

# SISTEM KENDALI DERAJAT KEASAMAN DAN KANDUNGAN NUTRISI PADA SISTEM *NUTRIENT FILM TECHNIQUE* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC SUGENO*

<sup>1</sup>Ahmad Rizal Alviansyah, <sup>2</sup>Sujono<sup>3</sup>Akhmad Musafa, Nazori AZ<sup>4</sup>, Nifty Fath<sup>5</sup>

Teknik Elektro, Universitas Budi Luhur  
Jakarta Selatan, Indonesia, 12260

[ahmad.rizalviansyah@gmail.com](mailto:ahmad.rizalviansyah@gmail.com), [sujono@budiluhur.ac.id](mailto:sujono@budiluhur.ac.id), [akhmad.musafa@budiluhur.ac.id](mailto:akhmad.musafa@budiluhur.ac.id),  
[nazori@budiluhur.ac.id](mailto:nazori@budiluhur.ac.id), [nifty.fath@budiluhur.ac.id](mailto:nifty.fath@budiluhur.ac.id)

## ABSTRAK

*Hidroponik adalah cara budidaya menanam tanaman tanpa menggunakan tanah, cukup dengan menggunakan air dan larutan nutrisi sebagai media tanam. Hidroponik dalam penggunaannya harus diperhatikan Kebutuhan energi diperoleh dari berbagai zat gizi, seperti: karbohidrat, protein, lemak, air, vitamin, dan mineral (keasaman air). Tugas akhir ini dibuat agar dapat menjaga kestabilan nilai derajat keasaman dan kadar nutrisi pada air hidroponik dengan menggunakan sensor derajat keasaman dan kadar nutrisi untuk memantau kadar keasaman dan nutrisi yang terlarut pada air. Sensor-sensor tersebut menjadi acuan sistem ini berjalan yang dibantu dengan perhitungan metode fuzzy logic sugeno sebagai pengatur lama bekerjanya sebuah pompa. Pengujian dilakukan selama 63 menit, dibutuhkan waktu selama 20 menit untuk nilai derajat keasaman sampai dengan nilai setpoint dan dibutuhkan waktu selama 35 menit untuk nilai kadar nutrisi sampai dengan nilai setpoint. Sistem mengendalikan keluaran cairan keasaman tidak dalam kondisi steady state dikarenakan tidak digunakannya solenoid valve yang dapat mengontrol keluaran cairan lebih maksimal dan juga mengendalikan keluaran cairan nutrisi dalam kondisi steady state dengan nilai set point yang diharapkan, pada saat pembacaan sensor sudah sesuai pompa AB Mix akan mati..*

*Kata kunci: Hidroponik, Cairan Nutrisi, Derajat Keasaman, Fuzzy Logic;*

## ABSTRACT

*Hydroponics is a way of cultivating plants without using soil, simply by using water and nutrient solutions as a growing medium. Hydroponics in its use must be considered Energy needs are obtained from various nutrients, such as: carbohydrates, proteins, fats, water, vitamins, and minerals (water acidity). This final project is made in order to maintain the stability of the acidity value and nutrient levels in hydroponic water by using acidity sensors and nutrient levels to monitor acidity levels and nutrients dissolved in water. These sensors become a reference for this system to run which is assisted by the calculation of the Sugeno fuzzy logic method as a regulator of the length of operation of a pump. Testing was carried out for 63 minutes, it took 20 minutes for the acidity value to reach the setpoint value and it took 35 minutes for the nutrient content value to reach the setpoint value. The system controls the acidity liquid output not in a steady state condition because it does not use a solenoid valve that can control the liquid output more optimally and also control the nutrient liquid output in a steady state condition with the expected set point value, when the sensor reading is appropriate the AB Mix pump will turn off.*

*Keywords—component; Hydroponics, Liquid Nutrient, Degree of Acidity, Fuzzy Logic*

## I. PENDAHULUAN

Semakin padatnya penduduk di suatu wilayah membuat semakin sedikit tempat yang bisa di tinggali oleh masyarakat. Peningkatan jumlah penduduk harus dibarengi dengan ketersediaan bahan pangan agar tercipta ketahanan pangan dan sejalan dengan *sustainable development goals*

(SDGs) *goal zero hunger*[1]. Upaya yang dapat dilakukan untuk menjamin ketersediaan pangan yaitu dengan memanfaatkan lahan pekarangan. Pemanfaatan lahan pekarangan dapat dijadikan solusi agar ketahanan pangan khususnya dalam suatu keluarga dapat terwujud. Dalam pemanfaatan lahan dapat melakukan bercocok tanam dengan metode hidroponik. karenanya

masyarakat harus pintar-pintar dalam menghadapi masalah ini khususnya bercocok tanam. Solusi yang dapat menjadi jalan keluar dari masalah ini adalah hidroponik.

Hidroponik adalah cara budidaya menanam tanaman tanpa menggunakan tanah, cukup dengan menggunakan air dan larutan nutrisi sebagai media tanam. Hidroponik sangat cocok bagi masyarakat yang tinggal di perkotaan dan memiliki hobi bertanam karena hidroponik hanya membutuhkan lahan yang sedikit. Dikarenakan menggunakan air sebagai media tanam, maka kandungan mineral yang terdapat pada air tersebut harus diperhatikan sebab setiap daerah memiliki karakteristik kandungan mineral yang berbeda juga.

Salah satu metode yang biasa diterapkan dalam budidaya hidroponik ialah metode *Nutrient Film Technique (NFT)*. “Sebuah sistem NFT dirancang dengan baik didasarkan menggunakan saluran dengan kemiringan yang tepat, laju alir yang tepat, dan panjang saluran yang tepat. Keuntungan utama dari sistem NFT atas bentuk-bentuk lain dari hidroponik adalah bahwa akar tanaman yang terkena kecukupan pasokan air, oksigen, dan nutrisi. Keuntungan ini diharapkan memberikan hasil yang lebih tinggi dan berkualitas tinggi dari produk yang diperoleh selama masa tanam.[2]”

Hidroponik dalam penggunaannya harus diperhatikan. Kebutuhan energi diperoleh dari berbagai zat gizi, seperti: karbohidrat, protein, lemak, air, vitamin, dan mineral. Aspek penting yang perlu diperhatikan dalam menentukan keberhasilan budidaya hidroponik adalah pengelolaan tanaman yang meliputi persiapan bahan media, keasaman air, larutan nutrisi, pemeliharaan, aplikasi larutan nutrisi, panen dan pasca panen [3]. Selain kebutuhan energi zat gizi, hidroponik juga memerlukan sinar matahari yang cukup agar tanaman dapat berfotosintesis.

Pada saat air terkena sinar matahari, suhu air akan naik dan akan mempengaruhi nilai pH air itu sendiri. Kestabilan pH air perlu dijaga karena tiap tumbuhan memiliki nilai pH air yang umumnya berkisar 5,5 – 6,5. Umumnya indikator keasaman atau kebasahan suatu larutan yang terkandung di dalam air dengan skala antara 1 hingga 14. Pengkategorian pH dibagi menjadi 5 macam yaitu Asam Kuat (0-3), Asam Lemah (4-6), Netral (7), Basa Lemah (8-10), dan Basa Kuat (11-14) [4]. Sistem yang tepat untuk menjaga kestabilan nilai suhu, pH dan air nutrisi pada tumbuhan hidroponik salah satunya adalah *Fuzzy Logic*.

Beberapa penelitian tentang pengendalian hidroponik dengan menggunakan metode *fuzzy*.

Pada penelitian pertama membahas tentang Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan *Fuzzy Logic Controller* berbasis IoT. Metode yang digunakan yaitu *Fuzzy Logic* untuk mengendalikan kadar pH air dan pompa peristaltik sebagai keluaran dari sistem tersebut. Hasil dari penelitian ini selisih pembacaan sensor pH dengan pH meter antara 0,03 – 0,14. Selisih data pembacaan sensor menunjukkan bahwa akurasi sensor pH masih dalam batas *datasheet* yaitu  $\pm 0,1$  dengan rata-rata error 1,62%. Ketelitian sensor dalam membaca pH sebesar 98,38%[5].

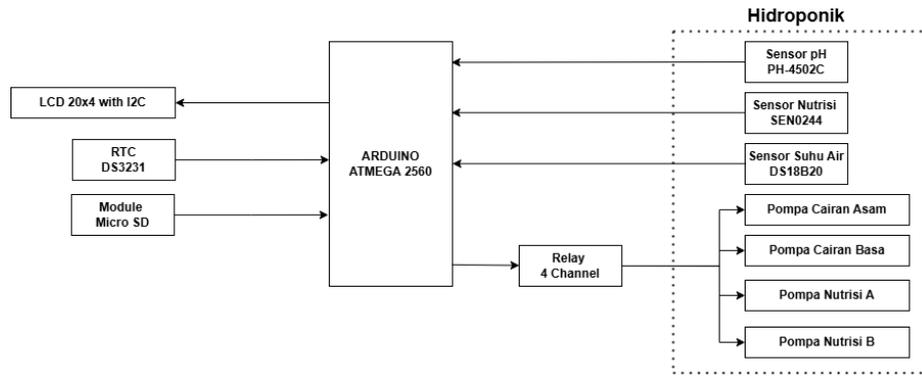
Pada penelitian ini membahas tentang Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* berdasarkan Objek Tanam. Metode yang digunakan adalah *Fuzzy Logic* mamdani sebagai *plant* hidroponik dengan kadar nutrisi dan level/ketinggian larutan nutrisi. Hasil dari penelitian ini adalah sistem kendali nutrisi hidroponik berbasis *Fuzzy Logic* berdasarkan objek tanam berhasil diimplementasikan menggunakan kendali *Fuzzy Logic* dengan nilai keberhasilan 95,14% untuk nutrisi dan 91,64% untuk air dalam mencapai *set point*. Kendali *Fuzzy Logic* memiliki nilai keberhasilan 99,15% untuk durasi *output* nutrisi dan 98,98% untuk durasi *output* air dari perbandingan pemodelan di MatLab[6].

Tujuan dari perancangan alat ini adalah untuk mengetahui kinerja metode fuzzy logic sugeno dalam menjaga nilai pH air dan kandungan nutrisi pada sistem hidroponik NFT agar sesuai dengan nilai yang diinginkan.

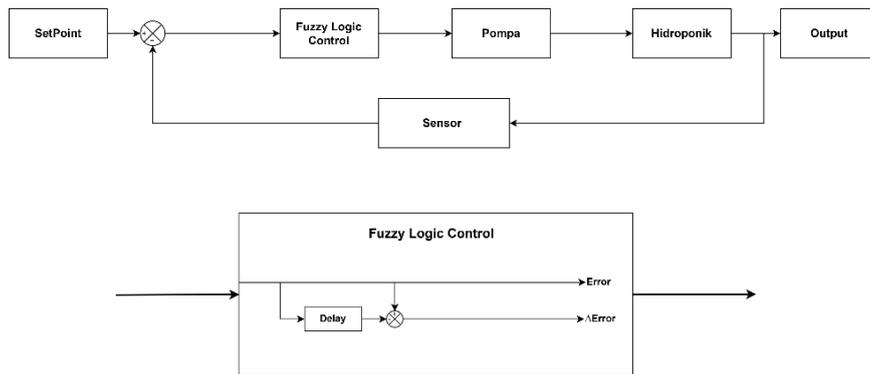
Maka pada penelitian ini akan menggunakan metode *Fuzzy Logic* Sugeno pada sistem pengendalian pH air dan air nutrisi pada sistem hidroponik NFT. Tujuan dari penelitian ini adalah membantu mempermudah para pembudidaya hidroponik dan menstabilkan nilai air nutrisi dan pH air pada hidroponik pada nilai yang telah ditentukan sehingga membuat tanaman dapat tumbuh dengan baik.

## II. DESAIN SISTEM

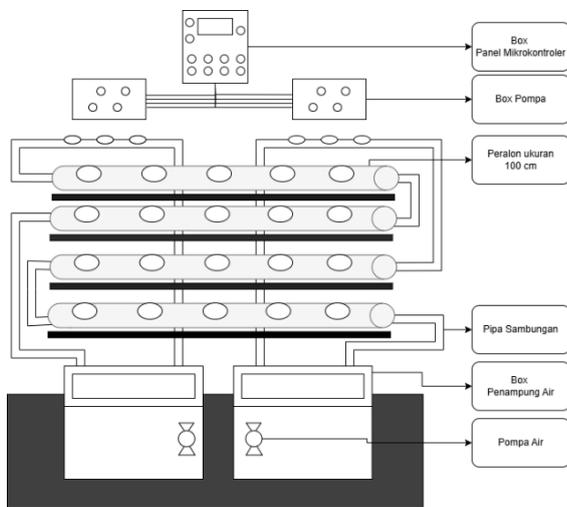
Sistem kendali derajat keasaman dan cairan nutrisi ini memiliki diagram kontrol ditampilkan pada Gambar 1. Diagram Kendali fuzzy dapat ditampilkan pada Gambar 2. Desain alat untuk Sistem kendali derajat keasaman dan cairan nutrisi ini ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Diagram Kontrol



Gambar 2 Diagram Kendali Fuzzy



Gambar 3 Desain Alat

#### A. Sensor Derajat Keasaman

Sensor Derajat Keasaman yang digunakan pada penelitian ini adalah pH-4502C. Sensor ini terhubung pada mikrokontroler dapat mengukur derajat keasaman pada air secara real time.



Gambar 4. Sensor Derajat Keasaman

Sensor pH ini dilengkapi dengan LED sebagai indikator daya, konektor BNC, dan probe interface sensor.

#### B. Sensor TDS (Total Dissolved Solid)

Sensor Kadar Nutrisi yang digunakan pada penelitian ini adalah SEN-0244. Sensor ini terhubung pada mikrokontroler dapat mengukur

kadar nutrisi yang terkandung pada air secara real time.



Gambar 5. Sensor Kadar Nutrisi

Sensor yang digunakan ini adalah sensor TDS SEN-0244. Sensor ini dapat mengukur cairan nutrisi yang terlarut dari rentang 0 sampai 1000ppm dengan akurasi sebesar  $\pm 10\%$  FS (25 °C). Tegangan DC yang digunakan pada sensor ini ialah 3,3V sampai 5,5 V.

C. Sensor Suhu Air (DS18B20)

Sensor suhu air yang digunakan pada penelitian ini adalah DS18B20. Sensor ini terhubung pada mikrokontroler dapat mengukur suhu air secara real time.



Gambar 6. Sensor Suhu Air

Pada penelitian ini sensor suhu air hanya digunakan untuk memonitoring suhu air saja. Sensor suhu DS18B20 menggunakan komunikasi *onewire* yaitu komunikasi serial yang menggunakan satu jalur data dan satu *ground*.

D. Perancangan Logika Fuzzy

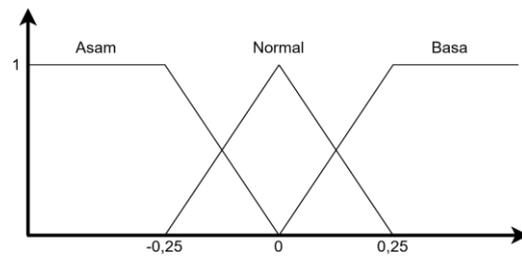
Perancangan terhadap fuzzy logic control yang meliputi fuzzifikasi, evaluasi rule, dan defuzzifikasi. Kemudian diagram alir (*flowchart*) dari seluruh program dan sub program yang digunakan sebagai sistem kendali lamanya pompa menyala pada hidroponik. Pada perancangan perangkat lunak dibagi menjadi dua (2) yaitu, perancangan perangkat lunak pH dan perancangan perangkat lunak Nutrisi.

1. Perancangan Logika Fuzzy Derajat Keasaman

Fuzzifikasi pada sistem dilakukan terhadap 2 buah masukan *crisp* yaitu nilai *error* dan  $\Delta error$ . Fungsi keanggotaan fuzzy terdiri dari 2 variabel *input* dan 1 variabel *output*. Pada pengendalian derajat keasaman (pH), *setpoint* yang diperlukan untuk tumbuhan pakcoy adalah 7. Fungsi

keanggotaan *error* terdiri dari Asam, Normal, Basa. Fungsi keanggotaan  $\Delta error$  terdiri dari Negatif, Zero, Positif. Proses fuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan nilai DoM (*Degree of Membership*) dari masing-masing *membership function* setiap *fuzzy set error* dan  $\Delta error$  yang dihitung dengan menggunakan rumus persamaan garis linear.

Dapat dijelaskan bahwa pada pengendalian pH, *setpoint* bernilai 7 dengan nilai batas bawah dari range pH adalah 6.75 dan nilai batas atas adalah 7.25. Variabel ini terdiri dari tiga fungsi keanggotaan, yaitu Asam, Normal, Basa. Dapat dijelaskan pada perumusan berikut :

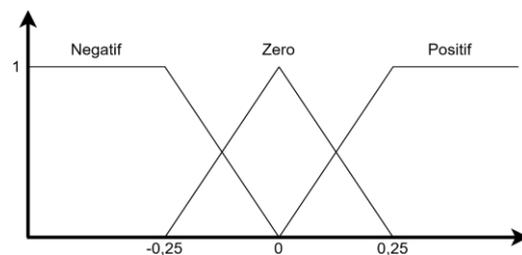


Gambar 7. Fuzzy Set masukan Error Derajat Keasaman

$$\mu_{\text{asam}}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq -0,25 \\ \frac{(0 - x)}{(0 - (-0,25))}; & -0,25 \leq x \leq 0 \\ 0 & x \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{normal}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq -0,25 \text{ atau } x \geq 0,25 \\ \frac{(x - (-0,25))}{(0 - (-0,25))}; & -0,25 \leq x \leq 0 \\ \frac{(0,25 - x)}{(0,25 - 0)}; & 0 \leq x \leq 0,25 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{basa}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ \frac{(x - 0)}{(0,25 - 0)}; & 0 \leq x \leq 0,25 \\ 1; & x \geq 0,25 \end{cases}$$



Gambar 8. Fuzzy set masukan  $\Delta error$  Derajat Keasaman

Nilai variabel  $\Delta error$  yaitu dengan batas bawah -0,25 dari respon sensor pH terhadap perubahan nilai pH pada sistem sampai 0.25 dari respon sensor pH terhadap perubahan nilai pH pada sistem. Variabel ini terdiri dari tiga fungsi keanggotaan, yaitu negatif, zero, dan positif. Dapat dijelaskan pada perumusan berikut :

$$\mu_{\text{negatif}}[y] = \begin{cases} 1; & y \leq -0,25 \\ \frac{(0 - y)}{(0 - (-0,25))}; & -0,25 \leq y \leq 0 \\ 0 & y \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{zero}}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq -0,25 \text{ atau } y \geq 0,25 \\ \frac{(y - (-0,25))}{(0 - (-0,25))}; & -0,25 \leq y \leq 0 \\ \frac{(0,25 - y)}{(0,25 - 0)}; & 0 \leq y \leq 0,25 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{positif}}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq 0 \\ \frac{(y - 0)}{(0,25 - 0)}; & 0 \leq y \leq 0,25 \\ 1; & y \geq 0,25 \end{cases}$$

Setelah Fuzzy set input error dan  $\Delta error$  telah ditentukan, maka diberikan aturan terhadap *antecedent* untuk menentukan keluaran *consequent* yang di harapkan. Pada Tabel 1 Dapat dilihat tabel rule base yang digunakan.

Tabel 1. Rule Base Derajat Keasaman

| Error \ Derror | Asam       | Normal     | Basa       |
|----------------|------------|------------|------------|
| Negatif        | Lama UP    | Singkat UP | Mati       |
| Zero           | Singkat UP | Mati       | Singkat DN |
| Positif        | Mati       | Singkat DN | Lama DN    |

Defuzzifikasi pada sistem kendali ini dibuat dengan metode weighted average area terhadap fuzzy set output sinyal kendali berupa lamanya pompa pH Up dan Down menyala. Output crisp lama menyala pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut.

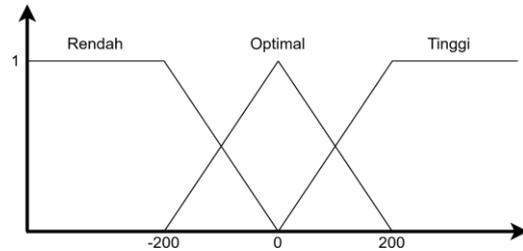
$$Z^* = \frac{(Singkat. 3) + (Lama. 6) + (Mati. 0)}{(Singkat + Lama + Mati)}$$

Keterangan :

- Z\* = Nilai Output Sinyal Kendali
- Singkat = Derajat Keanggotaan Membership Function Singkat
- Lama = Derajat Keanggotaan Membership Function Lama
- Mati = Derajat Keanggotaan Membership Function Mati
- 3 = Titik berat dari membership Function Singkat
- 6 = Titik berat dari membership Function Lama
- 0 = Titik berat dari membership Function Mati

## 2. Perancangan Logika Fuzzy Kadar Nutrisi

Fuzzifikasi pada sistem dilakukan terhadap 2 buah masukan crisp yaitu nilai error dan  $\Delta error$ . Fungsi keanggotaan fuzzy terdiri dari 2 variabel input dan 1 variabel output. Pada pengendalian cairan nutrisi, setpoint yang diperlukan untuk tumbuhan pakcoy adalah 1050-1400. Fungsi keanggotaan error terdiri dari Rendah, Optimal, Tinggi. Fungsi keanggotaan  $\Delta error$  terdiri dari Negatif, Zero, Positif. Masing-masing masukan *fuzzy set* dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



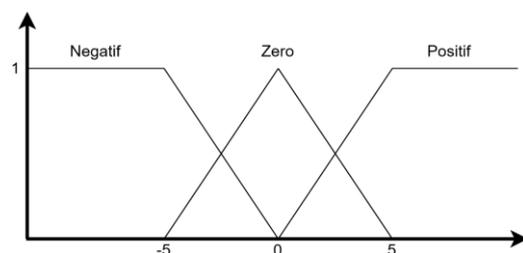
Gambar 9. Fuzzy Set masukan Error

Dapat dijelaskan bahwa pada pengendalian kadar nutrisi, setpoint bernilai 1250 pada range 1050-1400 dengan nilai batas bawah adalah 1050 dan nilai batas atas adalah 1450. Variabel ini terdiri dari tiga fungsi keanggotaan, yaitu rendah, optimal dan tinggi. Dijelaskan pada perumusan berikut :

$$\mu_{\text{rendah}}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq -200 \\ \frac{(0 - x)}{(0 - (-200))}; & -200 \leq x \leq 0 \\ 0 & x \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{optimal}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq -200 \text{ atau } x \geq 200 \\ \frac{(x - (-200))}{(0 - (-200))}; & -200 \leq x \leq 0 \\ \frac{(200 - x)}{(200 - 0)}; & 0 \leq x \leq 200 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tinggi}}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 0 \\ \frac{(x - 0)}{(200 - 0)}; & 0 \leq x \leq 200 \\ 1; & x \geq 200 \end{cases}$$



Gambar 10. Fuzzy Set masukan  $\Delta error$  kadar nutrisi

Nilai variabel  $\Delta error$  yaitu dengan batas bawah -5 dari respon sensor kadar nutrisi terhadap perubahan nilai kadar nutrisi pada sistem sampai 5 dari respon sensor kadar nutrisi terhadap perubahan

nilai kadar nutrisi pada sistem. Variabel ini terdiri dari tiga fungsi keanggotaan, yaitu negatif, zero, dan positif. Dapat dijelaskan pada perumusan berikut :

$$\mu_{\text{negatif}}[y] = \begin{cases} 1; & y \leq -5 \\ \frac{(0 - y)}{(0 - (-5))}; & -5 \leq y \leq 0 \\ 0 & y \geq 0 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{zero}}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq -5 \text{ atau } y \geq 5 \\ \frac{(y - (-5))}{(0 - (-5))}; & -5 \leq y \leq 0 \\ \frac{(5 - y)}{(5 - 0)}; & 0 \leq y \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{positif}}[y] = \begin{cases} 0; & y \leq 0 \\ \frac{(y - 0)}{(5 - 0)}; & 0 \leq y \leq 5 \\ 1; & y \geq 5 \end{cases}$$

Setelah Fuzzy set input error dan  $\Delta error$  telah ditentukan, maka diberikan aturan terhadap *antecedent* untuk menentukan keluaran *consequent* yang di harapkan. Pada Tabel 2 Dapat dilihat tabel rule base yang digunakan.

Tabel 2. Rule Base Kendali Kadar Nutrisi

| Error \ Derror | Rendah            | Optimal           | Tinggi |
|----------------|-------------------|-------------------|--------|
| Negatif        | Lama<br>AB Mix    | Singkat<br>AB Mix | Mati   |
| Zero           | Singkat<br>AB Mix | Singkat<br>AB Mix | Mati   |
| Positif        | Singkat<br>AB Mix | Singkat<br>AB Mix | Mati   |

Defuzzifikasi pada sistem kendali ini dibuat dengan metode weighted average area terhadap fuzzy set output sinyal kendali berupa lamanya pompa AB Mix menyala. Output *crisp* lama menyala pompa dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Z^* = \frac{(Singkat. 6) + (Lama. 12) + (Mati. 0)}{(Singkat + Lama + Mati)}$$

Keterangan :

$Z^*$  = Nilai Output Sinyal Kendali

Program dimulai dengan menginisialisasi program lalu memasukkan nilai setpoint yang dibutuhkan oleh tanaman pakcoy yaitu 7 pada derajat keasaman Ph dan 1250 dalam range 1050-1400 ppm untuk kada nutrisi. Kemudian sensor akan membaca nilai pH dan ppm pada air hidroponik lalu menghitung nilai error dan  $\Delta error$ . Setelah menghitung nilai error dan  $\Delta error$ , kemudian melakukan fuzzifikasi yaitu merubah nilai crisp menjadi nilai fuzzy. Pada sub program rule base

Singkat = Derajat Keanggotaan Membership Function Singkat

Lama = Derajat Keanggotaan Membership Function Lama

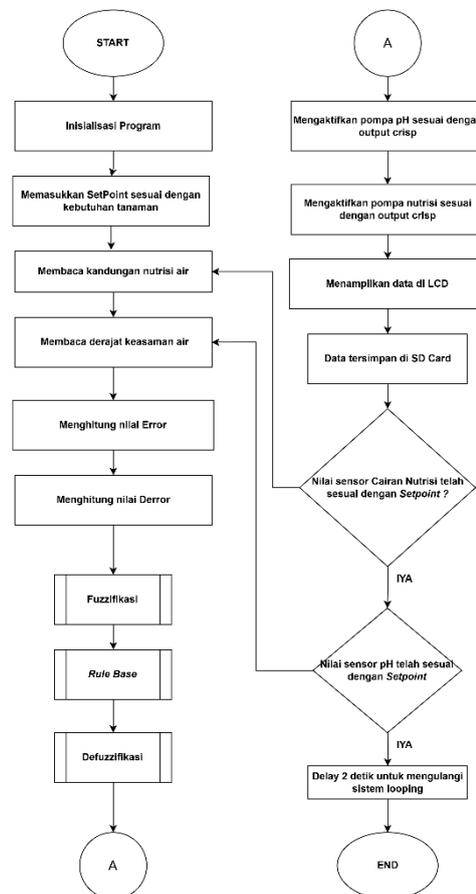
Mati = Derajat Keanggotaan Membership Function Mati

3 = Titik berat dari membership Function Singkat

6 = Titik berat dari membership Function Lama

0 = Titik berat dari membership Function Mati

### E. Diagram Alir Program



dilakukannya pemetaan nilai error dan  $\Delta error$  yang dapat menghasilkan output crisp yang akan di hitung dalam sub program defuzzifikasi. Setelah pengeksekusian sub-sub program tadi maka selanjutnya adalah mengaktifkan pompa keluaran yang sudah dihitung sebelumnya dengan metode fuzzy. Nilai akan tampil di LCD dan juga terimpan di SD Card. Kemudian sensor akan membaca ulang sensor apakah sudah sesuai dengan setpoint yang

telah dibuat, jika belum sistem akan berulang dalam jeda 35 detik.

### III. PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Pengujian dan analisa pada alat dilakukan terhadap setiap komponen utama yang mendukung dalam pembuatan rancangan sistem kendali derajat keasaman dan kadar nutrisi hidroponik dengan metode *fuzzy logic* sugeno. Komponen tersebut meliputi pH-4502C, SEN-0244, *Relay 4 Channel*, Pompa R385, kemudian dilakukan pengujian dan analisa terhadap sistem keseluruhan.

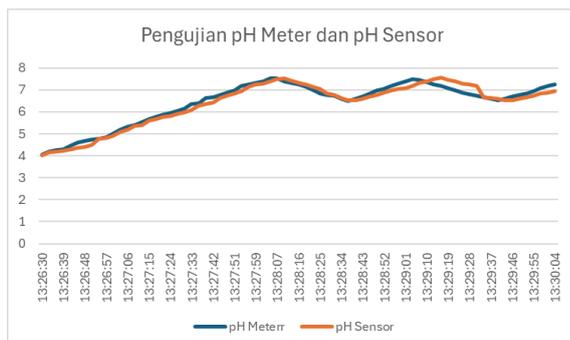
#### A. Pengujian Sensor Derajat Keasaman

Pengujian Sensor pH dilakukan untuk pengecekan derajat keasaman pada air hidroponik. Sebelum penggunaan Sensor pH pentingnya dilakukan kalibrasi karena bertujuan untuk memberikan hasil yang sesuai dan konsisten pada pengujian. Pada saat pengkalibrasian perlu juga dilakukan pengukuran dengan pH meter untuk membuktikan nilai tersebut telah sesuai atau tidak. Jika pengkalibrasian telah selesai maka sensor pH siap digunakan. Pengujian sensor pH dengan menghubungkan pin data sensor dengan pin input analog A1 pada arduino mega 2560 untuk mendapatkan pembacaan nilai sensor. Pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan pH meter dan hasil pengujian dari sensor dijadikan sebagai acuan derajat keasaman yang dibaca oleh sensor pH. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan masing-masing komponen seperti yang ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 12. Rangkaian pengujian sensor Derajat Keasaman

Hasil dari pengujian sensor derajat keasaman ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar berikut.



Dari pengujian sensor yang telah dilakukan didapatkan analisa dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(xi - \hat{x}_i)^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{2,7728}{73}}$$

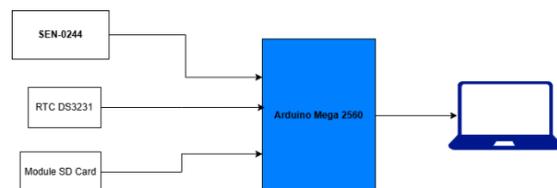
$$RMSE = \sqrt{0,0379835616}$$

$$RMSE = 0,194893719$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat error dalam pengukuran antara pH Meter dengan pH Sensor sebesar 0,194893719.

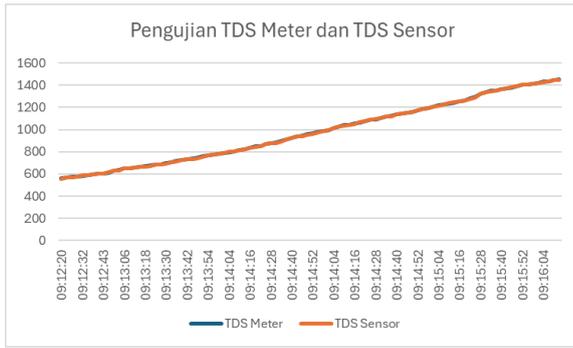
#### B. Pengujian Sensor Kadar Nutrisi

Pengujian sensor TDS (Total Dissolve Solid) SEN-0244 bertujuan untuk melakukan pengukuran cairan nutrisi pada tanaman dengan nilai keakuratan yang sesuai dengan alat ukur dan telah terkalibrasi sehingga dapat mengidentifikasi dari nilai kesalahan (error) yang terjadi dalam pengukuran. Pengujian sensor TDS dilakukan dengan menghubungkan pin data sensor menuju pin analog A0 pada arduino mega 2560 untuk membaca besarnya nilai nutrisi yang dihasilkan dengan satuan ppm (*part per million*). Nilai nutrisi yang terbaca oleh sensor akan ditampilkan pada serial monitor *software Arduino IDE* dan LCD. Kemudian hasil dari pengujian tersebut dibandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur manual yaitu TDS meter. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan masing-masing komponen seperti yang ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 13. Rangkaian Pengujian sensor TDS

Hasil dari pengujian sensor TDS ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar berikut.



Dari pengujian sensor yang telah dilakukan didapatkan analisa dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(xi - \hat{x}_i)^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{729}{96}}$$

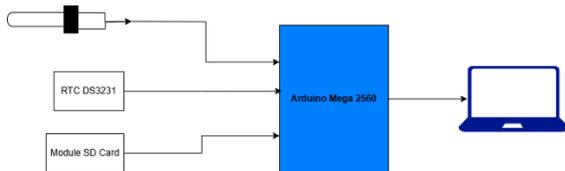
$$RMSE = \sqrt{7,59375}$$

$$RMSE = 2,75567596$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat error dalam pengukuran antara TDS Meter dengan TDS Sensor sebesar 2,75567596.

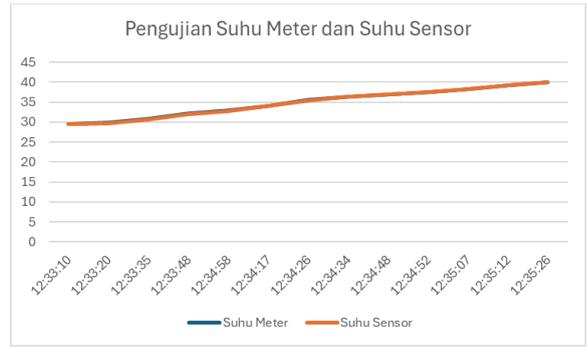
### C. Pengujian Sensor Suhu Air

Dilakukannya pengujian sensor suhu DS18B20 bertujuan untuk melakukan pengukuran suhu dengan akurasi yang sesuai dengan alat ukur yang sebelumnya telah di kalibrasi dan mengidentifikasi dari nilai kesalahan (error) yang terjadi dalam pengukuran sensor suhu DS18B20. Pengujian sensor suhu DS18B20 dengan menghubungkan pin data sensor dengan pin input digital 36 pada arduino mega 2560 untuk membaca besarnya nilai suhu yang dihasilkan. Nilai suhu yang terbaca oleh sensor suhu ditampilkan pada serial monitor dan LCD. Kemudian hasil dari pengujian tersebut dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan alat ukur manual. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan masing-masing komponen seperti yang ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 14. Rangkaian pengujian sensor suhu air

Hasil dari pengujian sensor TDS ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar berikut.



Dari pengujian sensor yang telah dilakukan didapatkan analisa dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,17}{13}}$$

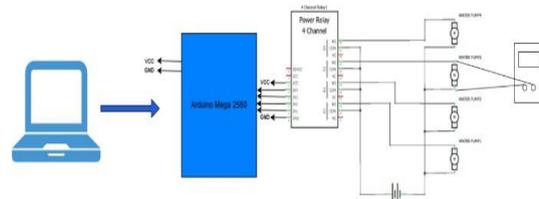
$$RMSE = \sqrt{0,0130769231}$$

$$RMSE = 0,1143454375$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat error dalam pengukuran antara HTC-2 dengan DS18B20 sebesar 0,1143454375.

### D. Pengujian Relay dengan pompa DC R385

Pengujian ini akan menjadi acuan apakah ketika relay dihubungkan dengan pompa akan bekerja dengan baik atau tidak. Pompa air DC dikendalikan oleh relay 4 channel, relay 4 channel dikendalikan oleh arduino mega 2560, dan kedua komponen tersebut diberikan tegangan oleh power supply 12V. Digunakannya relay 4 channel pada pompa untuk mengatur bekerjanya pompa. Pompa DC akan bekerja ketika diberikan logic (0) LOW dan akan tidak bekerja jika diberikan logic (1) HIGH. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan masing-masing komponen seperti yang ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 15. Rangkaian pengujian Relay

Hasil dari pengujian ini ditampilkan dalam bentuk Tabel berikut.

| Logic Relay | Keadaan Pompa | Nilai Tegangan |
|-------------|---------------|----------------|
| LOW         | MENYALA       | 12.22          |
| HIGH        | MATI          | 0              |

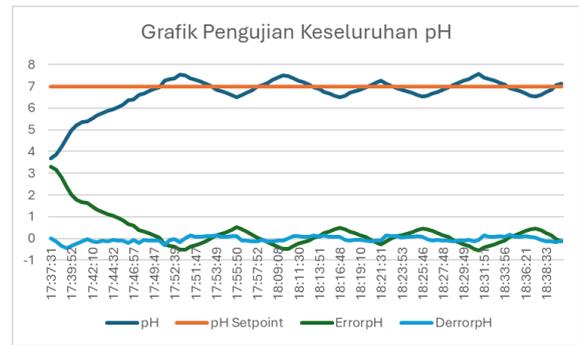
### E. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan cara mengaktifkan sistem dan menjalankan seluruh program yang dilampirkan pada halaman lampiran dalam laporan tugas akhir ini. Pengujian dilakukan di luar ruangan dengan kondisi cuaca terik dengan suhu air awal sebesar 29,4°C. Setelah itu, sistem diberikan *set point* derajat keasaman 7 dan *set point* kadar nutrisi 1250 pada *range* 1050–1400. Kemudian akan menghitung nilai error dan  $\Delta$ error. Setelah sistem di aktifkan selama 63 menit (1 jam 3 menit)

Tabel 3. Pengujian Keseluruhan

| Waktu    | pH   | TDS  | Suhu  | ErrorpH | $\Delta$ errorpH | error TDS | $\Delta$ errorTDS |
|----------|------|------|-------|---------|------------------|-----------|-------------------|
| 17:37:31 | 3,7  | 600  | 28,94 | 3,3     | 0                | 650       | 0                 |
| 17:38:06 | 3,85 | 621  | 28,94 | 3,15    | -0,15            | 629       | -21               |
| 17:38:41 | 4,2  | 642  | 29,94 | 2,8     | -0,35            | 608       | -21               |
| 17:39:17 | 4,64 | 691  | 29,94 | 2,36    | -0,44            | 559       | -49               |
| 17:39:52 | 4,97 | 763  | 29,87 | 2,03    | -0,33            | 487       | -72               |
| 17:40:28 | 5,21 | 785  | 29,81 | 1,79    | -0,24            | 465       | -22               |
| 17:41:03 | 5,34 | 800  | 29,81 | 1,66    | -0,13            | 450       | -15               |
| 17:41:35 | 5,38 | 826  | 29,81 | 1,62    | -0,04            | 424       | -26               |
| 17:42:10 | 5,52 | 843  | 29,81 | 1,48    | -0,14            | 407       | -17               |
| 17:42:45 | 5,68 | 854  | 29,81 | 1,32    | -0,16            | 396       | -11               |
| 17:43:21 | 5,77 | 868  | 29,81 | 1,23    | -0,09            | 382       | -14               |
| 17:43:56 | 5,89 | 881  | 29,81 | 1,11    | -0,12            | 369       | -13               |
| 17:44:32 | 5,94 | 893  | 29,81 | 1,06    | -0,05            | 357       | -12               |
| 17:45:11 | 6,05 | 914  | 29,81 | 0,95    | -0,11            | 336       | -21               |
| 17:45:46 | 6,16 | 923  | 29,81 | 0,84    | -0,11            | 327       | -9                |
| 17:46:21 | 6,35 | 947  | 29,81 | 0,65    | -0,19            | 303       | -24               |
| 17:46:57 | 6,4  | 962  | 29,81 | 0,6     | -0,05            | 288       | -15               |
| 17:47:21 | 6,62 | 974  | 29,81 | 0,38    | -0,22            | 276       | -12               |
| 17:48:09 | 6,68 | 996  | 29,81 | 0,32    | -0,06            | 254       | -22               |
| 17:48:44 | 6,77 | 1012 | 29,81 | 0,23    | -0,09            | 238       | -16               |
| 17:49:47 | 6,87 | 1044 | 29,75 | 0,13    | -0,1             | 206       | -32               |
| 17:50:16 | 6,96 | 1059 | 29,75 | 0,04    | -0,09            | 191       | -15               |
| 17:51:27 | 7,26 | 1075 | 29,87 | -0,26   | -0,3             | 175       | -16               |
| 17:52:02 | 7,33 | 1089 | 29,81 | -0,33   | -0,07            | 161       | -14               |
| 17:52:39 | 7,37 | 1095 | 29,75 | -0,37   | -0,04            | 155       | -6                |
| 17:50:16 | 7,53 | 1101 | 31,62 | -0,53   | -0,16            | 149       | -6                |
| 17:50:46 | 7,52 | 1118 | 29,94 | -0,52   | 0,01             | 132       | -17               |
| 17:51:17 | 7,38 | 1120 | 29,87 | -0,38   | 0,14             | 130       | -2                |
| 17:51:47 | 7,3  | 1136 | 29,94 | -0,3    | 0,08             | 114       | -16               |
| 17:52:17 | 7,24 | 1148 | 29,94 | -0,24   | 0,06             | 102       | -12               |
| 17:52:48 | 7,13 | 1152 | 30    | -0,13   | 0,11             | 98        | -4                |
| 17:53:18 | 7,01 | 1160 | 30    | -0,01   | 0,12             | 90        | -8                |
| 17:53:49 | 6,85 | 1173 | 30,06 | 0,15    | 0,16             | 77        | -13               |
| 17:54:19 | 6,78 | 1184 | 30    | 0,22    | 0,07             | 66        | -11               |
| 17:54:49 | 6,72 | 1192 | 30,06 | 0,28    | 0,06             | 58        | -8                |
| 17:55:20 | 6,61 | 1207 | 30    | 0,39    | 0,11             | 43        | -15               |
| 17:55:50 | 6,49 | 1214 | 30,06 | 0,51    | 0,12             | 36        | -7                |
| 17:56:20 | 6,59 | 1227 | 30,06 | 0,41    | -0,1             | 23        | -13               |
| 17:56:51 | 6,69 | 1238 | 30    | 0,31    | -0,1             | 12        | -11               |
| 17:57:21 | 6,82 | 1249 | 30,06 | 0,18    | -0,13            | 1         | -11               |
| 17:57:52 | 6,97 | 1255 | 30,06 | 0,03    | -0,15            | -5        | -6                |
| 18:07:22 | 7,05 | 1263 | 30,25 | -0,05   | -0,08            | -13       | -8                |

Dari Tabel tersebut dapat dilihat grafik pengujian per sensor yang ditampilkan pada Gambar dan Gambar.



Gambar 15. Pengujian Keseluruhan pH

Nilai Error sensor pH-4502C :

$$RMSE \text{ pH} = \sqrt{\frac{64,415}{100}}$$

$$RMSE \text{ pH} = \sqrt{0,64415}$$

$$RMSE \text{ pH} = 0,802589559$$

Nilai  $\Delta$ Error sensor pH-4502C :

$$\text{Rata - rata } \Delta \text{error pH} = \sqrt{\frac{11,7649}{100}}$$

$$\text{Rata - rata } \Delta \text{error pH} = \sqrt{0,117649}$$

$$\text{Rata - rata } \Delta \text{error pH} = 0,343$$

Dari Perhitungan dalam mencari RMSE pH dapat membantu dalam mencari sensitivitas sensor terhadap setpoint yang telah ditentukan. Mencari sensitivitas sensor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

Sensitivitas sensor batas bawah=Setpoint+RMSE pH

Sensitivitas sensor batas atas=7+0,802589559

Sensitivitas sensor batas atas=7,802589559

Sensitivitas sensor batas bawah=Setpoint-RMSE pH

Sensitivitas sensor batas atas=7-0,802589559

Sensitivitas sensor batas atas=6,197410441

Karena nilai pH umumnya terdiri dari 1 desimal maka didapat bahwa nilai batas dari sensitivitas sensor pH berkisar antara 6,2 sampai 7,8.

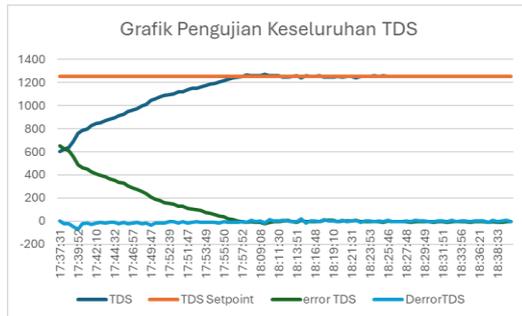
Nilai Persentase kesalahan sensor :

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \frac{\text{AVG ERROR pH} - \text{AVG Setpoint}}{\text{AVG Setpoint}}$$

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \left| \frac{6,7006 - 7}{7} \right|$$

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \pm 0,04277 = 4\%$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat error dalam pengujian keseluruhan antara pH-4502C dengan setpoint yang telah ditentukan sebesar 0,802589559 dan persentase kesalahan sensor yang didapat sebesar 4%.



Gambar 16. Pengujian keseluruhan TDS

#### Nilai Error Sensor SEN-0244 :

$$\text{RMSE TDS} = \sqrt{(3937355/100)}$$

$$\text{RMSE TDS} = \sqrt{39373,55}$$

$$\text{RMSE TDS} = 198,427695$$

#### Nilai ΔError Sensor SEN-0244 :

$$\text{Rata-rata } \Delta\text{error TDS} = \sqrt{(19050/100)}$$

$$\text{Rata-rata } \Delta\text{error TDS} = \sqrt{190,5}$$

$$\text{Rata-rata } \Delta\text{error TDS} = 13,8021737$$

Dari Perhitungan dalam mencari RMSE TDS dapat membantu dalam mencari sensitivitas sensor terhadap setpoint yang telah ditentukan. Mencari sensitivitas sensor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = \text{Setpoint} + \text{RMSE TDS}$$

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = 1250 + 198,427695$$

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = 1448,427695$$

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = \text{Setpoint} - \text{RMSE TDS}$$

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = 1250 - 198,427695$$

$$\text{Sensitivitas sensor batas atas} = 1051,572305$$

Karena nilai TDS umumnya terdiri dari bilangan bulat maka didapat bahwa nilai batas dari sensitivitas sensor TDS berkisar antara 1051 sampai 1448.

#### Nilai Persentase kesalahan sensor :

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \frac{\text{AVG ERROR TDS} - \text{AVG Setpoint TDS}}{\text{AVG Setpoint TDS}}$$

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \left| \frac{1150,31 - 1250}{1250} \right|$$

$$\text{Nilai Persentase kesalahan sensor} = \pm 0,079752 = 7\%$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat error dalam pengujian keseluruhan antara SEN-0244 dengan setpoint yang telah ditentukan sebesar 198,427695 dan persentase kesalahan sensor yang didapat sebesar 7%.

Maka perhitungan pembuktian bahwa sinyal kendali hasil proses fuzzy sebagai berikut :

Error pH = 0,802589559 masuk ke dalam *membership function* Basa.

Δerror pH = 0,343 masuk ke dalam *membership function* Positif.

Error TDS = 198,427695 masuk ke dalam *membership function* Optimal.

Δerror TDS = 13,8021737 masuk ke dalam *membership function* Positif.

Sehingga besaran DoM (*Degree of Membership*) masing-masing *membership function* sebagai berikut :

Derajat Keasaman :

$$\text{Basa} = 0,802 \quad x \geq 0,25 = 1;$$

$$\text{Positif} = 0,343 \quad y \leq 0,25 = 1;$$

Kadar Nutrisi :

$$\text{Optimal} = 198,427 \quad \frac{(200 - x)}{(200 - 0)};$$

$$\frac{(200 - 198,427)}{(200 - 0)} = \frac{1,573}{200} = 0,007865$$

$$\text{Positif} = 13,802 \quad y \geq 5 = 1;$$

Dengan menggunakan tabel *rule base* dan agregasi yang dilakukan maka hasil output fuzzy yang didapat adalah :

$$\text{Pompa pH :} \quad \text{Pompa TDS :}$$

$$\text{Mati} = 0 \quad \text{Mati} = 0$$

Singkat = 1  
Lama = 0

Singkat = 0,007865  
Lama = 0

Setelah itu dapat dihitung sinyal kendali hasil defuzzifikasi dengan metode weighted average area. Untuk sinyal kendali lama pompa menyala. Proses perhitungan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Lama Pompa pH Menyala} &= \frac{(\text{Singkat.3}) + (\text{Lama.6}) + (\text{Mati.0})}{(\text{Singkat} + \text{Lama} + \text{Mati})} \\ &= \frac{(1.3) + (0.6) + (1.0)}{(1 + 0 + 0)} \\ &= 3 \text{ detik lama menyala pompa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lama Pompa TDS Menyala} &= \frac{(\text{Singkat.6}) + (\text{Lama.12}) + (\text{Mati.0})}{(\text{Singkat} + \text{Lama} + \text{Mati})} \\ &= \frac{(0,007865.6) + (0.12) + (0.0)}{(0,007865 + 0 + 0)} \\ &= 6 \text{ detik lama menyala pompa} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian dan analisa respon sistem keseluruhan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem Fuzzy Logic yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan.
2. Sistem Fuzzy Logic untuk pH tidak dapat mempertahankan nilai setpoint dengan stabil.
3. Sistem Fuzzy Logic untuk cairan nutrisi dapat mempertahankan nilai setpoint dengan stabil.
4. Pengujian keseluruhan dilakukan selama 63 menit.
5. Sistem ini diperlukan waktu 20 menit untuk mencapai *setpoint* derajat keasaman yaitu di angka 7.
6. Sistem ini memiliki perhitungan error pH dalam pengujian keseluruhan sebesar 0,802589559 dan persentase kesalahan sensor pH yang didapat sebesar 4%.
7. Sistem ini diperlukan waktu 35 menit untuk mencapai setpoint kadar nutrisi yaitu di *range* 1050-1400 dengan titik tengah 1250.
8. Sistem ini memiliki perhitungan error TDS dalam pengujian keseluruhan sebesar 198,427695 dan persentase kesalahan sensor TDS yang didapat sebesar 7%.

Dikarenakan tidak adanya sistem pengatur suhu air pada sistem kendali ini menyebabkan nilai derajat keasaman dapat meningkat dan menurun sewaktu-waktu.

#### IV. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem Fuzzy Logic yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

2. Sistem Fuzzy Logic untuk pH tidak dapat mempertahankan nilai setpoint dengan stabil.
3. Sistem Fuzzy Logic untuk cairan nutrisi dapat mempertahankan nilai setpoint dengan stabil.
4. Pengujian keseluruhan dilakukan selama 63 menit.
5. Sistem ini diperlukan waktu 20 menit untuk mencapai setpoint derajat keasaman yaitu di angka 7.
6. Sistem ini memiliki perhitungan error pH dalam pengujian keseluruhan sebesar 0,802589559 dan persentase kesalahan sensor pH yang didapat sebesar 4%.
7. Sistem ini diperlukan waktu 35 menit untuk mencapai setpoint kadar nutrisi yaitu di range 1050-1400 dengan titik tengah 1250.
8. Sistem ini memiliki perhitungan error TDS dalam pengujian keseluruhan sebesar 198,427695 dan persentase kesalahan sensor TDS yang didapat sebesar 7%.
9. Dikarenakan tidak adanya sistem pengatur suhu air pada sistem kendali ini menyebabkan nilai derajat keasaman dapat meningkat dan menurun sewaktu-waktu.

#### REFERENSI

- [1] “Tanpa Kelaparan (Zero Hunger) sebagai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals).”
- [2] K. R. Sari, J. Hadie, and C. Nisa, “Pengaruh Media Tanam pada Berbagai Konsentrasi Nutrisi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Seledri dengan Sistem Tanam Hidroponik NFT,” *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, vol. 3, no. 1, pp. 7–14, 2016, doi: 10.33084/daun.v3i1.155.
- [3] N. Hidayati, P. Rosawanti, and F. Yusuf, “Kajian Penggunaan Nutrisi Anorganik Terhadap Pertumbuhan Kangkung ( *Ipomoea reptans* Poir) Hidroponik Sistem Wick Study of the Use of Inorganic Nutrition on the Growth of Kale ( *Ipomoea reptans* Poir) Wick Hydroponics System,” vol. 4, no. 2, pp. 75–81, 2017.
- [4] D. C. M. Wijaya, B. Rahmat, and E. Y. Puspaningrum, “Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Interval Type-2 Fuzzy Sugeno Pada Kendali pH Air,” *InComTech : Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 12, no. 3, p. 226, 2022, doi: 10.22441/incomtech.v12i3.15453.
- [5] R. L. Alam and A. Nasuha, “Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT,” *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 5, no. 1, pp. 11–20, May 2020, doi:

- 10.21831/elinvo.v5i1.34587.
- [6] F. SURYATINI, S. PANCONO, S. B. BHASKORO, and P. M. S. MULJONO, “Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam,” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, p. 263, Apr. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.263.
- [7] “Tabel PPM dan pH Nutrisi Hidroponik,” *Hidroponikpedia*. Accessed: Jul. 09, 2024. [Online]. Available: <https://hidroponikpedia.com/tabel-ppm-dan-ph-nutrisi-hidroponik/>
- [8] K. R. Sari, J. Hadie, and C. Nisa, “Pengaruh Media Tanam pada Berbagai Konsentrasi Nutrisi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Seledri dengan Sistem Tanam Hidroponik NFT,” *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, vol. 3, no. 1, pp. 7–14, 2016, doi: 10.33084/daun.v3i1.155.
- [9] F. S. H. P. M. S. Lisdayani1)\*, “Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman PakCoy (*Brassica rafa L*) Terhadap Penggunaan Pupuk Organik Cair NASA”.
- [10] “Pakcoy,” *Wikipedia*. Accessed: Jul. 09, 2024. [Online]. Available: <https://id.wikipedia.org/wiki/Pakcoy>
- [11] L. H. Santoso, A. Anwari, and F. Amelia, “Sistem Solar Cell Untuk Cadangan Suplai Energi Listrik Pada Sistem Kontrol Budidaya Tanaman Hidroponik Selada (*Lactuca Sativa*) Berbasis Internet Of Think (IoT),” 2024.
- [12] A. Akram Sanjaya et al., “Pembuatan dan Pengujian Rangkaian Sistem Kontrol Monitoring TDS Dan PH Nutrisi Hidroponik dengan Sistem Dutch Bucket Berbasis Telegram (Manufacturing and Testing of Hydroponic TDS and PH Nutrition Control Systems with Dutch Bucket Systems Based on Telegram),” vol. 1, no. 2, pp. 60–73, 2024.
- [13] I. Maulana, A. Lestari, and A. Kurniawan, “Rancang Bangun Prototype Rotary Hidroponik Menggunakan Kontrol Motor Servo pada Sistem Pertanian Indoor Design of A Rotary Hydroponic Prototype Using Servo Motor Control in Indoor Agricultural Systems,” *J-ABET*, vol. 2, no. 1, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.unupurwokerto.ac.id/index.php/j-abet/>
- [14] E. Fitriani and N. Fithri, “KOMPARASI SIMULASI KONTROL SUHU DAN LEVEL AIR PADA TANAMAN HIDROPONIK MENGGUNAKAN SISTEM FUZZY MAMDANI DAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS),” vol. 6, no. 1, doi: 10.31851/ampere.
- [15] S. Kusumadewi and I. Guswaludin, “FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING,” *Media Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 25–38, 2005. “jbptunikompp-gdl-muhammadau-32537-10-unikom\_m-i”.
- [16] Dicky Eko Wicaksono, “ANALISIS TINGKAT KEPUASAN PELANGGAN TERHADAP LAYANAN DI RUMAH MAKAN PACITAN DENGAN PENDEKATAN FUZZY MAMDANI.”
- [17] A. Ferdianto, “PENGENDALIAN KELEMBABAN TANAH PADA TANAMAN CABAI BERBASIS FUZZY LOGIC,” 2018.
- [18] A. Ferdianto, “PENGENDALIAN KELEMBABAN TANAH PADA TANAMAN CABAI BERBASIS FUZZY LOGIC,” 2018.
- [19] R. Pujiarso Nugroho, B. Darma Setiawan, and M. Tanzil Furqon, “Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Menentukan Harga Sewa Hotel (Studi Kasus: Gili Amor Boutique Resort, Dusun Gili Trawangan, Nusa Tenggara Barat),” 2019. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [20] “IMPLEMENTASI FUZZY SUGENO PADA HIDROPONIK DRIP.”
- [21] I. Iancu, “0 A Mamdani Type Fuzzy Logic Controller.” [Online]. Available: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- [22] S. Basriati et al., “Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu,” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 18, no. 1, pp. 120–125, 2020.
- [23] F. I. P. A. S. P. Ayu Hindayani, “Pengukuran pH dengan Teknik Kalibrasi Dua Titik.”
- [24] FITRI KUSUMANINGSIH, “PENGARUH PUPUK AB MIX DAN JENIS PUPUK ORGANIK CAIR (POC) TERHADAP PERTUMBUHAN, HASIL, DAN KERAGAAN KANGKUNG DARAT (*Ipomea reptans Poir*) PADA BUDIDAYA HIDROPONIK RAKIT APUNG.”
- [25] “Handson Technology User Guide 4 Channel 5V Optical Isolated Relay Module.” [Online]. Available: [www.handsontec.com](http://www.handsontec.com)
- [26] I. R. Reza Firmansyah Purba1, “Rancang Bangun Sistem Handsanitizer Dan Handwash Otomatis Menggunakan Sensor Proximity Berbasis Arduino Guna Mencegah Penularan Virus Corona”