 0; & x \geq 0 \\ \frac{0-x}{0+3}; & -3 \leq x \leq 0 \\ 1; & x \leq -3 \end{cases}$$

$$\mu_{dNol} = \begin{cases} 0; & x \leq -3 \text{ or } x \geq 3 \\ \frac{x+3}{0+3}; & -3 \leq x \leq 0 \\ \frac{3-x}{3-0}; & 0 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{dPos} = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ \frac{x-0}{3-0}; & 0 \leq x \leq 3 \\ 1; & x \geq 3 \end{cases}$$

c. Fungsi Keanggotaan Durasi

Untuk variabel *output* yang digunakan adalah durasi dari nyala *solenoid valve* yang digunakan sebagai penetral kadar pH dalam media tanam. Variabel *output* ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu *Up* dan *Down* dengan rentang nilai antara -100 hingga 100. Jika direpresentasikan dalam bentuk kurva, maka akan seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.7 Fungsi Keanggotaan Durasi / Timer

Fungsi keanggotaan perubahan kesalahan adalah sebagai berikut :

$$\mu_{Down} = \begin{cases} 0; & z \geq 0 \\ \frac{0 - z}{0 + 100}; & -100 \leq z \leq 0 \\ 1; & z \leq -100 \end{cases}$$

$$\mu_{Up} = \begin{cases} 0; & z \leq 0 \\ \frac{z - 0}{100 - 0}; & 0 \leq z \leq 100 \\ 1; & z \geq 100 \end{cases}$$

### 3.5.2 Inferensi *Fuzzy*

Setelah dibentuk fungsi keanggotaan dari variabel *input* dan juga *output*, tahap selanjutnya adalah menentukan aturan atau *rule base*. Pembuatan *rule base* ini juga biasa disebut dengan inferensi *fuzzy*. Dengan melihat kurva representasi dari variabel *input* dan juga *output*, didapatkan *rule base* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rule Base

EV/ dEV	Neg	Nol	Pos
dNeg	Down	Down	_
dNol	Down	_	Up
dPos	_	Up	Up

Dari data di atas, Adapun aturan-aturan yang terbentuk adalah sebagai berikut :

(R1) Apabila *error value* (EV) negatif dan delta *error value* (dEV) negatif, maka *solenoid valve* dari cairan asam akan menyala (*Down*).

(R2) Apabila *error value* (EV) negatif dan delta *error value* (dEV) nol, maka *solenoid valve* dari cairan asam akan menyala (*Down*).

(R3) Apabila *error value* (EV) negatif dan delta *error value* (dEV) positif, maka tidak terjadi aksi apapun.

(R4) Apabila *error value* (EV) nol dan delta *error value* (dEV) negatif, maka *solenoid valve* dari cairan asam akan menyala (*Down*).

(R5) Apabila *error value* (EV) nol dan delta *error value* (dEV) nol, maka tidak terjadi aksi apapun.

(R6) Apabila *error value* (EV) nol dan delta *error value* (dEV) positif, maka *solenoid valve* dari cairan basa akan menyala (*Up*).

(R7) Apabila *error value* (EV) positif dan delta *error value* (dEV) negatif, maka tidak terjadi aksi apapun.

(R8) Apabila *error value* (EV) positif dan delta *error value* (dEV) nol, maka *solenoid valve* dari cairan basa akan menyala (*Up*).

(R9) Apabila *error value* (EV) positif dan delta *error value* (dEV) positif, maka *solenoid valve* dari cairan basa akan menyala (*Up*).

Apabila sudah ditentukan *rule base*, tahapan selanjutnya adalah menghitung implikasi tiap-tiap *rule base* menggunakan fungsi MIN. Adapun rumus perhitungan fungsi MIN adalah sebagai berikut.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (6)$$

Sebagai contoh perhitungan dari metode *fuzzy logic* tipe mamdani, nilai variabel *input* yang digunakan adalah 3,5 untuk nilai kesalahan dan 1 untuk nilai perubahan kesalahan. Dari *input* tersebut dapat dilihat bahwa nilai 3,5 adalah nilai kesalahan yang masuk dalam kategori positif (Pos) dan nilai 1 adalah nilai perubahan kesalahan yang masuk dalam kategori delta nol (dNol). *Rule base* yang sesuai dengan kondisi nilai *input* adalah R8 dan R9. Perhitungan dari tiap *rule base* yang sesuai adalah sebagai berikut :

Untuk *rule base* R8 dimana *error value* (EV) positif dan delta *error value* (dEV) nol, maka *solenoid valve* dari cairan basa akan menyala (*Up*) :

$$\begin{aligned}
\alpha - \text{predikat}_1 &= \mu_{\text{pos}}(x) \cap \mu_{\text{dNol}}(x) \\
&= \min (\mu_{\text{pos}}(3,5), \mu_{\text{dNol}}(1)) \\
&= \min (1; 0,6) \\
&= 0,6
\end{aligned}$$

Untuk *rule base* R9 dimana *error value* (EV) positif dan delta *error value* (dEV) positif, maka *solenoid valve* dari cairan basa akan menyala (*Up*) :

$$\begin{aligned}
\alpha - \text{predikat}_2 &= \mu_{\text{pos}}(x) \cap \mu_{\text{dPos}}(x) \\
&= \min (\mu_{\text{pos}}(3,5), \mu_{\text{dPos}}(1)) \\
&= \min (1; 0,3) \\
&= 0,3
\end{aligned}$$

Dari kedua *rule* di atas, diambil *rule* dengan nilai MAX untuk lanjut ke perhitungan selanjutnya, sehingga nilai yang digunakan adalah 0,6. Dari nilai tersebut di dapat fungsi keanggotaan baru dengan menghitung titik potong A terlebih dahulu :

$$\begin{aligned}
\text{Nilai titik potong A : } \frac{t1-0}{100-0} &= 0,6 & (7) \\
t1 &= (100 \times 0,6) + 0 \\
t1 &= 60
\end{aligned}$$

Sehingga fungsi himpunan *fuzzy* yang baru adalah sebagai berikut :

$$\mu(z) = \begin{cases} 0; & z \geq 0 \\ \frac{z-0}{100-0}; & 0 \leq z \leq 60 \\ 0,60; & z \leq 60 \end{cases}$$

### 3.5.3 Defuzzifikasi

Tahap terakhir dari metode *fuzzy logic control* adalah defuzzifikasi dimana nilai *fuzzy* akan diubah kembali menjadi nilai *crisp*. Metode yang digunakan oleh penulis pada tahap ini adalah metode centroid. Berikut adalah perhitungan defuzzifikasi dengan menggunakan metode centroid :

Menghitung momentum durasi :

$$\begin{aligned} M &= \int_0^{60} \frac{z-0}{100-0} z dz & (8) \\ &= \left[ 0,6 * \frac{1}{2} z^2 \right]^{60} \\ &= 720 \end{aligned}$$

Karena bentuk kurva dari himpunan baru adalah segitiga, untuk menghitung luas daerah nya bisa menggunakan rumus segitiga, sehingga rumus perhitungan luas adalah seperti pada rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} x a x t & (9) \\ &= \frac{1}{2} x 60 x 0,6 \\ &= 18 \end{aligned}$$

Setelah kedua nilai didapat, maka selanjutnya adalah menghitung titik pusat dari kurva dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} z^* &= \frac{M}{A} & (10) \\ &= \frac{720}{18} \end{aligned}$$

= 40

### 3.6 Rancangan Eksperimen

Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada komponen *input* dari sistem kontrol berupa sensor pH yang memiliki variabel *input* nilai kesalahan dan juga perubahan kesalahannya. Dari pengujian sensor pH ini diharapkan dapat melihat tingkat akurasi sistem kendali yang dibuat dalam penelitian ini. Pengujian ini dilakukan dengan melihat *output* dari sensor pH yang dipasang pada sistem kontrol yang kemudian dibandingkan dengan *output* pada sensor pH manual menggunakan pH meter. Dari kedua *output* tersebut akan dilihat selisih kedua nilai *output* dan dihitung tingkat akurasi pada tiap-tiap larutan.

Tabel 3.2 Rancangan Uji Coba Sensor pH

No	Jenis Cairan	Nilai pH		Selisih	Error (%)
		Sensor pH	pH Meter		
1	Larutan 1				
2	Larutan 2				
3	Larutan 3				
<b>Rata-rata Error (%)</b>					

Data yang digunakan untuk pengujian metode pada sistem kontrol ini adalah nilai *input* pada sistem kontrol yaitu nilai kesalahan dan perubahan kesalahan serta *output* berupa durasi nyala pompa pada larutan asam ataupun basa yang digunakan untuk menyesuaikan kadar pH air sesuai dengan kebutuhan tanaman. *Output* dari sistem kontrol akan dibandingkan dengan perhitungan *fuzzy* pada *Google Colab* untuk melihat presentase akurasi dari sistem kontrol yang telah dibuat. Berikut adalah tabel rancangan pengujian metode *fuzzy logic control*.

Tabel 3.3 Rancangan Uji Coba Metode *Fuzzy Logic Control*

No	Input		Output		Error
	Kesalahan	Perubahan Kesalahan	Alat Kendali	Google Colab	
1					
2					
3					
4					
5					
<b>Rata-rata Error (%)</b>					

## **BAB IV**

### **UJI DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Pengujian**

Pada alat kendali pH otomatis dengan menggunakan metode *fuzzy logic* ini dilakukan suatu pengujian fungsional serta pengujian kinerja alat. Pengujian dilakukan guna mengetahui apakah alat kendali pH otomatis bisa berjalan dengan baik dan juga melihat apakah sistem yang telah dibuat sesuai dengan harapan penulis. Hasil dari pengujian tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel serta dilakukan banding antar data guna mengetahui rata-rata kesalahan yang terjadi dalam alat kendali pH.

##### **4.1.1 Pengujian Alat**

###### **4.1.1.1 Pengujian Sensor pH dengan pH Meter**

Pengujian sensor pH ini dilakukan guna mengetahui apakah sensor pH yang dipasang pada alat kendali pH sudah sesuai dengan pH meter. Apabila nilai pembacaan yang dihasilkan sensor pH dengan pH meter memiliki selisih yang banyak atau lumayan banyak, maka perlu dilakukan kalibrasi ulang pada sensor pH. Dan apabila nilai pembacaan yang dihasilkan sensor pH dengan pH meter memiliki selisih yang sedikit dan bahkan sama, maka alat kendali pH otomatis sudah berfungsi dengan baik. Pengujian ini dilakukan terhadap delapan larutan berbeda dengan masing-masing larutan memiliki tingkat keasaman yang kurang, normal, dan tinggi. Berikut adalah tabel dari hasil pembacaan sensor pH dan juga pH meter tiap-tiap larutan.

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pembacaan Sensor pH dan pH Meter

No.	Larutan	Sensor pH	pH Meter	Error (%)
1	Air Sumur	6.52	6.4	1.87%
2	Air PDAM	7.26	7	3.71%
3	Air Mineral	7.41	7.3	1.51%
4	Air Sabun	8.04	8	0.50%
5	Air Lemon	2.44	2.4	1.67%
6	Air Cuka	3.28	3.2	2.50%
7	Air Garam	6.14	6.1	0.66%
8	Air Soda	3.42	3.3	3.64%
<b>Rata-rata Error (%)</b>				<b>2.01%</b>

Pada table di atas didapatkan hasil dari pembacaan sensor pH dan juga pH meter yang kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai presentase *error* masing-masing larutan dan juga rata-rata presentase *error* dari keseluruhan pengujian sensor pH dan pH meter. Perhitungan di bawah ini diperoleh dari pembacaan hasil percobaan pertama yaitu percobaan terhadap air sumur yang menghasilkan nilai pH 6,52 dari sensor pH dan 6,4 dari pH meter.

$$\begin{aligned}
 Error &= \frac{\text{Sensor pH} - \text{pH Meter}}{\text{pH Meter}} \times 100\% \quad (11) \\
 &= \frac{6.52 - 6.4}{6.4} \times 100\% \\
 &= \frac{0.12}{6.4} \times 100\% \\
 &= 1.87\%
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah proses perhitungan untuk mendapatkan nilai rata-rata *error* dari pengujian Sensor pH dengan pH Meter.

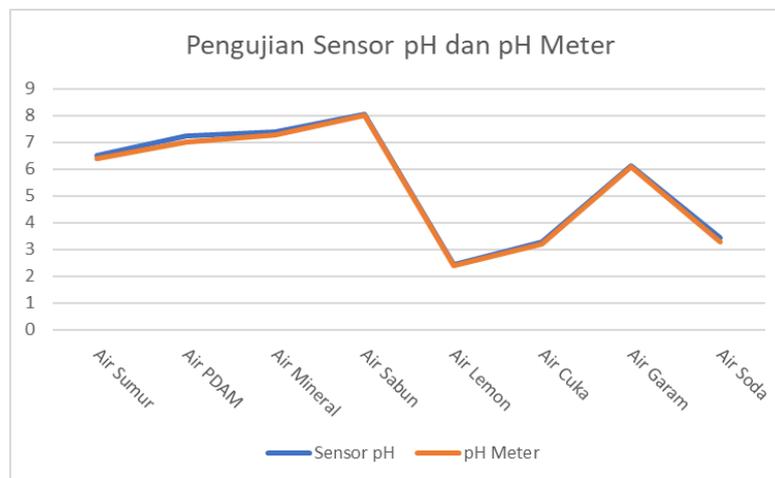
$$Error = \frac{\sum error}{\sum \text{pengujian}} \quad (12)$$

$$= \frac{16.06\%}{8}$$

$$= 2.01\%$$

Dari pengujian Sensor pH dan juga pH meter didapatkan tingkat akurasi pengujian adalah sebesar 97.99%.

Berikut ini adalah sajian bentuk grafik dari hasil pembacaan sensor pH dan juga pH meter dalam pengujian ini.



Gambar 4.1 Pengujian Sensor pH dan pH Meter

#### 4.1.1.2 Pengujian Pompa Air

Dalam pengujian ini akan dilihat berapa mililiter cairan asam dan basa yang keluar tiap-tiap detiknya. Tujuan dari uji pompa air ini adalah untuk menentukan batas maksimal nyala *solenoid valve* asam dan juga basa. Tabel di bawah ini adalah hasil dari pengujian pada *solenoid valve* 5V.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Solenoid valve*

Percobaan	Waktu	Jumlah
Percobaan 1	1 detik	4 Tetes
Percobaan 2	2 detik	8 Tetes
Percobaan 3	3 detik	12 Tetes
Percobaan 4	4 detik	16 Tetes
Percobaan 5	5 detik	20 Tetes

Dari data pengujian di atas di dapatkan hasil nyala dari *solenoid valve* 5v untuk nyala cairan asam dan juga basa tiap-tiap detiknya adalah sebanyak 4 tetes.

#### 4.1.2 Pengujian Sistem

##### 4.1.2.1 Uji Mikrokontroller dengan Tools

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan suatu hasil perhitungan *fuzzy logic* yang *inputnya* diambil dari alat kendali pH otomatis berupa nilai pH itu sendiri. *Output* dari sistem kendali pH otomatis ini adalah berupa durasi nyala *solenoid valve* 5V dengan satuan nilai akhir yaitu detik (s). Perhitungan yang dilakukan oleh alat kendali pH otomatis dengan menggunakan metode *fuzzy logic* tersebut akan dibandingkan dengan perhitungan *fuzzy logic* yang dilakukan dengan *Google Colab*. Berikut adalah hasil dari perbandingan dari kedua perhitungan yang disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 4.3 Perbandingan Alat Kendali dan *Google Colab* (Asam)

No	Input		Output (Asam)		Error (%)
	Error	Delta Error	Alat Kendali	Google Colab	
1	0	-0.52	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	1.64	1.64	61.9	61.42939391	0.0076027
5	2.33	0.68	65.2	64.70288871	0.0076244
6	1.06	-1.26	0	0	0

7	1.95	0.89	63.6	63.10275689	0.0078183
8	-1.18	-3.13	0	0	0
9	2.05	3.23	64.1	63.58228308	0.0080767
10	1.38	-0.68	18.4	17.76541341	0.0344884
11	1.05	-0.32	29.2	28.80294596	0.0135977
12	-1.27	-2.32	0	0	0
13	1.65	2.91	61.9	61.48717949	0.0066692
14	0.84	-0.8	1.2	0.721689287	0.3985923
15	0	-0.84	0	0	0
16	0.63	0.63	55	54.54237288	0.0083205
17	1.4	0.77	60.5	59.96787187	0.0087955
18	-0.88	-2.29	0	0	0
19	0	0.88	0	0	0
20	0	0	0	0	0
<b>Rata-rata Error (%)</b>					<b>0.0250793</b>

Dari hasil perbandingan di atas, didapatkan nilai *error* dari tiap-tiap data pada *output* (katub asam). Dengan mengambil data ke-10 dari perbandingan tersebut yang memiliki nilai *input error* sebesar 1.38 dan nilai delta *error* sebesar -0.68, didapatkan perhitungan untuk mendapatkan nilai *error* adalah seperti pada rumus.

$$\begin{aligned}
 Error &= \frac{\text{Alat Kendali} - \text{Google Colab}}{\text{Google Colab}} \times 100\% & (13) \\
 &= \frac{18.4 - 17.76541341}{17.76541341} \times 100\% \\
 &= \frac{0.63458659}{17.76541341} \times 100\% \\
 &= 0.0344884\%
 \end{aligned}$$

Setelah semua data pada *output* (katub asam) didapatkan nilai *error*nya, tahapan selanjutnya adalah menghitung rata-rata *error* dari perbandingan data di atas dengan perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 Error &= \frac{\Sigma error}{\Sigma pengujian} & (14) \\
 &= \frac{0.5015856}{20} \\
 &= 0.0250793\%
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai akurasi pada *output* (katub asam) sebesar 99.975% dari alat kendali pH otomatis dan juga *Google Colab* menggunakan metode *fuzzy logic control*.

Tabel 4.4 Perbandingan Alat Kendali dan *Google Colab* (Basa)

No	Input		Output (Basa)		Error
	Error	Delta Error	Alat Kendali	Google Colab	
1	0	-0.52	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	1.64	1.64	0	0	0
5	2.33	0.68	0	0	0
6	1.06	-1.26	-4.6	-5.145123374	0.1059495
7	1.95	0.89	0	0	0
8	-1.18	-3.13	-62.9	-62.96550727	0.0010404
9	2.05	3.23	0	0	0
10	1.38	-0.68	0	0	0
11	1.05	-0.32	0	0	0
12	-1.27	-2.32	-62.4	-62.46981819	0.0011176
13	1.65	2.91	0	0	0
14	0.84	-0.8	0	0	0
15	0	-0.84	0	0	0
16	0.63	0.63	0	0	0

17	1.4	0.77	0	0	0
18	-0.88	-2.29	-64.4	-64.44887787	0.0007584
19	0	0.88	0	0	0
20	0	0	0	0	0
<b>Rata-rata Error (%)</b>					<b>0.0054433</b>

Dari hasil perbandingan selanjutnya yaitu perbandingan pada *output* (katub basa), didapatkan nilai *error* dari tiap-tiap data. Dengan mengambil data ke- dari perbandingan tersebut yang memiliki nilai *input error* sebesar 1.6 dan nilai delta *error* sebesar -1.26, diperoleh perhitungan untuk mendapatkan nilai *error* adalah seperti pada rumus.

$$\begin{aligned}
 Error &= \frac{Google\ Colab - \text{Alat Kendali}}{\text{Alat Kendali}} \times 100\% & (15) \\
 &= \frac{-5.145123374 + 4.6}{-5.145123374} \times 100\% \\
 &= \frac{-0.54512}{-5.145123374} \times 100\% \\
 &= 0.1059495\%
 \end{aligned}$$

Setelah semua data didapatkan nilai *error* dari perbandingan pada *output* (katub basa), selanjutnya adalah menghitung nilai rata-rata *error* dari perbandingan data *output* (katub basa) dengan perhitungannya adalah seperti pada rumus.

$$\begin{aligned}
 \text{Rata - rata Error} &= \frac{\Sigma error}{\Sigma \text{pengujian}} & (16) \\
 &= \frac{0.108866}{20}
 \end{aligned}$$

$$= 0.0054433\%$$

Dari hasil perhitungan di atas, yaitu hasil perbandingan dari *output* (katub basa) didapatkan nilai akurasi sebesar 99.994% dari alat kendali pH otomatis dan juga *Google Colab* menggunakan metode *fuzzy logic control*.

Dari kedua perbandingan di atas, yaitu perbandingan *output* (katub asam) dan juga *output* (katub basa), didapatkan nilai akurasi dari masing-masing perbandingan sebesar 99.975% untuk *output* (katub asam) dan 99.994% untuk *output* (katub basa).

#### 4.1.3 Hasil Pengamatan Tanaman

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran pertumbuhan tanaman yang di tanam pada sistem kendali pH otomatis menggunakan IoT dan dibandingkan dengan sistem hidroponik yang tidak menggunakan IoT. Data pertumbuhan tanaman diambil pada hari ke-1 setelah tanam pada instalasi hidroponik hingga hari ke-7 setelah tanam. Dari pengambilan data pertumbuhan tanaman didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Pengamatan Tanaman Dengan IoT

Hari Setelah Tanam	pH	PPM	Tinggi Tanaman (cm)	Panjang Daun (cm)	Lebar Daun (cm)	Jumlah Daun (HI)	Panjang Akar (cm)
1	6-7	500-700	1	0,3	0,1	2	0,2
2	6-7	500-700	1,4	0,5	0,2	2	0,4
3	6-7	500-700	1,9	0,7	0,4	2	0,7
4	6-7	500-700	2,3	0,9	0,6	2	1
5	6-7	500-700	2,7	1,1	0,7	2	1,3
6	6-7	500-700	3,1	1,3	0,9	2	1,5
7	6-7	500-700	3,4	1,5	1	2	1,8

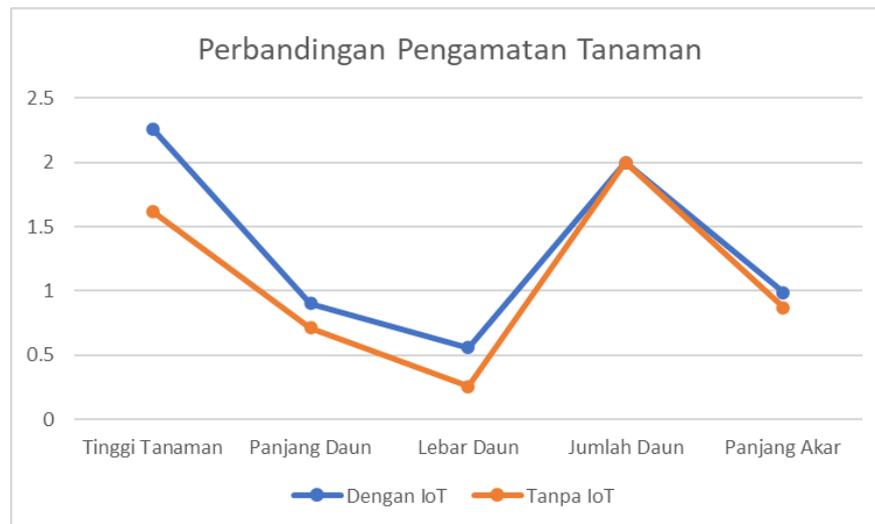
Dari tabel di atas di dapatkan hasil dari pertumbuhan tanaman pada sistem kendali pH otomatis menggunakan IoT selama 1 minggu setelah tanam. Rata-rata tinggi tanaman pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 2,25 cm. Rata-rata panjang daun pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,9 cm. Rata-rata lebar daun pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,5 cm. Rata-rata panjang jumlah daun pada 1 minggu setelah tanam adalah 2 helai. Dan rata-rata panjang akar pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,98 cm.

Tabel 4.6 Hasil Pegamatan Tanaman Tanpa IoT

Hari Setelah Tanam	pH	PPM	Tinggi Tanaman (cm)	Panjang Daun (cm)	Lebar Daun (cm)	Jumlah Daun (HI)	Panjang Akar (cm)
1	6-7	500-700	1	0,3	0,1	2	0,2
2	6-7	500-700	1,2	0,4	0,1	2	0,4
3	6-7	500-700	1,4	0,6	0,2	2	0,6
4	6-7	500-700	1,6	0,7	0,3	2	0,9
5	6-7	500-700	1,8	0,8	0,3	2	1,2
6	6-7	500-700	2	1	0,4	2	1,3
7	6-7	500-700	2,3	1,2	0,4	2	1,5

Dari tabel di atas di dapatkan hasil dari pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik yang tidak menggunakan IoT selama 1 minggu setelah tanam. Rata-rata tinggi tanaman pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 1,6 cm. Rata-rata panjang daun pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,7 cm. Rata-rata lebar daun pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,25 cm. Rata-rata panjang jumlah daun pada 1 minggu setelah tanam adalah 2 helai. Dan rata-rata panjang akar pada 1 minggu setelah tanam adalah sebesar 0,87 cm.

Berikut ini adalah sajian bentuk grafik dari hasil pengamatan tanaman dalam penelitian ini.



Gambar 4.2 Hasil Pengamatan Tanaman

Dari grafik di atas dapat dilihat perbandingan antara kedua sistem hidroponik dan didapatkan hasil bahwa tanaman yang ditanam pada sistem kendali pH otomatis menggunakan IoT lebih cepat tumbuh dibandingkan dengan tanaman yang ditanam pada sistem hidroponik yang tidak menggunakan IoT.

## 4.2 Pembahasan

Pada bagian pembahasan akan dijelaskan mengenai perhitungan *fuzzy logic* dengan menggunakan *Google Colab* dan mikrokontroler *Arduino* beserta hasil dari penelitian berupa alat kendali pH otomatis yang menggunakan metode *fuzzy Mamdani*.

### 4.2.1 Perhitungan *fuzzy logic*

#### 4.2.1.1 Perhitungan *Fuzzy Logic* dengan *Google Colab*

Perhitungan *fuzzy logic* dengan *google colab* ini menggunakan keseluruhan hasil dari penelitian berupa data pembacaan sensor yang kemudian

diolah menjadi nilai kesalahan dan nilai perubahan saat ini. Berikut adalah perhitungan dari data pembacaan sensor yang ke-9 dimana hasil pembacaan sensor pH dengan nilai kesalahan 1,38 dan nilai perubahan saat ini adalah sebesar -0,68.

Dari sampel data didapatkan bahwa nilai kesalahan 1,38 masuk dalam kategori Nol dan Pos. Untuk perhitungan keanggotaan nilai kesalahan Nol dan Pos adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Nol}}(1,38) &= \frac{3-1,38}{3-0} \\ &= \frac{1,2}{3} \\ &= 0,54\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pos}}(1,38) &= \frac{1,38-0}{3-0} \\ &= \frac{1,38}{3} \\ &= 0,46\end{aligned}$$

Sedangkan nilai perubahan kesalahan -0,68 masuk dalam kategori dNeg dan dNol. Untuk perhitungan keanggotaan nilai kesalahan dNeg dan dNol adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\mu_{\text{dNeg}}(-0,68) &= \frac{0+0,68}{0+3} \\ &= \frac{0,68}{3} \\ &= 0,226\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{\text{NoI}}(-0,68) &= \frac{-0,68+3}{0+3} \\ &= \frac{2,32}{3} \\ &= 0,773\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan *fuzzy rule* untuk dilakukan perbandingan dan mencari nilai MIN dari sample data di atas. Berikut adalah *fuzzy rule* yang dihasilkan :

Tabel 4.7 *Rule Base*

Kesalahan	Perubahan Kesalahan	Rule	Rule ke-
-	-	[ 0 0 ] = 0	Rule 1
	0	[ 0 0 ] = 0	Rule 2
	+	[ 0 0 ] = 0	Rule 3
0	-	[ 0,54 0,266 ] = 0,226	Rule 4
	0	[ 0,54 0,773 ] = 0,54	Rule 5
	+	[ 0 0 ] = 0	Rule 6
+	-	[ 0,46 0,266 ] = 0,266	Rule 7
	0	[ 0,46 0,773 ] = 0,46	Rule 8
	+	[ 0 0 ] = 0	Rule 9

*Source code Rule Base* Pada *Google Colab* :

```
#rule 1.IF error = Negatif AND derror = Negatif THEN output = Down
#output_1 = np.fmin(error_pH9[0], derror_pH9[0])

#rule 2.IF error = Negatif AND derror = Nol THEN output = Down
#output_2 = np.fmin(error_pH9[0], derror_pH9[1])

#rule 3.IF error = Negatif AND derror = Positif THEN output = No Action
#output_3 = np.fmin(error_pH9[0], derror_pH9[2])

#rule 4.IF error = Nol AND derror = Negatif THEN output = Down
output_4 = np.fmin(error_pH9[1], derror_pH9[0])

#rule 5.IF error = Nol AND derror = Nol THEN output = No Action
output_5 = np.fmin(error_pH9[1], derror_pH9[1])

#rule 6.IF error = Nol AND derror = Positif THEN output = Up
```

```

#output_6 = np.fmin(error_pH9[1], derror_pH9[2])

#rule 7.IF error = Positif AND derror = Negatif THEN output = No Action
output_7 = np.fmin(error_pH9[2], derror_pH9[0])

#rule 8.IF error = Positif AND derror = Nol THEN output = Up
output_8 = np.fmin(error_pH9[2], derror_pH9[1])

#rule 9.IF error = Positif AND derror = Positif THEN output = Up
#output_9 = np.fmin(error_pH9[2], derror_pH9[2])

pH9_output_Down = output_4
pH9_output_Up = output_8

print("Nilai Output pH 0")
print("NO Down :", pH9_output_Down)
print("NO Up :", pH9_output_Up)

```

Dari *source code* di atas akan di dapatkan hasil dari *rule base* sesuai dengan kondisi data yang dijadikan contoh dalam perhitungan ini yaitu data ke-9.

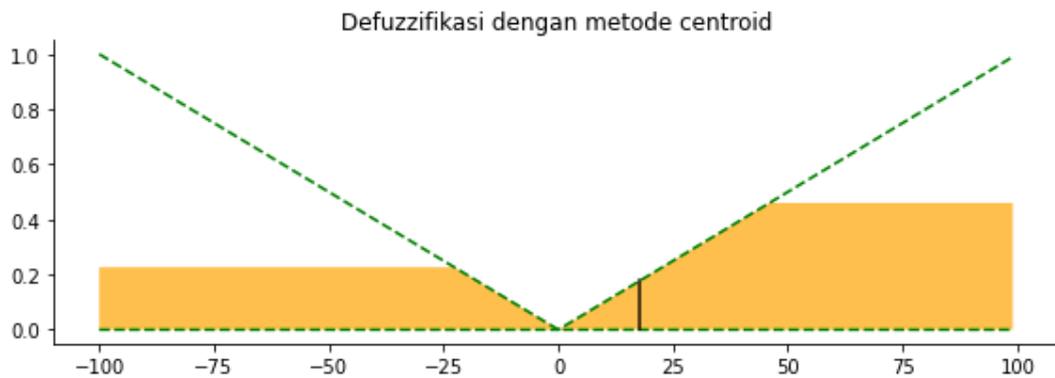
Hasil dari *inference fuzzy* pada data ke-9 adalah sebagai berikut.

```

Nilai Output pH 0
NO Down : 0.226666666666666666
NO Up : 0,459999999999999999

```

Tahap terakhir adalah mencari nilai *defuzzifikasi* menggunakan metode *Centroid*. Untuk mencari *mean (Centroid)* dari *output fuzzy* adalah dengan cara membagi jumlah luas daerah dengan jumlah momentum mengikuti *membership function* variabel durasi.



Gambar 4.3 Defuzzifikasi Data Sampel

Di atas merupakan gambar area arsir hasil perhitungan *defuzzifikasi* dari data ke-9, dimana nilai *output defuzzifikasi*/nilai tengah nya adalah 17,76541. Hasil dari perhitungan *fuzzy logic* tersebut kemudian diubah menjadi satuan *millisecond* dan perhitungannya adalah seperti pada rumus.

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi} &= \frac{\text{Output} \times \text{Max Durasi}}{100} & (17) \\
 &= \frac{17.76541 \times 3000}{100} \\
 &= 532.9623
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data perhitungan di atas di dapatkan bahwa *solenoid valve Up* (Asam) menyala dengan durasi nyala nya adalah 532.9623 *millisecond*.

#### 4.2.1.2 Source code Mikrokontroller

Pada program Arduino yang pertama dilakukan adalah mencari nilai *fuzzifikasi* dari masing-masing nilai *input*. Dikarenakan bentuk kurva pada kedua *input* sama, yaitu nilai kesalahan dan perubahan kesalahan maka fungsi dituliskan

dalam satu *source code* yang sama. Untuk mendapatkan nilai *fuzzifikasi* dari tiap *input* pada program dituliskan *source code* sebagai berikut.

*Source code* fungsi keanggotaan :

```

void fuzzy_mamdani::fuzzyfication(float CInput, float MFInput[3][3],
float FInput[3], int Length) {
//L
if (CInput < MFInput[0][1]) {
    FInput[0] = 1;
} else if (MFInput[0][1] <= CInput && CInput <= MFInput[0][2]) {
    FInput[0] = (MFInput[0][2] - CInput) / (MFInput[0][2] - MFInput[0][1]);
} else if (MFInput[0][2] < CInput) {
    FInput[0] = 0;
}
//M
for (int i = 1; i < Length - 1; i++) { //C
    if (MFInput[i][0] <= CInput && CInput <= MFInput[i][1]) {
        FInput[i] = (CInput - MFInput[i][0]) / (MFInput[i][1] - MFInput[i][0]);
    } else if (MFInput[i][1] <= CInput && CInput <= MFInput[i][2]) {
        FInput[i] = (MFInput[i][2] - CInput) / (MFInput[i][2] - MFInput[i][1]);
    } else if (CInput < MFInput[i][0] || MFInput[i][2] < CInput) {
        FInput[i] = 0;
    }
}
//R
if (CInput < MFInput[Length - 1][0]) {
    FInput[Length - 1] = 0;
} else if (MFInput[Length - 1][0] <= CInput && CInput <= MFInput[Length - 1][1]) {
    FInput[Length - 1] = (CInput - MFInput[Length - 1][0])
/ (MFInput[Length - 1][1] - MFInput[Length - 1][0]);
} else if (MFInput[Length - 1][1] < CInput) {
    FInput[Length - 1] = 1;
}
}
}

```

Berdasarkan *rule base* yang sudah dibuat, di dapatkan *source code* di atas untuk kedua *input* yaitu nilai kesalahan dan nilai perubahan kesalahan. Terdapat 3 parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai *fuzzifikasi* masing-masing *input*. Kurva yang dibuat dalam bentuk *source code* tersebut merepresentasikan fungsi keanggotaan dari kedua *input*.

*Source code* fungsi keanggotaan *input* dan juga *output*

```
//Membership Fuzzyfikasi
float MFuncE[3][3] = {{ -5, -3, 0}, { -3, 0, 3}, { 0, 3, 5}};
float MFuncDE[3][3] = {{ -5, -3, 0}, { -3, 0, 3}, { 0, 3, 5}};

//Fuzzy Input
float FuzzyInputE[3];
float FuzzyInputDE[3];

//Fuzzy Output
float FOutput[2];

//Membership Defuzzyfikasi
float MFuncDefuzzy[2][2] = {{ -100, 0}, { 0, 100}};
```

Setelah membuat kurva trapesium dan segitiga untuk kedua *input*, selanjutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan dari masing-masing kurva. Dimana terdapat 3 fungsi keanggotaan dari masing-masing *input* yaitu negatif, nol, dan positif untuk fungsi keanggotaan nilai *error* dan delta *error* negatif, delta *error* nol, dan delta *error* positif untuk fungsi keanggotaan nilai perubahan kesalahan. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan *output* terdapat 2 fungsi yaitu *Up* dan juga *Down*.

*Source code inferensi fuzzy :*

```

void fuzzy_mamdani::inference(float FInputE[3], float FInputDE[3], float FOutput[2]) {
    float ArrayInference[9];
    float tempFOutput[2] = {0, 0};
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        for (int j = 0; j < 3; j++) {
            ArrayInference[(i * 3) + j] = min(FInputE[i], FInputDE[j]);
        }
    }
    for (int i = 0; i < 9; i++) {
        if ((0 <= i && i <= 1) || (i == 3)) { //Down
            tempFOutput[0] = max(tempFOutput[0], ArrayInference[i]);
        }
        } else if ((i == 5) || (7 <= i && i <= 8)) { //Up
            tempFOutput[1] = max(tempFOutput[1], ArrayInference[i]);
        }
    }
    FOutput[0] = tempFOutput[0];
    FOutput[1] = tempFOutput[1];
}

```

Dari *source code* di atas dapat dilihat proses seleksi nilai MIN dan juga MAX dari masing masing *inputan* yang sudah diolah pada proses sebelumnya yaitu *fuzzifikasi*. Langkah ini dilakukan untuk menentukan *fuzzy rule*.

*Source code defuzzifikasi :*

```

float fuzzy_mamdani::defuzzification(float FOutput[2], float MFuncDefuzzy[2][2]) {
    float z = 0;
    float MTri [2] = { 0, 0};
    float MBox [2] = { 0, 0};
}

```

```

float XTri [2] = { 0, 0};
float XBox [2] = { 0, 0};
float MomentumDurasi [2] = { 0, 0};
float AreaTri[2] = { 0, 0};
float AreaBox[2] = { 0, 0};
float Area[2] = { 0, 0};
float fuzzyOutput = 0;

for (int i = 0; i < 2; i++) {
    if (i == 0) {
        z = FOutput[0] * MFuncDefuzzy[0][0];
        MTri [0] = pow(z, 3) / 300;
        MBox [0] = -abs(FOutput[0] * pow(MFuncDefuzzy[0][0] - z, 2)) / 2;
        AreaTri [0] = abs(FOutput[0] * z) / 2;
        AreaBox [0] = abs(FOutput[0] * (MFuncDefuzzy[0][0] - z));
        XTri [0] = MTri [0] / AreaTri [0];

        XBox [0] = (MBox [0] / AreaBox[0]) + z;
        MomentumDurasi [0] = (XTri [0] * AreaTri [0]) + (XBox [0] * AreaBox [0]);
        Area[0] = AreaTri [0] + AreaBox [0];
    } else {
        z = FOutput[1] * MFuncDefuzzy[1][1];
        MTri [1] = pow(z, 3) / 300;
        MBox [1] = (FOutput[1] * pow(MFuncDefuzzy[1][1] - z, 2)) / 2;
        AreaTri [1] = abs(FOutput[1] * z) / 2;
        AreaBox [1] = abs(FOutput[1] * (MFuncDefuzzy[1][1] - z));
        XTri [1] = MTri [1] / AreaTri [1];
        XBox [1] = (MBox [1] / AreaBox[1]) + z;
        MomentumDurasi [1] = (XTri [1] * AreaTri [1]) + (XBox [1] * AreaBox [1]);
        Area[1] = AreaTri [1] + AreaBox [1];
    } }
    if ( Area[0] != 0 && Area[1] != 0) {
        fuzzyOutput = (MomentumDurasi [0]+MomentumDurasi [1]) / (Area[0] + Area[1]);
    } else if ( Area[0] != 0 && Area[1] == 0) {
        fuzzyOutput = MomentumDurasi [0] / Area[0];
    }
}

```

```

} else if ( Area[0] == 0 && Area[1] != 0) {
    fuzzyOutput = MomentumDurasi [1] / Area[1];
} else {
    fuzzyOutput = 0; }

```

Langkah terakhir dalam proses *fuzzy* adalah *defuzzifikasi*. Dalam *source code* di atas, dimulai dari mencari nilai *z*, mencari momentum tiap-tiap bentuk yaitu segitiga dan kotak, kemudian mencari luas area dari tiap-tiap bentuk. Setelah itu, barulah hasil *output fuzzy* keluar.

*Source code* timer :

```

/// Nyalakan Valve ///
if (crispOutput < 0) {
    Duration = -crispOutput * MaxDuration / 100;
    I2CPublishTemp[14] = (int)(Duration);
    I2CPublishTemp[15] = 1;
    Serial.print("Down pH Duration = " + (String)(Duration));
    Serial.println("ms");
    digitalWrite(RelayDownpH, LOW);
    digitalWrite(RelayUPpH, HIGH);
    delay(Duration);
    digitalWrite(RelayDownpH, HIGH);
    digitalWrite(RelayUPpH, HIGH);
} else if (crispOutput > 0) {
    Duration = crispOutput * MaxDuration / 100;
    I2CPublishTemp[14] = (int)(Duration);
    I2CPublishTemp[15] = 0;
    Serial.print("Up pH Duration = " + (String)(Duration));
    Serial.println("ms");
    digitalWrite(RelayDownpH, HIGH);
    digitalWrite(RelayUPpH, LOW);
    delay(Duration);
}

```

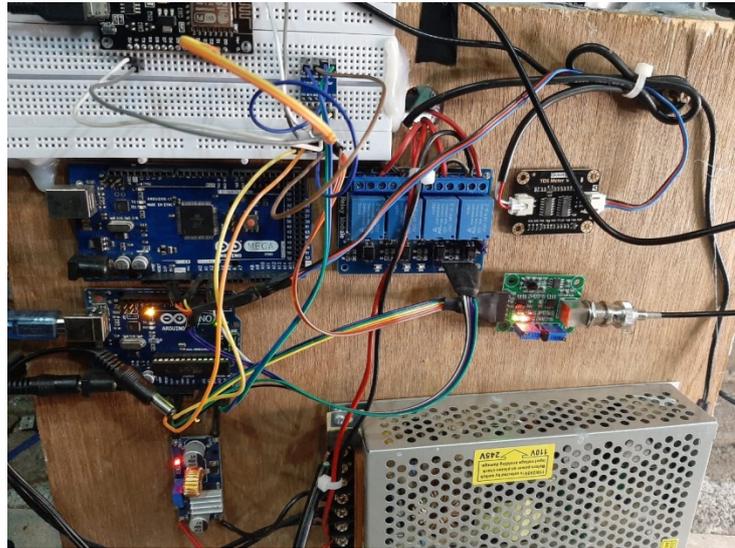
```
digitalWrite(RelayDownpH, HIGH);  
digitalWrite(RelayUPpH, HIGH);  
} else {  
  I2CPublishTemp[14] = 0;  
  digitalWrite(RelayDownpH, HIGH);  
  digitalWrite(RelayUPpH, HIGH);  
  Serial.println("pH Sesuai");  
}
```

*Output* dari hasil perhitungan *fuzzy* kemudian dihitung kembali dengan rumus yang tercantum pada *source code* di atas. Fungsi perhitungan tersebut adalah untuk merubah nilai *fuzzy* ke dalam satuan *millisecond*.

## 4.2.2 Sistem Hardware

### 4.2.2.1 Rangkaian Sistem

Pembuatan sistem kendali pH tanaman hidroponik DFT ini menggunakan Arduino UNO sebagai pengendali utama jalannya program. Arduino berfungsi untuk mengendalikan komponen lain seperti memberi perintah kepada sensor pH, dan juga memberikan perintah kepada *relay* untuk menyalakan *solenoid valve* asam dan juga basa. Dalam Arduino sudah di program juga dengan metode *fuzzy logic* yang mana hasil dari perhitungan metode tersebut akan dijadikan durasi nyala *solenoid valve*. Data-data yang sudah diolah dan disimpan dalam Arduino, akan di kirimkan ke NodeMCU yang kemudian ditampilkan dalam sebuah *website*.



Gambar 4.4 Rangkaian Sistem Arduino UNO

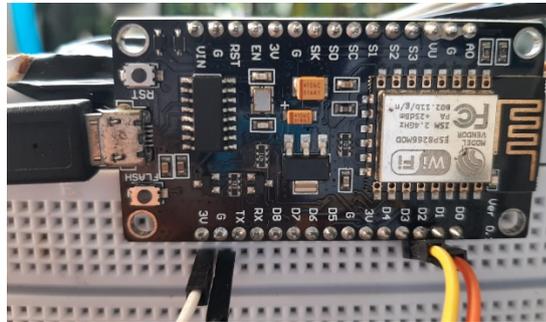
Dapat dilihat dari gambar di atas yang merupakan gambar rangkaian dari Arduino UNO yang terhubung dengan komponen lainnya. Komponen yang terhubung antara lain adalah sensor pH yang menggunakan port GND, PO dan VCC dengan PO disambungkan dengan A2 dan VCC disambungkan dengan 5V.

Dalam rangkaian ini terdapat 2 channel *relay* yang berfungsi untuk menyalakan *solenoid valve* asam dan juga basa. Terdapat 3 *port* dalam *relay* yaitu COM, NC, dan NO. Untuk pembuatan sistem kendali pH otomatis ini menggunakan *port* COM yang dihubungkan dengan *power supply* 12V dan juga *port* NO yang dihubungkan dengan *solenoid valve* 5V, serta dihubungkan dengan *port* D5 dan juga D6.

#### 4.2.2.2 NodeMCU ESP8266

Pada sistem kendali pH otomatis ini menggunakan NodeMCU ESP8266 untuk mengirimkan data dari Arduino UNO menuju ke *web server* yang

kemudian ditampilkan dalam *website*. Berikut adalah rangkaian NodeMCU yang digunakan.



Gambar 4.5 NodeMCU ESP8266

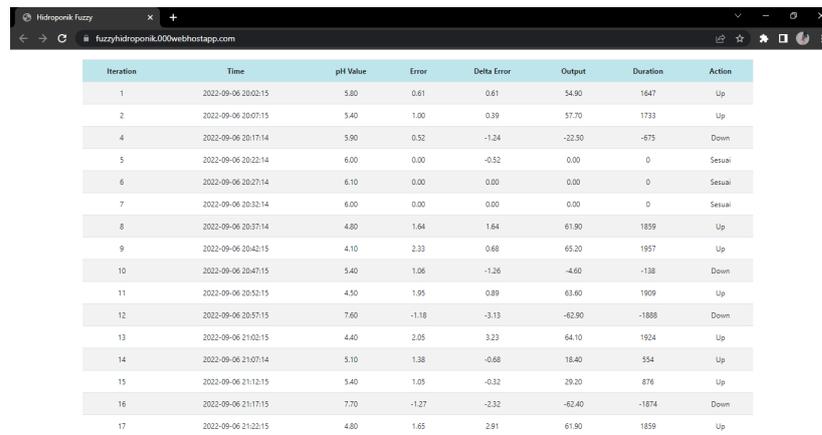
Data pembacaan sensor pH yang diolah menggunakan metode *fuzzy* dalam Arduino dikirim dengan menghubungkan NodeMCU pin D1 dan D2 pada Arduino pin A4 dan juga A5 Setelah itu data dari Arduino di kirimkan ke *web server* menggunakan *WiFi*.

#### 4.2.3 Sistem Interface

Dalam penelitian ini, sistem *interface* yang digunakan adalah PHP. *Hosting website* yang digunakan adalah 000webhost.com dan link untuk membuka *website* hidroponik DFT ini adalah <https://fuzzyhidroponik.000webhostapp.com/>

##### 4.2.3.1 Fuzzy Logic

Dalam *website* hidroponik ini ditampilkan sebuah tabel dari pembacaan sensor pH dalam alat kendali pH yang dilengkapi dengan waktu dan tanggal pengambilan data dari alat kendali hidroponik.



Iteration	Time	pH Value	Error	Delta Error	Output	Duration	Action
1	2022-09-06 20:02:15	5.80	0.61	0.61	54.90	1647	Up
2	2022-09-06 20:07:15	5.40	1.00	0.39	57.70	1733	Up
4	2022-09-06 20:17:14	5.90	0.52	-1.24	-22.50	-675	Down
5	2022-09-06 20:22:14	6.00	0.00	-0.52	0.00	0	Sesuai
6	2022-09-06 20:27:14	6.10	0.00	0.00	0.00	0	Sesuai
7	2022-09-06 20:32:14	6.00	0.00	0.00	0.00	0	Sesuai
8	2022-09-06 20:37:14	4.80	1.64	1.64	61.90	1859	Up
9	2022-09-06 20:42:15	4.10	2.33	0.68	65.20	1957	Up
10	2022-09-06 20:47:15	5.40	1.06	-1.26	-4.60	-138	Down
11	2022-09-06 20:52:15	4.50	1.95	0.89	63.60	1909	Up
12	2022-09-06 20:57:15	7.60	-1.18	-3.13	-62.90	-1888	Down
13	2022-09-06 21:02:15	4.40	2.05	3.23	64.10	1924	Up
14	2022-09-06 21:07:14	5.10	1.38	-0.68	18.40	554	Up
15	2022-09-06 21:12:15	5.40	1.05	-0.32	29.20	876	Up
16	2022-09-06 21:17:15	7.70	-1.27	-2.32	-62.40	-1874	Down
17	2022-09-06 21:22:15	4.80	1.65	2.91	61.90	1859	Up

Gambar 4.6 Tampilan Website Hidroponik

Dari gambar di atas dapat dilihat tabel dalam *website* yang menampilkan hasil dari pengolahan data pembacaan sensor yang diubah menjadi *error* dan *delta error*. Selain itu terdapat hasil perhitungan *fuzzy logic* berupa *crispoutput*. Serta durasi lama nyala *solenoid valve*, dimana tiap-tiap nyala *valve* diberikan status aksi yaitu *Up*, *Down*, dan *Sesuai*.

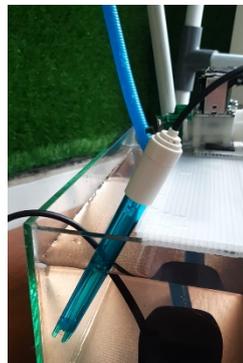
#### 4.2.4 Sistem Hidroponik

Pada pengujian ini, untuk penyesuaian pH dalam alat kendali pH otomatis menggunakan metode *fuzzy* ini dilakukan setiap 5 menit sekali. Tanaman pakcoy yang berumur 2 minggu diletakkan pada instalasi hidroponik DFT dengan panjang instalasi adalah 1 m dan tinggi nya adalah 50 cm. Aquarium yang digunakan untuk menampung air yang akan dialirkan adalah sebesar 30 cm x 20 cm x 20 cm yang diisi dengan 5 liter air. Berikut adalah tampilan dari *instalasi* hidroponik DFT.



Gambar 4.7 Instalasi Hidroponik DFT

Bagian atas aquarium diberi penutup dan menyisakan separuh dari lebar aquarium yang dibiarkan terbuka untuk meletakkan sensor dan juga *solenoid valve*. Untuk pemasangan sensor pH sendiri adalah dengan cara meletakkan *probe* sensor pH ke dalam aquarium sedalam separuh dari ukuran *probe* sensor pH. Berikut adalah gambar *probe* sensor pH dalam aquarium.



Gambar 4.8 Sensor pH

Hasil dari alat kendali ini adalah berupa durasi nyala *solenoid valve*. Dimana *valve* ini dihubungkan dengan botol penampung larutan pH *Up* dan juga *Down* menggunakan pipa pvc. Setiap botol penampung larutan berisi 250 ml larutan. Pemasangan *valve* ini sendiri dipasang secara horizontal dan botol larutan

diletakkan lebih tinggi dari *valve* supaya larutan dapat mengalir saat *valve* terbuka.



Gambar 4.9 *Selenoid valve*

Pada hasil percobaan *valve* yang telah dilakukan, ditentukan berapa maksimal durasi nyala *valve*. Dikarenakan aquarium hanya mampu menampung air sebanyak 5 liter, maka ditentukan maksimalnya *valve* adalah 3 detik (3000 millisecond) dengan tiap detik nya larutan turun sebanyak 4 tetes.

### 4.3 Integrasi Islam

Hampir semua makhluk Allah membutuhkan air. Manusia membutuhkan air untuk wudhu, minum, mandi dan kebutuhan yang lain. Hewan membutuhkan air minum dan mandi, bahkan ada sebagian hewan yang habitatnya adalah air. Dan tumbuhan membutuhkan air untuk tumbuh dan berkembang. Dijelaskan dalam ayat Al-Qur'an surah An-Nahl ayat 10 yang berbunyi :

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ

“Dialah yang telah menurunkan air (hujan) dari langit untuk kamu, sebagiannya menjadi minuman dan sebagiannya (menyuburkan) tumbuhan, padanya kamu menggembalakan ternakmu.” (QS An Nahl : 10)

Dari ayat di atas, menurut tafsir Ibnu Katsir hujan dapat memberikan bekal kehidupan serta kebahagiaan bagi manusia dan juga bagi hewan ternaknya. Air hujan dijadikan oleh Allah berasa tawar dan mudah diminum oleh manusia dan ternaknya. Selain itu, pengaruh hujan adalah menumbuhkan tumbuh-tumbuhan yang dapat digunakan oleh manusia sebagai tempat untuk menggembalakan ternak mereka (National & Pillars, n.d.).

Tumbuhan sangat erat kaitannya dengan air, karena satu-satunya makanan bagi tumbuhan adalah air. Dan dengan air yang sama, Allah menciptakan berbagai jenis tanaman di muka bumi. Seperti yang kita ketahui, terdapat beragam jenis tanaman seperti tanaman yang bisa dimakan, sekedar untuk hiasan, bahkan yang beracun sekalipun Allah ciptakan. Sungguh maha besar Allah yang menciptakan makhluknya dengan sedemikian rupa berbeda satu sama lainnya. Dijelaskan pada surah Al-An'am ayat 99 yang berbunyi.

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتٍ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنْ

التَّحْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا

أَمَرَ وَيَنْعِهِ ۗ إِنَّ فِي ذَلِكَُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ

*“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 berubah, dan menjadi masak. Sungguh, pada yang demikian itu yada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.” (QS Al An'am : 99)*

Dari ayat di atas, menurut Tafsir Ibnu Katsir Allah telah memberkati rezeki kepada semua hambanya untuk menyuburkan dan sebagai pertolongan untuk semua makhluk dan rahmat dari Allah untuk mereka semua. Kemudian Allah menciptakan biji-bijian untuk mereka berkembang biak serta buah-buahan yang dapat dijadikan makanan bagi manusia ketika masak. Perhatikanlah kekuasaan Allah yang telah menciptakannya dari yang tidak ada menjadi ada, yang mulanya berupa tumbuh-tumbuhan, lalu menjadi pohon, dan menghasilkan beraneka macam warna dan bentuknya, serta berbeda rasa, bau, dan hasil buahnya. Dari peristiwa tersebut terdapat tanda-tanda kesempurnaan kekuasaan Allah, kebijaksanaan, dan rahmat-Nya (Algensindo, n.d.).

Dari kedua ayat di atas, di jelaskan bahwa air sangatlah bermanfaat bagi kehidupan makhluk Allah yang ada di bumi. Tak terkecuali bagi tumbuhan, dimana air ini merupakan unsur utama yang dapat menumbuhkan dan menyuburkan tanaman. Contohnya seperti tanaman yang dibudidayakan secara hidroponik, dimana media tanam yang digunakan dalam metode ini adalah air.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah sistem kendali pH telah berhasil dibuat dengan menggunakan metode *fuzzy* mamdani sebagai penentu keluaran dari sistem. Penelitian ini dimulai dengan melakukan perancangan sistem *hardware* yaitu Arduino UNO yang berperan sebagai mikrokontroler. Arduino UNO mengendalikan sensor pH dimana pembacaan sensor pH itu akan diolah menggunakan metode *fuzzy* mamdani yang kemudian menghasilkan *output* durasi nyala *solenoid valve* asam atau pun basa. Data dari Arduino UNO kemudian dikirimkan ke *web server* dengan perantara NodeMCU melalui jaringan *Wi-Fi*. Sensor pH berfungsi dengan baik dimana tingkat akurasi pembacaan sensor pH sebesar 97.99%. Dalam penelitian ini, metode *fuzzy* mamdani diterapkan pada Arduino UNO menggunakan bahasa C. Yang mana terdapat beberapa langkah dalam perhitungannya yaitu *fuzzifikasi*, inferensi *fuzzy*, dan juga *defuzzifikasi*. Pada akhir penelitian dilakukan perbandingan antara perhitungan *fuzzy logic* dari mikrokontroler dengan *Google Colab* dan didapatkan tingkat akurasi sistem sebesar 99.975% untuk asam dan 99.994% untuk *output* basa.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat banyak kekurangan dalam sistem *hardware* maupun sistem *interface*. Adapun beberapa hal yang dapat dilakukan pada penelitian mendatang :

1. Sistem hardware yang dibuat masih sangat sederhana sehingga kurang untuk menunjang pertumbuhan tanaman secara hidroponik. Perlu ditambahkan sensor lain seperti sensor TDS, kelembapan, suhu, dan lain sebagainya.
2. Pembacaan sensor *pH* sangat dipengaruhi oleh suhu. Untuk itu sangat diperlukan sensor suhu dalam penelitian serupa kedepannya.
3. Pada penelitian ini variable *output* dalam metode *fuzzy* masih dibuat menjadi 2 bagian yaitu *Up* dan *Down* dengan kurva yang tidak berpotongan satu sama lain, sehingga sulit untuk memberikan aksi ketika hasil akhir bernilai 0.
4. Diharapkan pada penelitian selanjutnya ditambahkan pengaduk otomatis sehingga ketika larutan masuk ke dalam bak tampung bisa tercampur sempurna dengan air dan tidak perlu menunggu lama untuk proses tercampurnya larutan dengan air.
5. Diharapkan pada penelitian selanjutnya data yang telah didapat bisa ditampilkan melalui aplikasi *mobile*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Tahtawi, A. R., & Kurniawan, R. (2020). PH control for deep flow technique hydroponic IoT systems based on *fuzzy* logic controller. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 8(4), 323–329. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2020.13822>
- Algensindo, S. B. (n.d.). *Tafsir Ibnu Katsir Juz 7*.
- Gregoryan, M. (2019). Sistem Kontrol dan Monitoring Ph Air serta Kepekatan Nutrisi pada Budidaya Hidroponik Jenis Sayur dengan Teknik Deep Flow Technique. *Jurnal Infra*, 7(2), 1–6.
- Jinawi, W., Qurthobi, A., & Suhendi, A. (2021). *Perancangan Pemantau Ph Berbasis Iot Dan Kontrol Ph Menggunakan Logika Fuzzy Pada Sistem Akuaponik Design of Iot Based Ph Monitor and Control Using Fuzzy Logic in Aquaponic System*. 8(5), 5851–5858.
- Lee, C. C. (1990). *Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller—Part I. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 20(2), 404–418. <https://doi.org/10.1109/21.52551>
- Luthfi Andhikaputra, M., Faisol, A., & Auliasari, K. (2021). Penerapan Metode *Fuzzy* Pada Sistem Monitoring Perkembangan Tanaman Hidroponik. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 5(1), 299–307. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i1.3312>
- Murtadho, D. F., Murti, M. A., Setianingsih, C., Cucus, A., & Endra, R. Y. (2021). *Perancangan Sistem Kendali Terintegrasi Berbasis IoT pada Tanaman Hidroponik dengan Komunikasi NB-IoT Menggunakan Metode Fuzzy*. 8(4), 3815–3822.
- National, G., & Pillars, H. (n.d.). *Tafsir Ibnu Katsir Juz 14*.
- Pancawati, D., & Yulianto, A. (2016). Implementasi *Fuzzy Logic Controller* untuk Mengatur Ph Nutrisi pada Sistem Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(2), 278. <https://doi.org/10.25077/jnte.v5n2.284.2016>
- Pramono, S., Nuruddin, A., & Ibrahim, M. H. (2020). Design of a hydroponic monitoring system with deep flow technique (DFT). *AIP Conference Proceedings*, 2217(April). <https://doi.org/10.1063/5.0000733>
- Rozie, F., Syarif, I., Al Rasyid, M. U. H., & Satriyanto, E. (2021). Sistem Akuaponik untuk Peternakan Lele dan Tanaman Kangkung Hidroponik Berbasis IoT dan Sistem Inferensi *Fuzzy*. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 157. <https://doi.org/10.25126/jtiik.0814025>
- Sembiring, S., Rifai, A., Sutarno, S., & Tarigan, P. A. K. (2020). Perancangan Sistem Pengatur pH Air Akuarium Menggunakan Kendali Logika *Fuzzy*.

*Informatik : Jurnal Ilmu Komputer*, 16(1), 13.  
<https://doi.org/10.52958/iftk.v16i1.1682>

Sesanti, R. N., & Sismanto. (2016). Pertumbuhan dan Hasil Pakchoi (*Brassicca rapa L.*) pada Dua Sistem Hidroponik dan Empat Jenis Nutrisi. *Jurnal Kelitbangan*, 04(01), 1–9.

Sholihah, A. N., Tohir, T., & Al Tahtawi, A. R. (2021). Kendali TDS nutrisi hidroponik deep flow technique berbasis IoT menggunakan *fuzzy logic*. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, 1(2), 89–98. <https://doi.org/10.35313/jitel.v1.i2.2021.89-98>

SURYATINI, F., PANCONO, S., BHASKORO, S. B., & MULJONO, P. M. S. (2021). Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* berdasarkan Objek Tanam. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 263. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.263>

Syafei, D. T., & Watiasih, R. (n.d.). *ID : 11 Aplikasi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Application of IoT in Hydroponic Plant Control and Monitoring Systems. November 2021*, 73–86.

Wibowo, S. (2020). Pengaruh Aplikasi Tiga Model Hidroponik DFT Terhadap Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 8(3), 245–252. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.03.06>

Wibowo, S., & Asriyanti, A. (2013). Aplikasi Hidroponik NFT pada Budidaya Pakcoy (*Brassica rapa chinensis*). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 13(3), 159–167. <https://jurnal.polinela.ac.id/index.php/JPPT/article/viewFile/180/149>

Widaningsih, S. (2017). Analisis Perbandingan Metode *Fuzzy Tsukamoto*, Mamdani dan Sugeno dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Distribusi Raskin di Bulog Sub. Divisi Regional (Divre) Cianjur. *Infoman's*, 11(1), 51–65. <https://doi.org/10.33481/infomans.v11i1.21>

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Tabel Data Pengujian Pemcaaan Sensor pH pada Air Aquarium, Hasil *Output* Logika *Fuzzy*, serta Durasi Nyala Pompa pada Alat Kendali pH Otomatis.

No.	Datetime	pH Value	Error	Delta Error	Crispoutput	Duration
1	9/6/2022 20:02	5.8	0.61	0.61	54.9	1647
2	9/6/2022 20:07	5.4	1	0.39	57.7	1733
3	9/6/2022 20:17	5.9	0.52	-1.24	-22.5	-675
4	9/6/2022 20:22	6	0	-0.52	0	0
5	9/6/2022 20:27	6.1	0	0	0	0
6	9/6/2022 20:32	6	0	0	0	0
7	9/6/2022 20:37	4.8	1.64	1.64	61.9	1859
8	9/6/2022 20:42	4.1	2.33	0.68	65.2	1957
9	9/6/2022 20:47	5.4	1.06	-1.26	-4.6	-138
10	9/6/2022 20:52	4.5	1.95	0.89	63.6	1909
11	9/6/2022 20:57	7.6	-1.18	-3.13	-62.9	-1888
12	9/6/2022 21:02	4.4	2.05	3.23	64.1	1924
13	9/6/2022 21:07	5.1	1.38	-0.68	18.4	554
14	9/6/2022 21:12	5.4	1.05	-0.32	29.2	876
15	9/6/2022 21:17	7.7	-1.27	-2.32	-62.4	-1874
16	9/6/2022 21:22	4.8	1.65	2.91	61.9	1859
17	9/6/2022 21:27	5.6	0.84	-0.8	1.2	37
18	9/6/2022 21:32	6.8	0	-0.84	0	0
19	9/6/2022 21:37	5.8	0.63	0.63	55	1651
20	9/6/2022 21:42	5	1.4	0.77	60.5	1815
21	9/6/2022 21:47	7.3	-0.88	-2.29	-64.4	-1932
22	9/6/2022 21:52	6	0	0.88	0	0
23	9/6/2022 21:57	6.1	0	0	0	0
24	9/6/2022 22:02	5.4	1.03	1.03	57.9	1739
25	9/6/2022 22:07	5	1.45	0.42	60.8	1824
26	9/6/2022 22:12	5.7	0.7	-0.75	-1.7	-52
27	9/6/2022 22:17	5.7	0.8	0.09	56.3	1689
28	9/6/2022 22:27	5	1.5	1.5	61	1832
29	9/6/2022 22:32	6.8	0	-1.5	0	0
30	9/6/2022 22:37	5.4	1.06	1.06	58.2	1746
31	9/6/2022 22:42	5.9	0.6	-0.46	6.6	200

32	9/6/2022 22:47	4.8	1.63	1.04	61.9	1857
33	9/6/2022 22:52	7.5	-1.02	-2.65	-63.7	-1913
34	9/6/2022 22:57	7.2	-0.71	0.31	-20.5	-617
35	9/6/2022 23:02	5	1.42	2.13	61.5	1847
36	9/6/2022 23:07	6.3	0	-1.42	0	0
37	9/6/2022 23:12	6.7	0	0	0	0
38	9/6/2022 23:17	5.5	0.95	0.95	57.4	1722
39	9/6/2022 23:22	7.9	-1.47	-2.42	-61.2	-1838
40	9/6/2022 23:27	5.6	0.86	2.33	64.5	1936
41	9/6/2022 23:32	5.7	0.71	-0.14	36.6	1099
42	9/6/2022 23:37	6	0	-0.71	0	0
43	9/6/2022 23:47	5.8	0.64	-0.01	54	1620
44	9/6/2022 23:52	5.4	1.09	0.45	58.4	1753
45	9/6/2022 23:57	7.5	-1.03	-2.12	-63.7	-1912
46	9/7/2022 0:02	6.6	0	1.03	0	0
47	9/7/2022 0:07	5.5	0.98	0.98	57.6	1729
48	9/7/2022 0:12	5.6	0.88	-0.1	44.2	1327
49	9/7/2022 0:17	6.1	0	-0.88	0	0
50	9/7/2022 0:22	6.4	0	0	0	0
51	9/7/2022 0:27	6.2	0	0	0	0
52	9/7/2022 0:32	5.2	1.23	1.23	59.3	1781
53	9/7/2022 0:37	5.9	0.53	-0.7	-7.1	-215
54	9/7/2022 0:42	5.5	0.99	0.45	57.6	1730
55	9/7/2022 0:47	6.6	0	-0.99	0	0
56	9/7/2022 0:52	6.1	0	0	0	0
57	9/7/2022 0:57	5.8	0.66	0.66	55.2	1658
58	9/7/2022 1:02	6.6	0	-0.66	0	0
59	9/7/2022 1:07	7	-0.57	-0.57	-54.6	-1638
60	9/7/2022 1:12	6.3	0	0.57	0	0
61	9/7/2022 1:17	5.7	0.79	0.79	56.2	1686
62	9/7/2022 1:22	5.1	1.35	0.57	60.1	1805
63	9/7/2022 1:27	6.5	0	-1.35	0	0
64	9/7/2022 1:32	8.1	-1.69	-1.69	-62.2	-1867
65	9/7/2022 1:37	4.7	1.73	3.41	62.4	1873
66	9/7/2022 1:42	6.1	0	-1.73	0	0
67	9/7/2022 1:47	5.2	1.27	1.27	59.6	1788
68	9/7/2022 1:52	6.3	0	-1.27	0	0
69	9/7/2022 1:57	4.2	2.22	2.22	64.8	1945
70	9/7/2022 2:02	5.4	1.02	-1.19	-4	-121
71	9/7/2022 2:07	3.1	3.39	2.37	65.4	1963
72	9/7/2022 2:12	5.1	1.31	-2.09	-15.8	-475

73	9/7/2022 2:17	5.2	1.28	-0.03	57	1710
74	9/7/2022 2:22	4.8	1.67	0.38	62.1	1863
75	9/7/2022 2:27	5.1	1.39	-0.27	38.3	1149
76	9/7/2022 2:32	6.7	0	-1.39	0	0
77	9/7/2022 2:37	8.2	-1.7	-1.7	-62.3	-1869
78	9/7/2022 2:42	4	2.42	4.13	65.6	1968
79	9/7/2022 2:47	2.3	4.15	1.72	62.4	1872
80	9/7/2022 2:52	6.9	0	-4.15	0	0
81	9/7/2022 2:57	4	2.45	2.45	65.7	1971
82	9/7/2022 3:02	3.2	3.23	0.78	64.8	1946
83	9/7/2022 3:07	8.3	-1.84	-5.07	-63	-1891
84	9/7/2022 3:12	10	-3.57	-1.73	-62.4	-1874
85	9/7/2022 3:17	7.5	-1.01	2.56	36	1082
86	9/7/2022 3:22	3.7	2.72	3.74	66.4	1992
87	9/7/2022 3:27	2.7	3.8	1.08	63.5	1905
88	9/7/2022 3:32	4.6	1.81	-1.99	-4.5	-135
89	9/7/2022 3:37	6.8	0	-1.81	0	0
90	9/7/2022 3:42	7.5	-1.08	-1.08	-58.3	-1751
91	9/7/2022 3:47	7.1	-0.66	0.42	-12	-361
92	9/7/2022 3:52	7.1	-0.64	0.03	-50	-1502
93	9/7/2022 3:57	5	1.43	2.07	61.5	1845
94	9/7/2022 4:02	4.5	1.91	0.48	63.4	1903
95	9/7/2022 4:07	5	1.41	-0.5	26.2	788
96	9/7/2022 4:12	4.7	1.8	0.39	62.8	1885
97	9/7/2022 4:17	8.4	-1.9	-3.7	-63.3	-1901
98	9/7/2022 4:22	2.8	3.7	5.6	0	0
99	9/7/2022 4:27	6.9	0	-3.7	0	0
100	9/7/2022 4:32	5.9	0.5	0.5	54	1622
101	9/7/2022 4:37	6.4	0	-0.5	0	0
102	9/7/2022 4:42	5.8	0.62	0.62	54.9	1649
103	9/7/2022 4:47	4.3	2.14	1.52	61.2	1837
104	9/7/2022 4:52	5.2	1.26	-0.88	9.5	287
105	9/7/2022 4:57	3.9	2.52	1.26	62.5	1875
106	9/7/2022 5:02	6.7	0	-2.52	0	0
107	9/7/2022 5:07	8.1	-1.68	-1.68	-62.1	-1865
108	9/7/2022 5:12	3.4	3.07	4.75	0	0
109	9/7/2022 5:17	6.6	0	-3.07	0	0
110	9/7/2022 5:22	5.1	1.33	1.33	60	1800
111	9/7/2022 5:27	5.4	1	-0.32	28.3	851
112	9/7/2022 5:32	4.9	1.57	0.57	61.5	1846
113	9/7/2022 5:37	7.3	-0.81	-2.38	-64.7	-1942

114	9/7/2022 5:42	7.3	-0.82	-0.01	-56.4	-1694
115	9/7/2022 5:47	3.6	2.84	3.66	66.5	1997
116	9/7/2022 5:52	6.9	0	-2.84	0	0
117	9/7/2022 5:57	5.7	0.75	0.75	55.9	1677
118	9/7/2022 6:02	6.4	0	-0.75	0	0
119	9/7/2022 6:07	6	0	0	0	0
120	9/7/2022 6:12	6	0	0	0	0
121	9/7/2022 6:17	6.5	0	0	0	0
122	9/7/2022 6:22	5.3	1.18	1.18	59	1772
123	9/7/2022 6:27	7.3	-0.85	-2.03	-64	-1921
124	9/7/2022 6:32	6.4	0	0.85	0	0
125	9/7/2022 6:37	8	-1.54	-1.54	-61.3	-1840
126	9/7/2022 6:42	7.2	-0.74	0.8	2.2	66
127	9/7/2022 6:47	7.1	-0.63	0.11	-37.7	-1132
128	9/7/2022 6:52	6.8	0	0.63	0	0
129	9/7/2022 6:57	6.5	0	0	0	0
130	9/7/2022 7:02	6.4	0	0	0	0
131	9/7/2022 7:07	4.1	2.3	2.3	65.2	1956
132	9/7/2022 7:12	6.5	0	-2.3	0	0
133	9/7/2022 7:17	5.1	1.34	1.34	60	1801
134	9/7/2022 7:22	5.5	0.95	-0.38	23.1	693
135	9/7/2022 7:27	8.8	-2.4	-3.35	-65.5	-1966
136	9/7/2022 7:32	5.9	0.56	2.96	65.6	1970
137	9/7/2022 7:37	8.1	-1.62	-2.18	-61.8	-1854
138	9/7/2022 7:42	5.4	1.05	2.67	63.6	1908
139	9/7/2022 7:47	7.7	-1.25	-2.3	-62.6	-1878
140	9/7/2022 7:52	8.1	-1.66	-0.42	-62	-1862
141	9/7/2022 7:57	7.9	-1.47	0.19	-44.6	-1339
142	9/7/2022 8:02	3.6	2.84	4.31	66.5	1997
143	9/7/2022 8:07	3.9	2.52	-0.31	45.8	1375
144	9/7/2022 8:12	6	0	-2.52	0	0
145	9/7/2022 8:17	3.9	2.59	2.59	66.1	1983
146	9/7/2022 8:22	5.8	0.66	-1.93	-26.5	-797
147	9/7/2022 8:27	6.6	0	-0.66	0	0
148	9/7/2022 8:32	5.8	0.69	0.69	55.5	1665
149	9/7/2022 8:37	6	0	-0.69	0	0
150	9/7/2022 8:42	5.5	0.95	0.95	57.4	1723
151	9/7/2022 8:47	5.6	0.89	-0.06	48.7	1462
152	9/7/2022 8:52	6.6	0	-0.89	0	0
153	9/7/2022 8:57	4.1	2.35	2.35	65.3	1961
154	9/7/2022 9:02	6.7	0	-2.35	0	0

155	9/7/2022 9:07	4.3	2.11	2.11	64.4	1932
156	9/7/2022 9:12	5	1.48	-0.63	21.9	658
157	9/7/2022 9:22	4.5	1.99	1.99	63.8	1914
158	9/7/2022 9:27	6.4	0	-1.99	0	0
159	9/7/2022 9:32	6.4	0	0	0	0
160	9/7/2022 9:37	5.4	1.01	1.01	57.8	1735
161	9/7/2022 9:42	5.5	0.93	-0.09	46.7	1401
162	9/7/2022 9:47	5.7	0.75	-0.18	33.4	1004
163	9/7/2022 9:52	6.2	0	-0.75	0	0
164	9/7/2022 9:57	5.9	0.58	0.58	54.6	1640
165	9/7/2022 10:02	6.2	0	-0.58	0	0
166	9/7/2022 10:07	5.7	0.73	0.73	55.8	1674
167	9/7/2022 10:12	5.3	1.16	0.43	58.8	1766
168	9/7/2022 10:17	5.7	0.76	-0.4	16.5	496
169	9/7/2022 10:22	4.4	2.04	1.29	62.3	1871
170	9/7/2022 10:27	6.8	0	-2.04	0	0
171	9/7/2022 10:32	5.3	1.12	1.12	58.6	1758
172	9/7/2022 10:37	6.1	0	-1.12	0	0
173	9/7/2022 10:42	6.4	0	0	0	0
174	9/7/2022 10:47	5.3	1.19	1.19	59.1	1773
175	9/7/2022 10:52	6	0	-1.19	0	0
176	9/7/2022 10:57	6.3	0	0	0	0
177	9/7/2022 11:02	6.8	0	0	0	0
178	9/7/2022 11:07	6.1	0	0	0	0
179	9/7/2022 11:12	5.5	0.96	0.96	57.4	1724
180	9/7/2022 11:17	5.5	0.94	-0.01	55.2	1658
181	9/7/2022 11:22	5.9	0.56	-0.38	10.5	316
182	9/7/2022 11:27	6.1	0	-0.56	0	0
183	9/7/2022 11:32	6	0	0	0	0
184	9/7/2022 11:37	4.7	1.79	1.79	62.7	1883
185	9/7/2022 11:42	6	0	-1.79	0	0
186	9/7/2022 11:47	4.7	1.7	1.7	62.3	1869
187	9/7/2022 11:52	5.2	1.24	-0.46	25	751
188	9/7/2022 11:57	7	-0.51	-1.75	-62.5	-1876
189	9/7/2022 12:02	5	1.5	2.01	61.1	1833
190	9/7/2022 12:07	5.5	0.99	-0.5	17.6	528