



“ Kendali dan *Monitoring* pH Air Akuaponik Berbasis IoT Dengan Metode *Fuzzy Type-2* ”

Sidang Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : Devan Cakra Mudra Wijaya

NPM : 18081010013

Dosen Pembimbing :

Dr. Basuki Rahmat, S.Si, MT •

Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom, M.Kom •

**S1-Informatika / F. Ilmu Komputer
Tahun 2022**

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Latar Belakang

Covid-19 yang berlangsung di tahun 2020 menyebabkan perekonomian masyarakat global semakin menurun. Hal tersebut sangat mengkhawatirkan terutama dari sisi ketahanan pangan, sehingga masyarakat harus bergegas untuk menyelesaikan permasalahan tersebut secara mandiri. Budidaya dengan sistem akuaponik merupakan sebuah solusi alternatif yang dapat dilakukan saat ini, namun pengendalian pH sangat sulit untuk diatur yang terkadang dapat menyebabkan gagal panen. Oleh karena itu, setelah dianalisa lebih lanjut maka penulis memutuskan untuk membuat sistem pengendalian dan pemantauan keasaman air akuaponik berbasis IoT (*Internet of Things*) terintegrasi *bot telegram* dan menggunakan mikrokontroler jenis ESP32 sebagai inovasi baru. Metodologi yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan RAD (*Rapid Application Development*) dengan gabungan tiga metode dalam penciptaan sistem yaitu : *On-Off Controller*, *Fuzzy Type-2*, dan Eksperimen.

Perumusan Masalah

1. Bagaimana cara mengkategorikan derajat pH air pada sistem akuaponik berdasarkan *sensor* pH dan kertas lakmus ?
2. Bagaimana perancangan sistem yang memanfaatkan mikrokontroler dan internet untuk melakukan pengendalian serta pemantauan dalam jarak yang jauh ?
3. Bagaimana cara menerapkan metode *Fuzzy Type-2* dalam pembuatan sistem kendali dan *monitoring* pH air pada sistem akuaponik ?
4. Bagaimana pengaruh pH asam terhadap pertumbuhan tanaman sawi Pakcoy dan ikan lele ?
5. Bagaimana cara mengintegrasikan perangkat mikrokontroler terhadap *bot telegram* ?
6. Bagaimana cara mengendalikan pH air agar dapat menjaga kondisi yang ideal dalam budidaya tanaman sawi Pakcoy dan ikan lele ?

Batasan Masalah

1. Aplikasi terbatas untuk pengendalian dan pemantauan derajat pH air terhadap pertumbuhan tanaman sawi Pakcoy dan ikan lele pada sistem akuaponik secara *realtime*.
2. Media yang diperlukan untuk pengendalian dan pemantauan jarak jauh yaitu menggunakan teknologi *Internet of Things*.
3. *Rockwool* dibutuhkan sebagai media tanam hidroponik sawi Pakcoy, sedangkan akuarium dibutuhkan sebagai media akuakultur ikan lele.
4. Mikrokontroler ESP32 sebagai alat untuk memerintah *sensor* dan aktuator pada sistem.
5. Variabel *input Fuzzy Type-2* yang ada dalam penelitian ini yaitu pHair, sedangkan variabel *output*-nya yaitu RelaypHup dan RelaypHdown.

Tujuan

1. Untuk mendapatkan nilai pH air dari *sensor* secara *realtime*.
2. Untuk membandingkan tingkat keakurasian serta mengukur galat selisih dan juga galat sistematis yang ada pada sistem.
3. Untuk keperluan budidaya sayur hidroponik rumahan khususnya sawi Pakcoy dengan diiringi hobi memelihara ikan yang menggunakan teknologi IoT (*Internet of Things*).
4. Untuk membuat sistem pengendalian dan pemantauan keasaman air akuaponik yang mudah digunakan oleh pengguna aplikasi (*user friendly*) kapanpun dan dimanapun berada.
5. Untuk membuat inovasi yang unik berupa perancangan sistem yang bertujuan untuk menyelesaikan masalah ketahanan pangan di masa pandemi COVID-19 dalam skala kecil (konsumsi pribadi).

Manfaat

1. Bagi Peneliti, kegiatan ini memberikan dorongan positif untuk menerapkan ilmu yang telah dipelajari semasa kuliah khususnya di bidang sistem cerdas robotika (sistem kontrol).
2. Bagi Masyarakat Umum, dapat menjadi referensi unik dalam pembudidayaan sayur dan ikan melalui sistem akuaponik yang berbasis teknologi.
3. Bagi Pembaca, dapat mempelajari dan memahami konsep rancang bangun aplikasi berbasis *Internet of Things* dan juga dapat mempermudah pemahaman terkait penggunaan *bot telegram*.

Penelitian Terdahulu

1. **Mailoa dkk, 2020.** “ Sistem Kontrol dan *Monitoring* Kadar pH Air pada Sistem Akuaponik Berbasis *NodeMCU ESP8266* Menggunakan *Telegram* ” : Peneliti membuat prototipe *hardware* dan *software* (*bot telegram*) agar dapat mengontrol dan memantau kadar pH air pada sistem akuaponik.
2. **Alam dkk, 2020.** “ Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan *Fuzzy Logic Controller* berbasis IoT ” : Peneliti membuat prototipe *hardware* dan *software* (*blynk*) untuk mengontrol pH air dan memonitor lingkungan tanaman hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT).
3. **Yunior dkk, 2019.** “ Sistem *Monitoring* Kualitas Air pada Budidaya Perikanan Berbasis IoT dan Manajemen Data ” : Peneliti membuat prototipe *hardware* dan *software* (*website* dan *mobile application*) untuk mengantisipasi penyakit dan bakteri yang ada pada air kolam budidaya dengan meningkatkan kualitas air (pH, oksigen terlarut, suhu, dan kekeruhan).
4. **Haqim dkk, 2018.** “ Perancangan *Web Monitoring* dan Kontrolling *Aquaponic* Untuk Budidaya Ikan Lele Berbasis *Internet of Things* ” : Peneliti membuat prototipe *hardware* dan *software* (*website*) agar dapat memantau kondisi pH dan suhu air sewaktu-waktu. Selain itu juga untuk mengontrol pemberian pakan ikan dari jarak yang jauh.

Sejarah *Fuzzy*

1

Tahun 1930-an

Logika *Infinity*
diperkenalkan
oleh Łukasiewicz
dan Tarski

2

Tahun 1965

Logika *Fuzzy*
Type-1
diperkenalkan
oleh Lotfi
Aliasker Zadeh

3

Tahun 1975

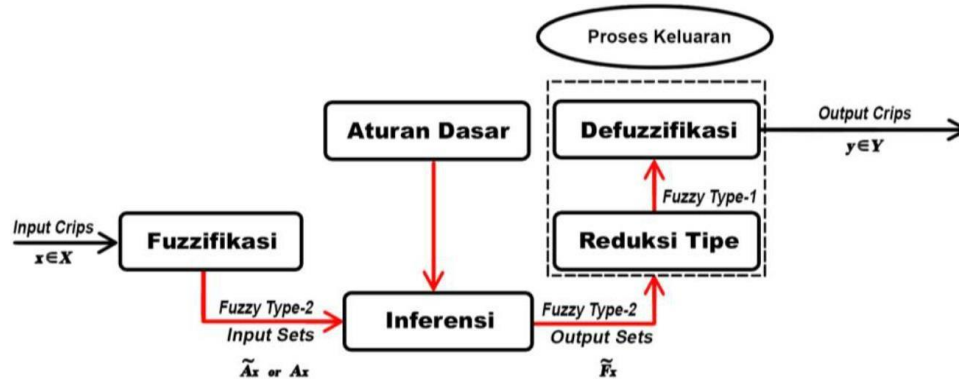
Logika *Fuzzy*
Type-2
diperkenalkan
oleh Lotfi
Aliasker Zadeh

4

Tahun 1998

Teori Logika *Fuzzy*
diperjelas lagi oleh
Karnik-Mendel,
sehingga menjadi
populer

Cara Kerja *Fuzzy Type-2*



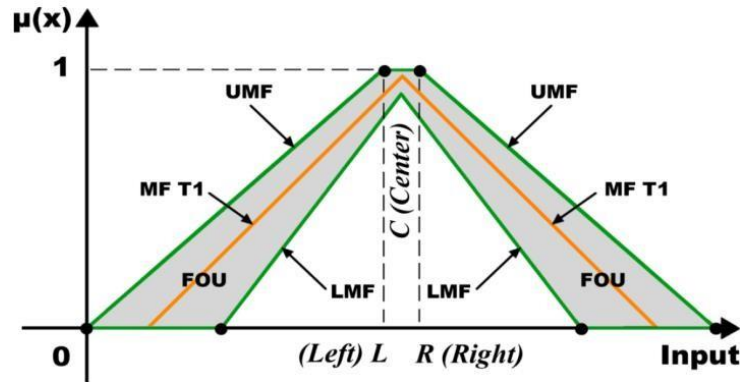
Fuzzifikasi = proses memetakan *input crips* menjadi nilai keanggotaan linguistik (UMF dan LMF).

Inferensi = proses memetakan basis aturan logika pada hasil fuzzifikasi.

Reduksi Tipe = proses mengubah himpunan *fuzzy type-2* menjadi himpunan *fuzzy type-1*.

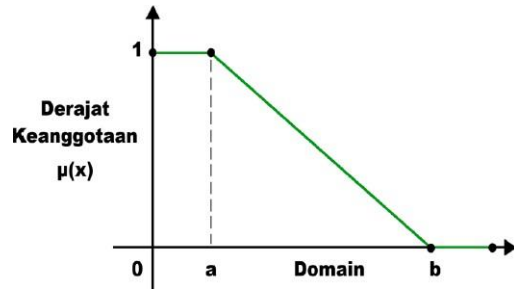
Defuzzifikasi = proses untuk mengolah hasil reduksi tipe menjadi nilai tegas (*crisp*) sebagai hasil akhir (*output*).

Istilah Dalam Logika *Fuzzy*



Variabel	= berupa <i>input</i> atau <i>output Fuzzy</i> .	Himpunan Semesta	= range nilai pada variabel <i>Fuzzy</i> .
Himpunan <i>Fuzzy</i>	= kumpulan data berupa linguistik dan numeris.	Fungsi Keanggotaan	= pemetaan titik input <i>Fuzzy</i> berdasarkan kurva.
Himpunan <i>Crips</i>	= kumpulan data berupa nilai tegas (1/0).	FOU	= wilayah terbatas.
<i>Domain</i>	= range nilai pada suatu himpunan <i>Fuzzy</i> .	UMF	= himpunan atas.
		LMF	= himpunan bawah.

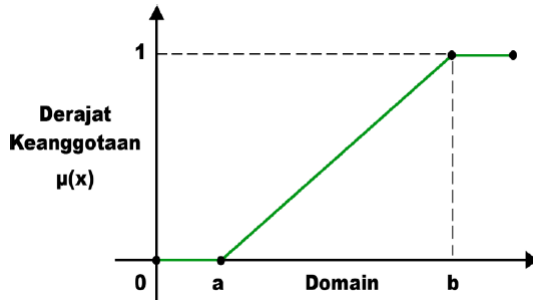
Representasi Kurva



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

Keterangan (Suprayitno dkk, 2018) :

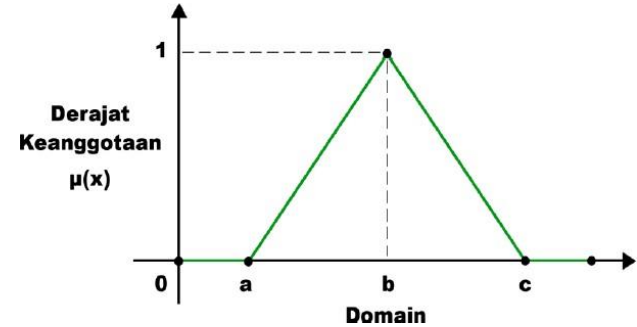
- a = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu.
- b = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan nol.
- x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*.



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

Keterangan (Suprayitno dkk, 2018) :

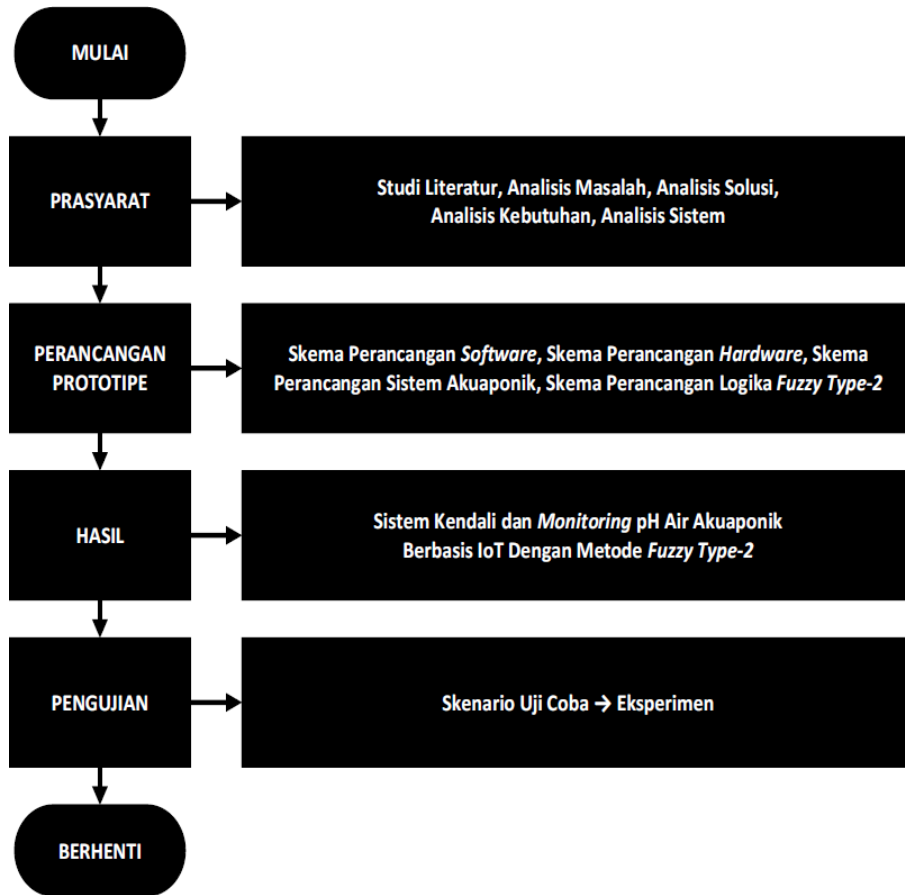
- a = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan nol.
- b = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu.
- x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*.



$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; b \leq x \leq c \end{cases}$$

Keterangan (Suprayitno dkk, 2018; Afifuddin, 2019) :

- a = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan nol.
- b = Nilai *domain* yang mempunyai derajat keanggotaan satu.
- c = Nilai *domain* terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol.
- x = Nilai *input* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*.

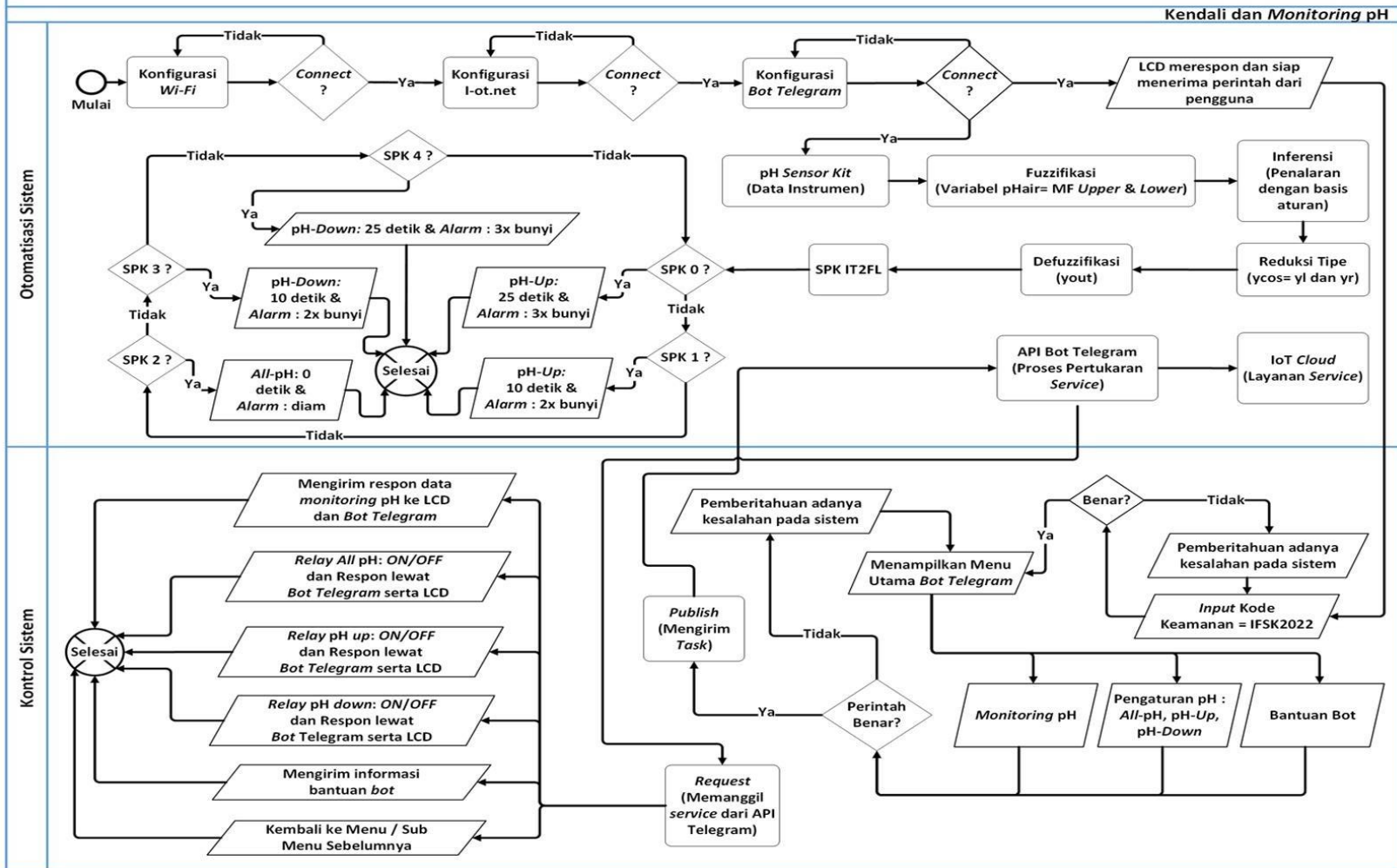


Metode Penelitian

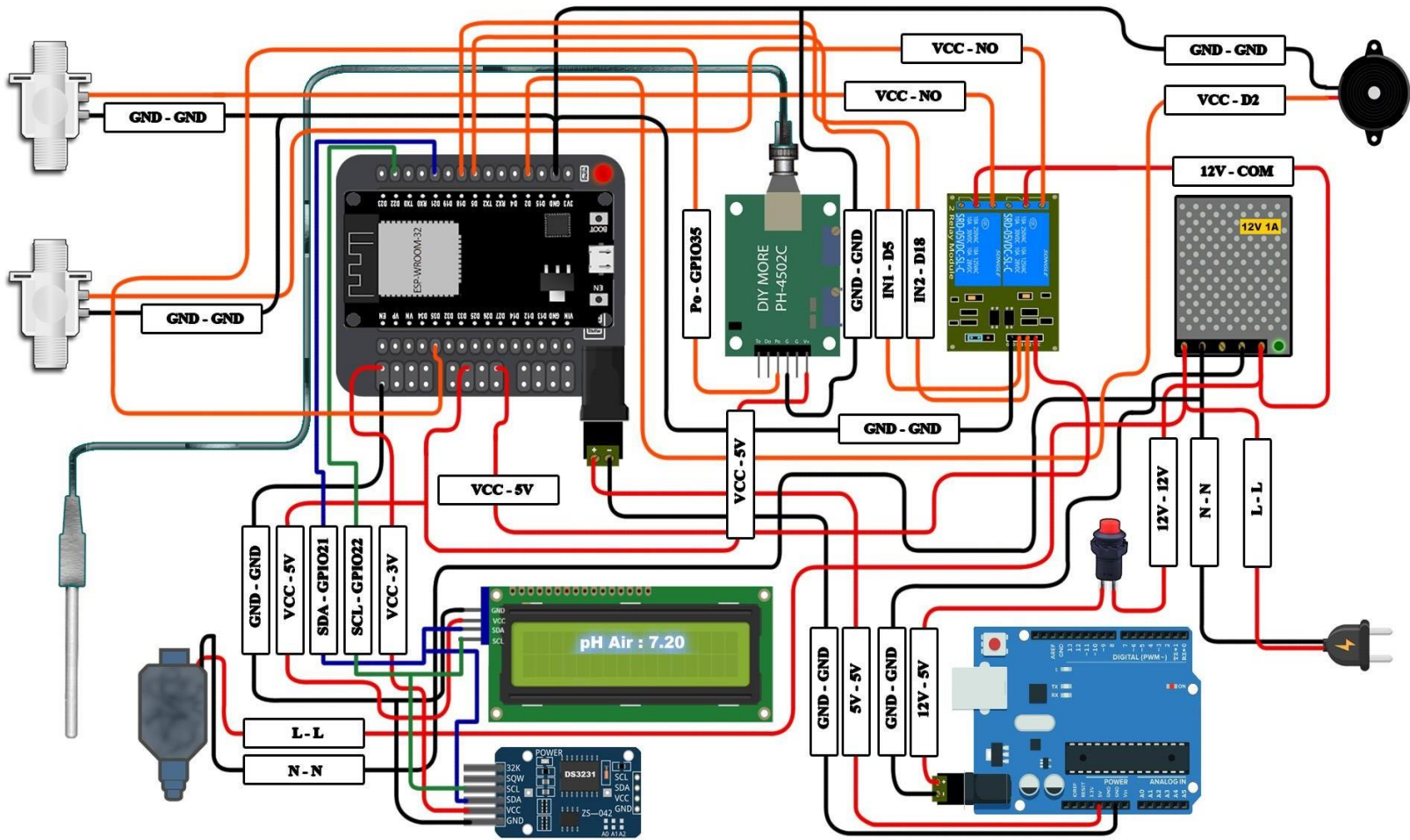
Metodologi yang digunakan pada penelitian ini berupa RAD (*Rapid Application Development*). Hal tersebut mempunyai 4 tahapan dalam pelaksanaannya yaitu prasyarat (*requirement*), perancangan prototipe (*prototyping*), hasil (*output*), dan pengujian (*testing*). Hal tersebut dapat anda lihat pada Gambar di samping.

Skema Perancangan Software

WORKFLOW SISTEM

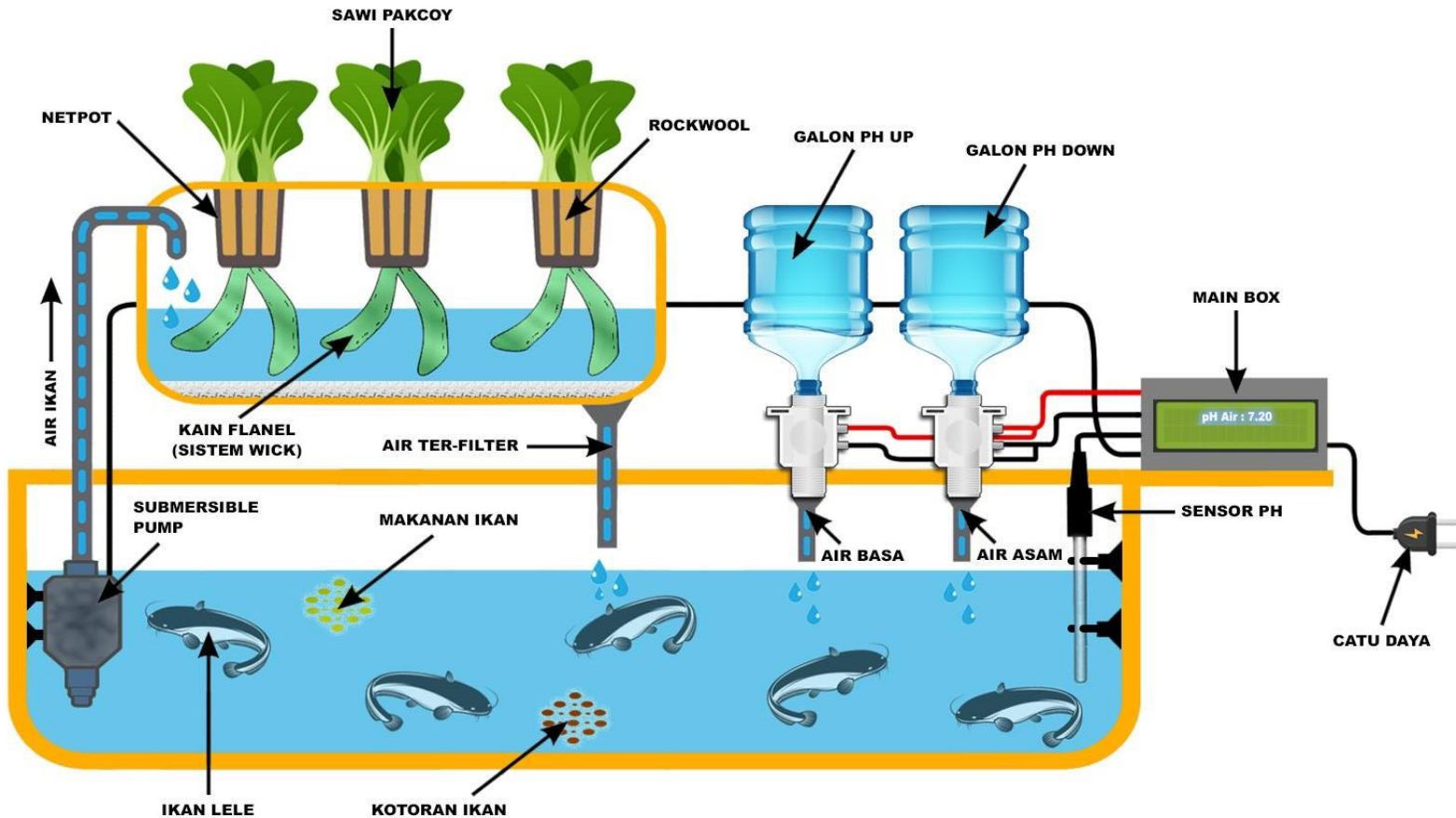


Hardware



Skema Perancangan

Akuaponik

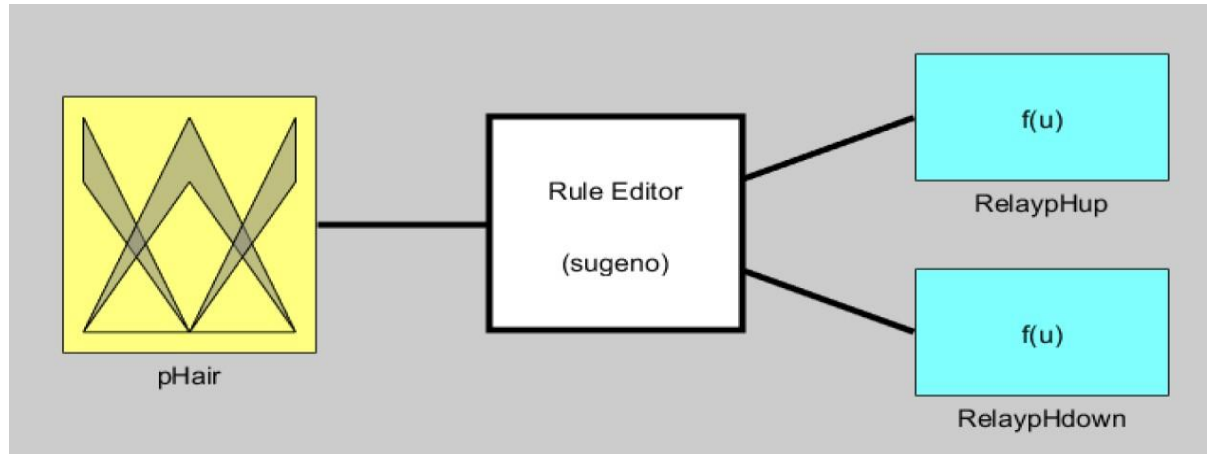


Skema Perancangan Logika *Fuzzy Type-2*

Pada penelitian ini, logika *fuzzy type-2* yang diterapkan berupa IT2FL yang dipakai penulis untuk sistem kendali dan *monitoring* pH air akuaponik. Hal tersebut dapat mengendalikan pH air sehingga mencapai kondisi yang ideal dalam budidaya tanaman sawi Pakcoy dan ikan lele. Adapun tahapan-tahapan dalam perancangan logika *fuzzy type-2* yaitu dapat dilakukan sebagai berikut ini :

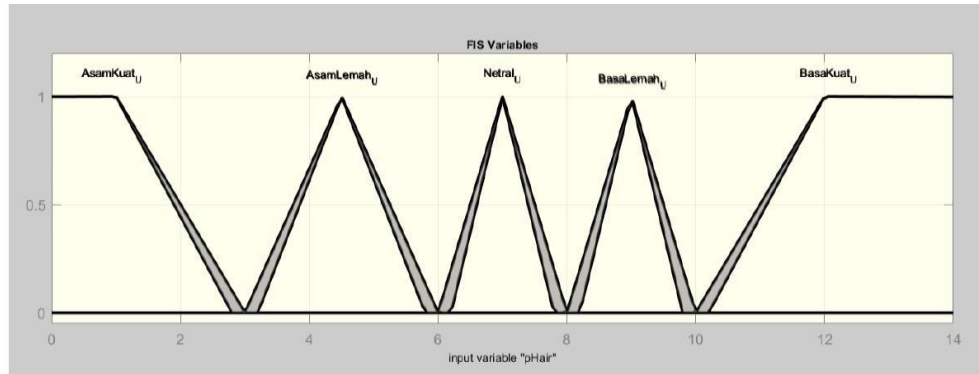
Fuzzifikasi

Model FIS yang digunakan oleh penulis yaitu SIMO (*Single Input Multi Output*). Variabel *input* yang dipakai dalam penelitian ini hanya variabel pHair, sedangkan variabel *output* yang dipakai dalam penelitian ini ada dua yaitu variabel RelaypHup dan RelaypHdown.



Fuzzifikasi : Variabel *Input*

Variabel *Input* : pHair



Variabel *input* “pHair” terbagi menjadi 5 himpunan *fuzzy* dengan melibatkan himpunan semesta mulai dari *range* nilai: 0-14. Fungsi keanggotaan (MF) bagian kiri berisi himpunan “AsamKuat”, fungsi keanggotaan (MF) bagian tengah berisi himpunan “AsamLemah, Netral, BasaLemah”, kemudian fungsi keanggotaan (MF) bagian kanan berisi himpunan “BasaKuat”.

- a. $\mu_{\text{AsamKuat MF-Upper}} = 0-3$ dan $\mu_{\text{AsamKuat MF-Lower}} = 0-2.8$.
- b. $\mu_{\text{AsamLemah MF-Upper}} = 3-6$ dan $\mu_{\text{AsamLemah MF-Lower}} = 3.2-5.8$.
- c. $\mu_{\text{Netral MF-Upper}} = 6-8$ dan $\mu_{\text{Netral MF-Lower}} = 6.2-7.8$.
- d. $\mu_{\text{BasaLemah MF-Upper}} = 8-10$ dan $\mu_{\text{BasaLemah MF-Lower}} = 8.2-9.8$.
- e. $\mu_{\text{BasaKuat MF-Upper}} = 10-14$ dan $\mu_{\text{BasaKuat MF-Lower}} = 10.2-14$.

Fuzzifikasi: MF Variabel *Input*

MF - Linear Turun : AsamKuat

$$\mu_{\text{AsamKuat}_U}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ \frac{3-x}{3-0}; 0 \leq x \leq 3 \\ 0; x \geq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{AsamKuat}_L}[x] = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ \frac{2.8-x}{2.8-0}; 0 \leq x \leq 2.8 \\ 0; x \geq 2.8 \end{cases}$$

MF - Segitiga : BasaLemah

$$\mu_{\text{BasaLemah}_U}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 8 \text{ atau } x \geq 10 \\ \frac{x-8}{9-8}; 8 \leq x \leq 9 \\ \frac{10-x}{10-9}; 9 \leq x \leq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{BasaLemah}_L}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 8.2 \text{ atau } x \geq 9.8 \\ \frac{x-8.2}{9-8.2}; 8.2 \leq x \leq 9 \\ \frac{9.8-x}{9.8-9}; 9 \leq x \leq 9.8 \end{cases}$$

MF - Segitiga : AsamLemah

$$\mu_{\text{AsamLemah}_U}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{x-3}{4.5-3}; 3 \leq x \leq 4.5 \\ \frac{6-x}{6-4.5}; 4.5 \leq x \leq 6 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{AsamLemah}_L}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 3.2 \text{ atau } x \geq 5.8 \\ \frac{x-3.2}{4.5-3.2}; 3.2 \leq x \leq 4.5 \\ \frac{5.8-x}{5.8-4.5}; 4.5 \leq x \leq 5.8 \end{cases}$$

MF - Linear Naik : BasaKuat

$$\mu_{\text{BasaKuat}_U}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 10 \\ \frac{x-10}{14-10}; 10 \leq x \leq 14 \\ 1; x \geq 14 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{BasaKuat}_L}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 10.2 \\ \frac{x-10.2}{14-10.2}; 10.2 \leq x \leq 14 \\ 1; x \geq 14 \end{cases}$$

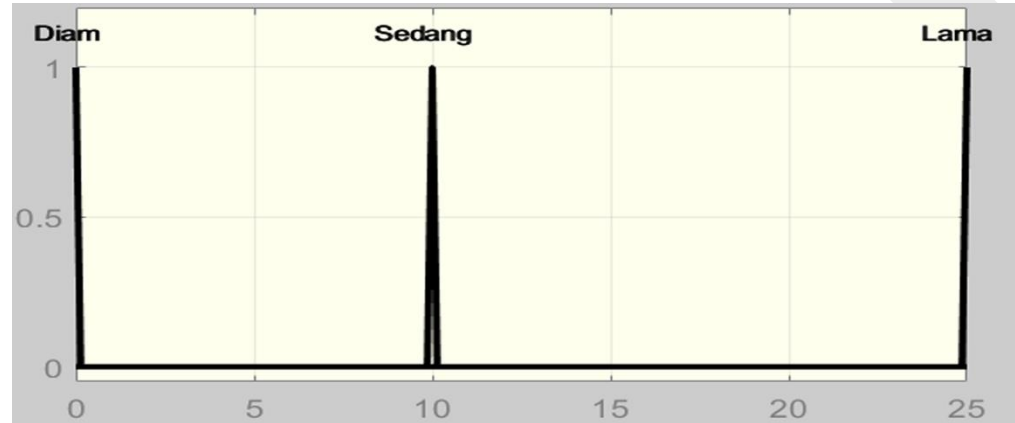
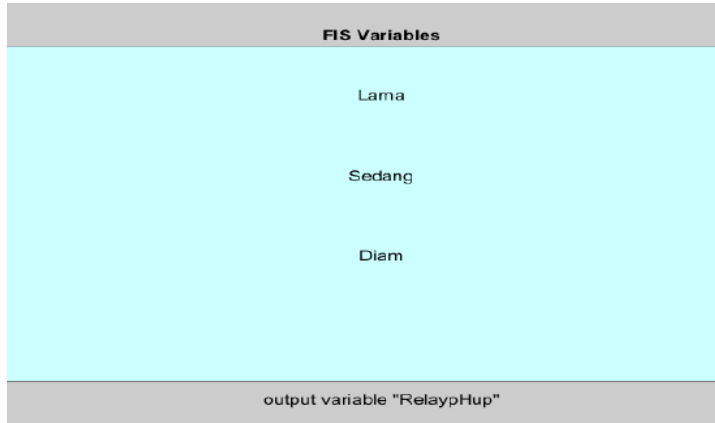
MF - Segitiga : Netral

$$\mu_{\text{Netral}_U}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 6 \text{ atau } x \geq 8 \\ \frac{x-6}{7-6}; 6 \leq x \leq 7 \\ \frac{8-x}{8-7}; 7 \leq x \leq 8 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Netral}_L}[x] = \begin{cases} 0; x \leq 6.2 \text{ atau } x \geq 7.8 \\ \frac{x-6.2}{7-6.2}; 6.2 \leq x \leq 7 \\ \frac{7.8-x}{7.8-7}; 7 \leq x \leq 7.8 \end{cases}$$

Fuzzifikasi : Variabel *Output*

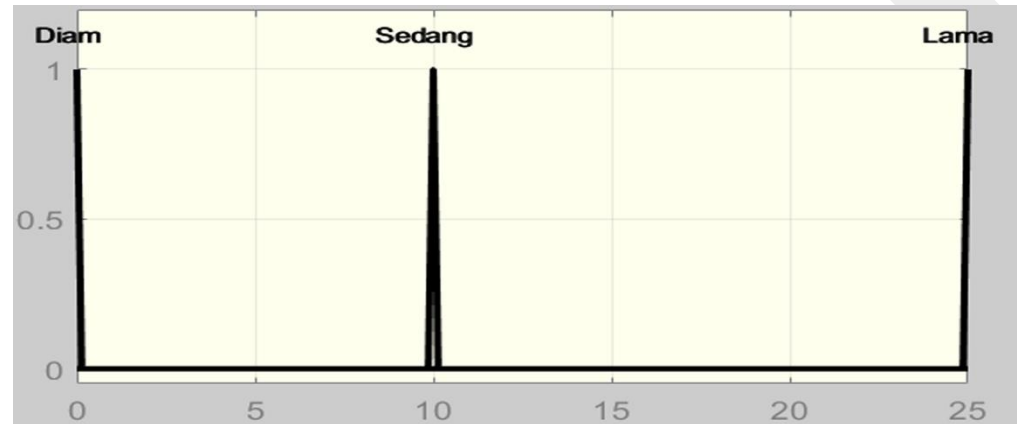
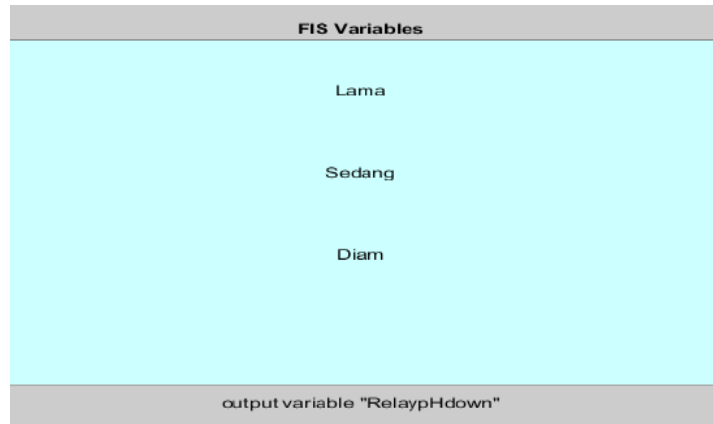
Variabel *Output* : RelayHup



Variabel *output* "RelayHup" terbagi menjadi 3 himpunan *fuzzy*. Adapun durasi waktu pada variabel ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu nol (0) detik untuk MF bagian kiri (himpunan "Diam"), sepuluh (10) detik untuk MF bagian tengah (himpunan "Sedang"), dan dua puluh lima (25) detik untuk MF bagian kanan (himpunan "Lama").

Fuzzifikasi : Variabel *Output*

Variabel *Output* : RelayHdown



Variabel *output* “RelayHdown” terbagi menjadi 3 himpunan *fuzzy*. Adapun durasi waktu pada variabel ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu nol (0) detik untuk MF bagian kiri (himpunan “Diam”), sepuluh (10) detik untuk MF bagian tengah (himpunan “Sedang”), dan dua puluh lima (25) detik untuk MF bagian kanan (himpunan “Lama”).

Inferensi *Fuzzy Type-2*

Pada inferensi ini, pengambilan keputusan pada sistem didasari oleh ketetapan-ketetapan berikut ini :

1. Nilai *output* sama dengan nol (0), maka perintah yang wajib dilakukan yaitu RelaypHup : *ON* lama (25 detik) dan RelaypHdown : *OFF*.
2. Nilai *output* sama dengan satu (1), maka perintah yang wajib dilakukan yaitu RelaypHup : *ON* sedang (10 detik) dan RelaypHdown : *OFF*.
3. Nilai *output* sama dengan dua (2), maka perintah yang wajib dilakukan yaitu RelaypHup : *OFF* dan RelaypHdown : *OFF*.
4. Nilai *output* sama dengan tiga (3), maka perintah yang wajib dilakukan yaitu RelaypHup : *OFF* dan RelaypHdown : *ON* sedang (10 detik).
5. Nilai *output* sama dengan empat (4), maka perintah yang wajib dilakukan yaitu RelaypHup : *OFF* dan RelaypHdown : *ON* lama (25 detik).

Pada penelitian ini, variabel pHair diketahui ada 5 himpunan *fuzzy* yang setelah melalui proses penalaran mendapatkan 5 kombinasi aturan (*rule*) yang dapat diterapkan pada sistem. Inferensi dalam penelitian ini menggunakan Metode *Sugeno* Orde-Nol dengan penalaran monoton, karena proposisi terhitung tunggal di bagian antesedennya.

[R-0] : IF pHair is AsamKuat THEN RelaypHup=25 AND RelaypHdown=0.

[R-1] : IF pHair is AsamLemah THEN RelaypHup=10 AND RelaypHdown=0.

[R-2] : IF pHair is Netral THEN RelaypHup=0 AND RelaypHdown=0.

[R-3] : IF pHair is BasaLemah THEN RelaypHup=0 AND RelaypHdown =10.

[R-4] : IF pHair is BasaKuat THEN RelaypHup=0 AND RelaypHdown=25.

Reduksi Tipe dan Defuzzifikasi *Fuzzy Type-2*

Pada penelitian ini, penulis menggunakan jenis reduksi tipe : *Center of Set (KM-Algorithm)*. Bentuk umum dari *Center of Set Typereduction* untuk sistem kontrol dapat anda lihat pada persamaan berikut.

$$Y_l = \left(\sum_{i=1}^L y^i \bar{\mu}_B^i + \sum_{i=L+1}^C y^i \underline{\mu}_B^i \right) / \left(\sum_{i=L+1}^C \underline{\mu}_B^i + \sum_{i=1}^L \bar{\mu}_B^i \right)$$

$$Y_r = \left(\sum_{i=R+1}^C y^i \bar{\mu}_B^i + \sum_{i=1}^R y^i \underline{\mu}_B^i \right) / \left(\sum_{i=1}^R \underline{\mu}_B^i + \sum_{i=R+1}^C \bar{\mu}_B^i \right)$$

Adapun rumus defuzzifikasi yang ada pada IT2FL ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$Y_{\cos} = \frac{Y_l + Y_r}{2}$$

Contoh Manual : Fuzzifikasi *Fuzzy Type-2*

Diketahui *sensor* pH milik Pak Jojo menunjukkan nilai pH sebesar 8.5, maka bagaimana cara menentukan hasil *fuzzy* ?

1. Fungsi Keanggotaan Atas (UMF) :

- a. $\mu \text{ pH AsamKuat } [8.5] = 0$
- b. $\mu \text{ pH AsamLemah } [8.5] = 0$
- c. $\mu \text{ pH Netral } [8.5] = 0$
- d. $\mu \text{ pH BasaLemah } [8.5] = \frac{8.5 - 8}{9 - 8} = \frac{0.5}{1} = 0.5$
- e. $\mu \text{ pH BasaKuat } [8.5] = 0$

2. Fungsi Keanggotaan Bawah (LMF) :

- a. $\mu \text{ pH AsamKuat } [8.5] = 0$
- b. $\mu \text{ pH AsamLemah } [8.5] = 0$
- c. $\mu \text{ pH Netral } [8.5] = 0$
- d. $\mu \text{ pH BasaLemah } [8.5] = \frac{8.5 - 8.2}{9 - 8.2} = \frac{0.3}{0.8} = 0.3$
- e. $\mu \text{ pH BasaKuat } [8.5] = 0$

Contoh Manual : Inferensi *Fuzzy Type-2*

1. Aturan Dasar (R0) :

IF pHair is AsamKuat **THEN** RelaypHup=25 **AND** RelaypHdown=0.

MF: $Upper = (0) = (0, 0)$, $Lower = (0) = (0, 0)$

2. Aturan Dasar (R1) :

IF pHair is AsamLemah **THEN** RelaypHup=10 **AND** RelaypHdown=0.

MF: $Upper = (0) = (0, 0)$, $Lower = (0) = (0, 0)$

3. Aturan Dasar (R2) :

IF pHair is Netral **THEN** RelaypHup=0 **AND** RelaypHdown=0.

MF: $Upper = (0) = (0, 0)$, $Lower = (0) = (0, 0)$

4. Aturan Dasar (R3) :

IF pHair is BasaLemah **THEN** RelaypHup=0 **AND** RelaypHdown=10.

MF: $Upper = (0.5) = (0, 0.5)$, $Lower = (0.3) = (0, 0.3)$

5. Aturan Dasar (R4) :

IF pHair is BasaKuat **THEN** RelaypHup=0 **AND** RelaypHdown=25.

MF: $Upper = (0) = (0, 0)$, $Lower = (0) = (0, 0)$

Contoh Manual : Reduksi Tipe *Fuzzy Type-2*

Tabel Nilai Fungsi Keanggotaan pHair

MF/I	μ_{AK}	μ_{AL}	μ_N	μ_{BL}	μ_{BK}
U	0	0	0	0.5	0
L	0	0	0	0.3	0

Tabel Reduksi Tipe Bagian 2 (Kanan)

y^i	$\bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\underline{\mu}_{\bar{B}}^i$	$\sum_{i=1}^R y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=R+1}^C y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=R+1}^C \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=1}^R \underline{\mu}_{\bar{B}}^i$
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0.5	0.3	0.9	1.5	0.5	0.3
4	0	0	0	0	0	0

Tabel Reduksi Tipe Bagian 1

R	UMF (pHair)	LMF (pHair)
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0.5	0.3
4	0	0

Tabel Reduksi Tipe Bagian 2 (Kiri)

y^i	$\bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\underline{\mu}_{\bar{B}}^i$	$\sum_{i=1}^L y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=L+1}^C y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=L+1}^C \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}$	$\sum_{i=1}^L \underline{\mu}_{\bar{B}}^i$
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0.5	0.3	1.5	0.9	0.3	0.5
4	0	0	0	0	0	0

$$Y_1 = \left(\frac{\sum_{i=1}^L y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i} + \sum_{i=L+1}^C y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}}{\sum_{i=L+1}^C \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i} + \sum_{i=1}^L \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}} \right) = \left(\frac{1.5 + 0.9}{0.3 + 0.5} \right) = 3$$

$$Y_r = \left(\frac{\sum_{i=R+1}^C y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i} + \sum_{i=1}^R y^i \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}}{\sum_{i=1}^R \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i} + \sum_{i=R+1}^C \bar{\mu}_{\bar{B}}^{-i}} \right) = \left(\frac{1.5 + 0.9}{0.3 + 0.5} \right) = 3$$

Contoh Manual : Defuzzifikasi *Fuzzy Type-2*

Selanjutnya dapat dilakukan proses defuzzifikasi dengan cara mengambil nilai rata-rata (*average*) dari himpunan interval kiri (y_l) dan kanan (y_r). Berikut merupakan contoh penyelesaian defuzzifikasi :

$$Y_{\cos} = \frac{Y_l + Y_r}{2} = \frac{3 + 3}{2}$$

$$Y_{\cos} = \frac{6}{2} = \mathbf{3 \text{ (RelaypHup OFF \& RelaypHdown ON Sedang)}}$$

Integrasi : *Internet of Things*

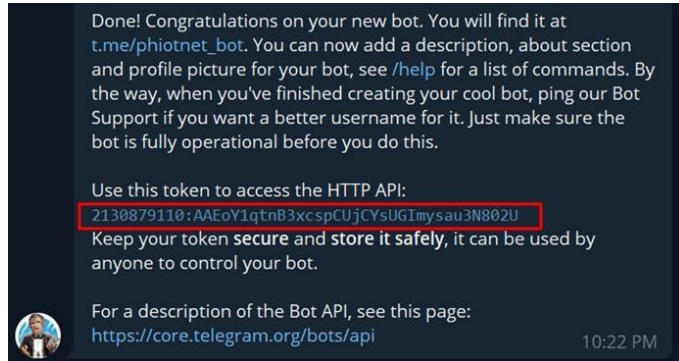
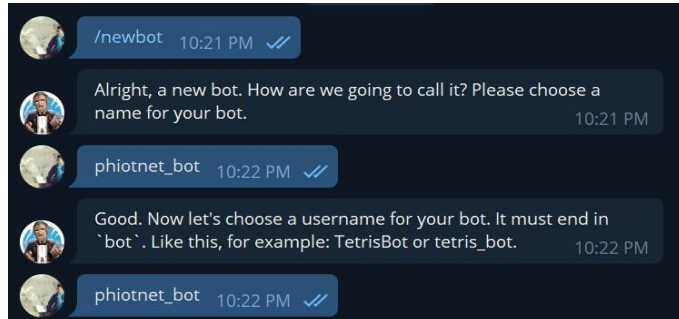
Source Code Konfigurasi IoT

```
1 #include <WiFi.h> //Pemanggilan Library WiFi
2 #include <PubSubClient.h> //Pemanggilan Library PubSubClient
3 WiFiServer server(80); //Constructor WiFiServer
4 WiFiClient espClient; //Constructor WiFiClient
5 PubSubClient client(espClient); //Constructor PubSubClient
6 #define ssid " " //Nama wifi router
7 #define password " " //Password wifi router
8 #define mqtt_server "i-ot.net" //Nama Platform IoT (Broker)
9 #define mqtt_port 1883 //Port I-ot.net
10 #define mqtt_username " " //Username I-ot.net
11 #define mqtt_password " " //Password I-ot.net
12 #define mqtt_clientID " " //Client ID I-ot.net
13 #define Topic "detect" //Topic MQTT : detect pH
14 void setup(){
15   connectWiFi(); //Memanggil fungsi connectWiFi
16   connectIoT(); //Memanggil fungsi connectIoT (i-ot.net)
17 }
18 void connectWiFi(){
19   Serial.print("[Konfigurasi Wi-Fi]\nmencoba menghubungkan ke Wi-Fi :
20   "); Serial.println(ssid); WiFi.begin(ssid, password);
21   while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){ delay(500); Serial.print("."); }
22   Serial.println(); Serial.println("\nstatus : \nWi-Fi berhasil
23   tersambung"); Serial.println(WiFi.localIP()); Loading();
24   WiFi.setAutoReconnect(true); //Auto reconnect after lost connect
25   WiFi.persistent(true); delay(1000); //reconnect to Access Point
26 }
```

Source Code Konfigurasi IoT

```
27 void connectIoT(){
28   Serial.print("\n[Konfigurasi IoT]\nmencoba menghubungkan ke Platform
29   : "); Serial.println(mqtt_server);
30   client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
31   if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { while(!client.connected()){
32     if(client.connect(mqtt_clientID, mqtt_username, mqtt_password)){
33       Serial.println("\nstatus :"); Serial.print(mqtt_server);
34       Serial.println(" berhasil tersambung");
35     }else if(!client.connect(mqtt_clientID,mqtt_username,
36     mqtt_password)){
37       Serial.println("\nstatus :"); Serial.print(mqtt_server);
38       Serial.print(" gagal tersambung (" + String(client.state()) +
39       ")\nmenyambungkan kembali"); LCDfailIoT();
40       while(!client.connect(mqtt_clientID, mqtt_username,
41       mqtt_password)){
42         delay(500); Serial.print(".");
43       }
44     }
45   } if(client.connected()){ client.loop(); }
46   } delay(1000);
47 }
```

Integrasi : Bot Telegram



Source Code Konfigurasi Bot Telegram

```
1 #include <CTBot.h> //Pemanggilan Library CTBot
2 CTBot myBot; //Constructor CTBot
3 #define BOTtoken " " //API bot telegram
4 void setup(){
5     connectBot(); //Memanggil fungsi connectBot (Bot Telegram)
6 }
7 void connectBot(){
8     myBot.setTelegramToken(BOTtoken); //Set Bot Token
9     myBot.wifiConnect(ssid, password); //Menyambungkan ke WiFi
10    myBot.setMaxConnectionRetries(5); //Set Reconnect
11    Serial.println("\n[Konfigurasi Bot Telegram]\nmencoba menghubungkan
12 ke : phiotnet_bot");
13    if(myBot.testConnection()){
14        Serial.println("\nstatus : \nbot telegram berhasil tersambung");
15    } else{ Serial.print("\nstatus : \nbot telegram gagal tersambung\n
16 menyambungkan kembali"); LCDfailBot();
17    while (!myBot.testConnection()){ delay(1000);Serial.print("."); }
18    } delay(1000);
19 }
```

Hasil: Rancangan *Hardware*

Rangkaian ini terdiri atas:

- 1 Arduino Uno.
- 1 ESP32.
- 1 ESP32 *Baseboard*.
- 1 *Electrical Relay Module*.
- 2 *Pneumatic Solenoid Valve*.
- 1 LCD I2C.
- 1 RTC (*Real Time Clock*) *Module*.
- 1 *Electrical Piezo Buzzer*.
- 1 *PH Sensor Kit*.
- 1 *Switching Power Supply*.
- 1 *Submersible Pump*.



Hasil: Budidaya Akuaponik

Hasil Budidaya : **Ikan lele**



Rentang waktu panen ikan lele :
2 hingga 3 bulan

Hasil Budidaya : **Sawi Pakcoy**



Rentang waktu panen sawi pakcoy :
1 hingga 2 bulan

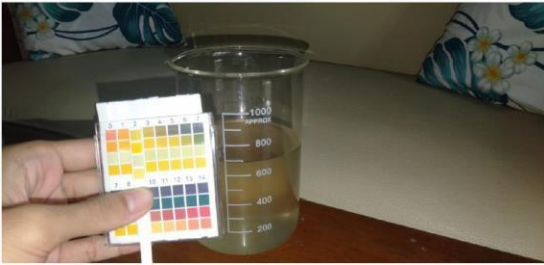
Pengujian: *Multimeter*



Gambar di atas menunjukkan proses pengujian sampel tegangan dan kuat arus pada *hardware*. Dalam pengujian tersebut, *hardware* yang ada diukur dengan menggunakan alat *multimeter*. Dengan adanya pengujian ini, sehingga dapat diketahui pembagian tegangan operasi yang digunakan pada sistem dapat berjalan sesuai rancangan.

Pengujian: Kertas Lakmus

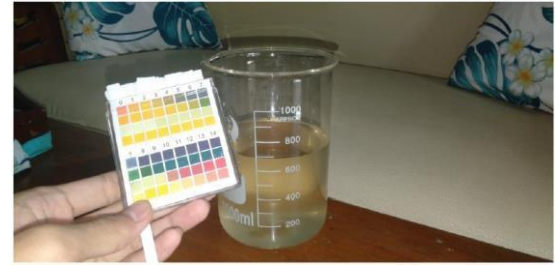
Asam Kuat (pH: 0-3)



Asam Lemah (pH: 4-6)



Netral (pH: 7)



Basa Lemah (pH: 8-10)



Basa Kuat (pH: 11-14)

Pengujian: Koneksi *Wi-Fi*, IoT, dan *Bot Telegram*

- Uji Koneksi *Wi-Fi* : berhasil dan gagal.

```
COM8
[Konfigurasi Wi-Fi]
mencoba menghubungkan ke Wi-Fi : WIJAYA
.....

status :
Wi-Fi berhasil tersambung
192.168.1.7
COM8
[Konfigurasi Wi-Fi]
mencoba menghubungkan ke Wi-Fi : WIJAYA
.....
```

- Uji Koneksi IoT : berhasil dan gagal.

```
COM8
[Konfigurasi IoT]
mencoba menghubungkan ke Platform : i-ot.net

status :
i-ot.net berhasil tersambung
COM8
[Konfigurasi IoT]
mencoba menghubungkan ke Platform : i-ot.net

status :
i-ot.net gagal tersambung (-2)
menyambungkan kembali.....
```

```
COM8
[Konfigurasi Bot Telegram]
mencoba menghubungkan ke : phiotnet_bot

status :
bot telegram berhasil tersambung
COM8
[Konfigurasi Bot Telegram]
mencoba menghubungkan ke : phiotnet_bot

status :
bot telegram gagal tersambung
menyambungkan kembali.....
```

- Uji Koneksi *Bot Telegram* : berhasil dan gagal.

Pengujian: Menu *Bot Telegram*



Pengujian: *Monitoring* pH dan Pengaruh pH Asam

► *Monitoring* pH selama 1 hari

Uji	Waktu	pH Meter	pH Prototype	Error	%Error	Akurasi
1	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.39	8.80	0.41	4.88%	96%
2	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.39	8.80	0.41	4.88%	96%
3	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.39	9.61	1.22	14.54%	88%
4	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.39	7.61	0.78	9.29%	90%
5	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.39	7.71	0.68	8.10%	92%
6	Minggu, 03-4-2022 (pagi)	8.40	8.80	0.4	4.76%	96%
----	----	----	----	----	----	----
98	Minggu, 03-4-2022 (malam)	7.31	6.53	0.78	10.67%	89%
99	Minggu, 03-4-2022 (malam)	7.31	8.97	1.66	22.70%	82%
100	Minggu, 03-4-2022 (malam)	7.31	7.43	0.12	1.64%	99%
Nilai rata-rata Error, %Error, dan Akurasi				0.8	0.1%	91%

Hasil uji *Monitoring* pH berdasarkan 4 sesi (pagi, siang, sore, dan malam)

► Pengaruh pH asam selama 2 bulan

Minggu	Sawi Pakcoy		Ikan Lele	
	Jumlah Daun	Tinggi (cm)	Panjang (cm)	Berat (gram)
1	2	5	11	± 12
2	3	7	12	± 15
3	3	8	13	± 20
4	4	9	15	± 48
5	4	9.5	17	± 70
6	5	10.5	20	± 82
7	5	12	22	± 95
8	5	13	25	± 100

Hasil uji pengaruh pH Asam terkait perkembangan ikan lele dan sawi pakcoy

Pengujian: *Fuzzy Type-2*

SPK 0 (pH *up* : *ON* lama)

```
[Interval Type 2 Fuzzy Logic]
proses fuzzifikasi :

Deteksi pH: 2.17
Nilai AK-Upper: 0.28, Nilai AK-Lower: 0.23
Nilai AL-Upper: 0.00, Nilai AL-Lower: 0.00
Nilai N-Upper: 0.00, Nilai N-Lower: 0.00
Nilai BL-Upper: 0.00, Nilai BL-Lower: 0.00
Nilai BK-Upper: 0.00, Nilai BK-Lower: 0.00

proses inferensi :
AK-Upper terkecil = 0.28, AK-Lower terkecil = 0.23
AL-Upper terkecil = 0.00, AL-Lower terkecil = 0.00
N-Upper terkecil = 0.00, N-Lower terkecil = 0.00
BL-Upper terkecil = 0.00, BL-Lower terkecil = 0.00
BK-Upper terkecil = 0.00, BK-Lower terkecil = 0.00

proses reduksi tipe & defuzzifikasi :
yl = (0.00 + 0.00) / (0.23 + 0.28) = 0.00
yr = (0.00 + 0.00) / (0.28 + 0.23) = 0.00
yout = (0.00 + 0.00) / 2 = 0
```

SPK 1 (pH *up* : *ON* sedang)

```
[Interval Type 2 Fuzzy Logic]
proses fuzzifikasi :

Deteksi pH: 3.84
Nilai AK-Upper: 0.00, Nilai AK-Lower: 0.00
Nilai AL-Upper: 0.56, Nilai AL-Lower: 0.49
Nilai N-Upper: 0.00, Nilai N-Lower: 0.00
Nilai BL-Upper: 0.00, Nilai BL-Lower: 0.00
Nilai BK-Upper: 0.00, Nilai BK-Lower: 0.00

proses inferensi :
AK-Upper terkecil = 0.00, AK-Lower terkecil = 0.00
AL-Upper terkecil = 0.56, AL-Lower terkecil = 0.49
N-Upper terkecil = 0.00, N-Lower terkecil = 0.00
BL-Upper terkecil = 0.00, BL-Lower terkecil = 0.00
BK-Upper terkecil = 0.00, BK-Lower terkecil = 0.00

proses reduksi tipe & defuzzifikasi :
yl = (0.56 + 0.49) / (0.49 + 0.56) = 1.00
yr = (0.49 + 0.56) / (0.56 + 0.49) = 1.00
yout = (1.00 + 1.00) / 2 = 1
```

SPK 2 (*All* pH : *OFF*)

```
[Interval Type 2 Fuzzy Logic]
proses fuzzifikasi :

Deteksi pH: 7.88
Nilai AK-Upper: 0.00, Nilai AK-Lower: 0.00
Nilai AL-Upper: 0.00, Nilai AL-Lower: 0.00
Nilai N-Upper: 0.12, Nilai N-Lower: 0.00
Nilai BL-Upper: 0.00, Nilai BL-Lower: 0.00
Nilai BK-Upper: 0.00, Nilai BK-Lower: 0.00

proses inferensi :
AK-Upper terkecil = 0.00, AK-Lower terkecil = 0.00
AL-Upper terkecil = 0.00, AL-Lower terkecil = 0.00
N-Upper terkecil = 0.12, N-Lower terkecil = 0.00
BL-Upper terkecil = 0.00, BL-Lower terkecil = 0.00
BK-Upper terkecil = 0.00, BK-Lower terkecil = 0.00

proses reduksi tipe & defuzzifikasi :
yl = (0.23 + 0.00) / (0.00 + 0.12) = 2.00
yr = (0.00 + 0.23) / (0.12 + 0.00) = 2.00
yout = (2.00 + 2.00) / 2 = 2
```

SPK 3 (pH *down* : *ON* sedang)

```
[Interval Type 2 Fuzzy Logic]
proses fuzzifikasi :

Deteksi pH: 8.09
Nilai AK-Upper: 0.00, Nilai AK-Lower: 0.00
Nilai AL-Upper: 0.00, Nilai AL-Lower: 0.00
Nilai N-Upper: 0.00, Nilai N-Lower: 0.00
Nilai BL-Upper: 0.09, Nilai BL-Lower: 0.00
Nilai BK-Upper: 0.00, Nilai BK-Lower: 0.00

proses inferensi :
AK-Upper terkecil = 0.00, AK-Lower terkecil = 0.00
AL-Upper terkecil = 0.00, AL-Lower terkecil = 0.00
N-Upper terkecil = 0.00, N-Lower terkecil = 0.00
BL-Upper terkecil = 0.09, BL-Lower terkecil = 0.00
BK-Upper terkecil = 0.00, BK-Lower terkecil = 0.00

proses reduksi tipe & defuzzifikasi :
yl = (0.27 + 0.00) / (0.00 + 0.09) = 3.00
yr = (0.00 + 0.27) / (0.09 + 0.00) = 3.00
yout = (3.00 + 3.00) / 2 = 3
```

SPK 4 (pH *down* : *ON* lama)

```
[Interval Type 2 Fuzzy Logic]
proses fuzzifikasi :

Deteksi pH: 13.91
Nilai AK-Upper: 0.00, Nilai AK-Lower: 0.00
Nilai AL-Upper: 0.00, Nilai AL-Lower: 0.00
Nilai N-Upper: 0.00, Nilai N-Lower: 0.00
Nilai BL-Upper: 0.00, Nilai BL-Lower: 0.00
Nilai BK-Upper: 0.98, Nilai BK-Lower: 0.98

proses inferensi :
AK-Upper terkecil = 0.00, AK-Lower terkecil = 0.00
AL-Upper terkecil = 0.00, AL-Lower terkecil = 0.00
N-Upper terkecil = 0.00, N-Lower terkecil = 0.00
BL-Upper terkecil = 0.00, BL-Lower terkecil = 0.00
BK-Upper terkecil = 0.98, BK-Lower terkecil = 0.98

proses reduksi tipe & defuzzifikasi :
yl = (3.91 + 3.90) / (0.98 + 0.98) = 4.00
yr = (3.90 + 3.91) / (0.98 + 0.98) = 4.00
yout = (4.00 + 4.00) / 2 = 4
```

KESIMPULAN

1. Dalam penelitian ini, metodologi yang dipakai ialah RAD (*Rapid Application Development*), sedangkan metode yang digunakan meliputi : *On-Off Controller*, *Fuzzy Type-2*, dan Eksperimen.
2. Dalam sistem akuaponik, derajat pH yang ideal bagi ikan lele dan Sawi Pakcoy ialah di kisaran pH 5-8. Lalu Sawi Pakcoy dapat dipanen kurang lebih 2 bulan, sedangkan ikan lele waktu panen kurang lebih 2 sampai 3 bulan.
3. Pengkategorian pH dibagi menjadi : Asam Kuat (0-3), Asam Lemah (4-6), Netral (7), Basa Lemah (8-10), dan Basa Kuat (11-14).
4. Pada sistem ini, suplai listrik dan internet wajib ada karena sebagai modal awal untuk beroperasi. Lalu, integrasi sistem menggunakan *bot telegram* yang mana sangat mudah diaplikasikan baik kapanpun dan dimanapun berada sehingga dapat membantu dalam meningkatkan ketahanan pangan pada level rumah tangga di masa Pandemi Covid-19 ini.
5. Logika *Fuzzy Type-2* yang diimplementasikan berjenis *Interval*, yang mana mampu dalam mengatasi ketidakpastian yang ada pada sistem kendali pH air, sehingga pH air tetap optimal. Hal tersebut dilakukan secara otomatis.
6. Berdasarkan hasil pengujian, sistem yang dibuat ini dapat berjalan dengan baik dan telah valid yang ditunjukkan oleh adanya kesesuaian antara sistem dengan *requirement*. Lalu galat selisih rata-rata yang ada pada *sensor* sebesar 0,8. Sedangkan galat sistematis rata-rata yang ada pada *sensor* sebesar 0,1%. Kemudian, akurasi rata-rata yang ada pada *sensor* sebesar 91%.



**TERIMA
KASIH**