

# Sistem Pengendali dan Pemantauan pH Air pada Tanaman Akuaponik dengan Metode *Fuzzy Logic Controller*

Muhammad Nur Faizi<sup>1</sup>, Angga Rusdinar<sup>2</sup>, Azam Zamhuri Fuadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[muhammadfaizi@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:muhammadfaizi@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id](mailto:anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[azamzamhurifuadi@telkomuniversity.ac.id](mailto:azamzamhurifuadi@telkomuniversity.ac.id)

## Abstrak

Salah satu parameter kualitas pertumbuhan tanaman akuaponik adalah kadar pH air. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem pengendali dan pemantauan pH air pada tanaman akuaponik. Metode kendali yang digunakan adalah fuzzy logic controller. Sistem yang dirancang mampu mengontrol pH air untuk beberapa jenis tanaman akuaponik. Pemantauan kadar pH dan input set point dilakukan menggunakan aplikasi android. Sensor pH 1 yang digunakan memiliki tingkat akurasi  $\pm 0,9861$  dan sensor pH 2 sebesar  $\pm 0,988$ . Metode kendali yang dirancang memiliki nilai response time sebesar 43 detik. Penelitian yang dilakukan selama 28 hari. Tanaman yang dikontrol mampu tumbuh lebih baik dari segala parameter yang diamati yaitu panjang, lebar, jumlah daun, dan tinggi tanaman dibandingkan dengan tanaman yang tidak dikontrol.

**Kata kunci:** akuaponik, pH, *fuzzy logic controller*, aplikasi android.

## Abstract

One of the quality parameters of aquaponic plant growth is the pH level of the water. This study aims to create a control and monitoring system for water pH in aquaponic plants. The control method used is a fuzzy logic controller. The system designed is able to control the pH of the water for several types of aquaponic plants. Monitoring of pH levels and input set point is done using an android application. The pH 1 sensor used has an accuracy level of  $\pm 0.9861$  and the pH 2 sensor is  $\pm 0.988$ . The control method designed has a response time value of 43 seconds. The study was conducted for 28 days. Controlled plants were able to grow better than all the parameters observed, namely length, width, number of leaves, and plant height compared to plants that were not controlled.

**Key words:** aquaponic, pH, *fuzzy logic controller*, android application

## 1. Pendahuluan

Bonus demografi yang dimiliki Indonesia menyebabkan banyak lahan pertanian beralih fungsi menjadi lahan tempat tinggal dan kawasan industri. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan lahan pertanian adalah dengan budidaya akuaponik[1]. Akuaponik merupakan sebuah metode gabungan dari budidaya hidroponik dengan akuakultur. Jenis tanaman yang biasanya dibudidaya adalah bayam, selada, pakcoy, dan beberapa jenis lainnya. Sedangkan untuk ikan yang biasa dibudidaya adalah ikan mas, lele, mujair, dan beberapa jenis lainnya [2].

Banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan budidaya akuaponik salah satunya kualitas pH air akuaponik. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang suatu sistem yang dapat mengendalikan dan memantau kadar pH air

akuaponik. Metode kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fuzzy logic controller*. Pemantauan kadar pH dilakukan menggunakan aplikasi android. Sistem yang dirancang mampu mengendalikan kadar pH air akuaponik beberapa jenis tanaman dengan cara membuat sistem otomasi *database*. *Input set point* nilai kontrol pH melalui aplikasi android dan dikirimkan ke *database* Firebase untuk selanjutnya diteruskan ke mikrokontroler.

Obyek penelitian yang dilakukan dengan dua jenis tanaman sayuran dengan nilai pH stabil yang berbeda-beda sehingga sistem yang dirancang mampu menyesuaikan nilai pH secara otomatis. Sistematika penelitian yang dilakukan adalah dengan satu kolam ikan untuk dua jenis tanaman akuaponik yang memiliki karakteristik pH sama selama 28 hari dan satu kolam lainnya untuk 2

jenis tanaman yang sama tetapi dengan alat kontrol pH air akuaponik. Kedua jenis tanaman tersebut akan dibandingkan dengan jenis tanaman yang sama tanpa perlakuan kontrol pH pada kolam ikan yang lainnya untuk diamati pertumbuhannya. Variabel yang diamati adalah panjang, lebar, dan jumlah daun, dan tinggi tanaman. Hasil dari penelitian ini akan di tampilkan melalui LCD Nokia 5110 dan aplikasi android secara *realtime*.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang kontrol pH akuaponik. Beberapa penelitian terdahulu yang linier dengan penelitian yang penulis lakukan dijadikan sebagai referensi penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Alan Jiwa Kuswinta menghasilkan penelitian berupa sistem pengendali pH dengan memperoleh nilai persen *error* sebesar 6,3 % dan diinformasikan ke *website* [3]. Kemudian penelitian berikutnya yang serupa dilakukan oleh Febrian Hadiatna dan rekan menghasilkan penelitian berupa alat pengendali pH dengan metode PID dan mencari masing-masing perbedaan kendali P, PI, dan PID diperoleh kendali P metode yang paling ideal dengan nilai *response time* sebesar 128 detik [4]. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Jecika Mailoa dan rekan menghasilkan penelitian berupa alat pengendali dan *monitoring* pH air secara otomatis dan ditampilkan pada aplikasi Telegram [5]. Berdasarkan penelitian sebelumnya penulis ingin mengembangkan penelitian tentang kontrol pH akuaponik. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan membuat aplikasi yang mampu memberikan *input set point* pH yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik pH masing-masing tanaman akuaponik. Sehingga sistem yang dikembangkan mampu mengendalikan dan memantau pH air akuaponik pada beberapa jenis tanaman yang berbeda.

### 2.2 Budidaya Akuaponik

Akuaponik merupakan sebuah kombinasi dari sistem akuakultur dan hidroponik. Akuakultur merupakan budidaya biota air meliputi hewan dan tumbuhan air yang terkontrol secara periodik oleh pemilik ekosistem kolam. Sedangkan hidroponik adalah sistem penanaman tanaman tanpa tanah,

hanya menggunakan air sebagai pembawa nutrisi untuk tanaman [2].

Ada beberapa jenis metode yang biasa digunakan pada akuaponik yaitu DFT (*Deep Flow Technique*), NFT (*Nutrient Film Technique*), pasang surut, dan rakit apung. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah akuaponik DFT. Akuaponik DFT merupakan metode akuaponik yang membuat debit arus mengalir kecil. Keunggulan akuaponik DFT adalah ketika keadaan pompa mati air tetap menggenang pada talang sehingga air akan tetap membahasi akar tanaman akuaponik [1].

### 2.3 pH Air

Nilai pH didefinisikan sebagai tolok ukur keseimbangan antara suatu zat dikatakan asam, basa, atau garam. Suatu zat dikatakan asam apabila jumlah muatan ion  $H^+$  lebih banyak. Sedangkan jika jumlah muatan ion  $OH^-$  lebih banyak maka zat tersebut dikatakan sebagai basa. pH dapat diukur dengan sebuah alat yaitu pH meter dengan skala 0-7 kategori asam, 7 kategori netral atau garam, dan 7-14 kategori basa [6].

Kadar pH air sangat berpengaruh pada ikan. Umumnya ikan memiliki kadar pH 6 – 8 [7]. Jika kadar pH kurang atau melebihi dari *range* yang pH nya maka ikan akan berlendir dan nafsu makan berkurang lama kelamaan akan mati [8]. Sedangkan kadar pH air yang tepat untuk tanaman akuaponik berada di sekitar 5,5 – 7 [7]. Itu berarti kadar pH air yang sesuai untuk ikan dan tanaman pada sistem akuaponik berkisar di angka 6 – 7.

### 2.4 Internet of Things

*Internet of things* dapat diartikan sebagai jaringan dari benda fisik-fisik (*things*) yang terintegrasi dengan sensor, *software*, dan teknologi-teknologi lain dengan tujuan untuk komunikasi dan pertukaran data dari satu alat atau server ke alat atau serve lain melalui internet. Industri IoT mengarah pada penerapan teknologi kecerdasan buatan ke dunia industri yang berkaitan dengan instrumentasi dan kontrol sensor yang dihubungkan dengan teknologi *cloud* maupun manajemen database [9]. Beberapa *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Android Studio untuk pembuatan aplikasi android, Arduino IDE untuk pembuatan *source code* sistem, Matlab untuk merancang *fuzzy logic*

controller, Eagle CAD untuk pembuatan desain PCB rangkaian hardware, dan platform IoT Firebase sebagai tempat penyimpanan *realtime database*.

## 2.5 Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy Logic* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Teori himpunan *fuzzy* digunakan sebagai sarana untuk menentukan seberapa baik atau buruk suatu obyek memenuhi deskripsi yang tidak jelas atau samar [10]. Sedangkan *fuzzy logic controller* merupakan sebuah sistem kendali yang menggunakan konsep *fuzzy logic*. Tahapan dalam penggunaan algoritma *fuzzy logic* adalah fuzzyfikasi, inferensi, dan defuzzyfikasi. Fuzzyfikasi didefinisikan sebagai pemetaan nilai numerik ke dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Inferensi merupakan aturan-aturan yang dibuat untuk pengambilan keputusan terhadap *fuzzy input*. Ada 2 jenis inferensi yaitu metode Mamdani dan Sugeno. Pada penelitian ini menggunakan jenis inferensi Mamdani atau *min-max*. Berikut adalah rumus metode *min-max* [11]:

$$\mu(y) = \min [\mu(in1), \mu(in2)] \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\mu(y)$  = hasil perbandingan min pada inferensi input 1 dan input 2

$\mu(in2)$  = nilai *fuzzy rules* pada *membership function* input 1

$\mu(in2)$  = nilai *fuzzy rules* pada *membership function* input 2

$$\mu(i) = \max[\mu(y1), \mu(y2)] \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\mu(i)$  = hasil perbandingan max pada nilai min masing-masing *rules*

$\mu(y1)$  = nilai min ke-1 pada implikasi masing-masing *rules*

$\mu(y2)$  = nilai min ke-2 pada implikasi masing-masing *rules*

Tahap terakhir yaitu defuzzyfikasi. Defuzzyfikasi merupakan kebalikan dari fuzzyfikasi yaitu mengubah nilai himpunan *fuzzy* menjadi nilai bersifat tegas atau *crisp* [10]. Perhitungan yang digunakan pada proses defuzzyfikasi adalah dengan menggunakan metode *Centroid Method* dengan persamaan (2.14) sebagai berikut [11].

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i \cdot z_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2.3)$$

Keterangan:

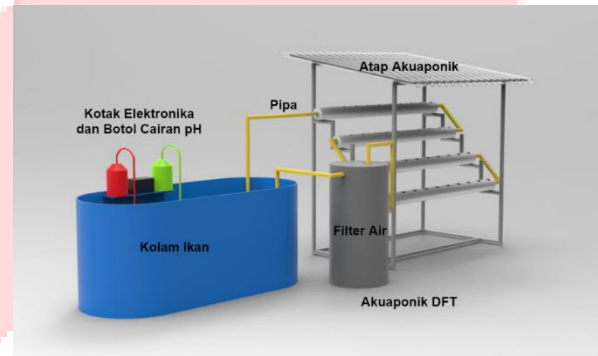
$y$  = nilai *crisp* dari hasil perhitungan *fuzzy logic*

$\mu$  = nilai max pada proses inferensi

$z$  = hasil output setiap *rule*

## 3. Perancangan Sistem

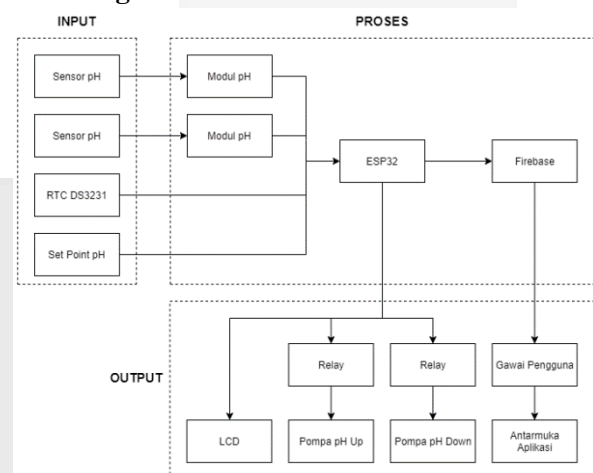
### 3.1 Desain Sistem



Gambar 1 Desain Sistem Akuaponik Secara Keseluruhan

Kolam ikan yang digunakan memiliki volume air 300 L. Diatas kolam terdapat kotak elektronika dan 2 botol cairan pH *up* dan *down*. Akuaponik memiliki Panjang 120 cm x 60 cm x 150 cm. Terdapat 4 baris akuaponik dengan tiap barisnya terdapat 10 lubang untuk tanaman. Pada penelitian ini baris 1 dan 2 digunakan untuk tanaman bayam dan pakcoy yang tidak dikontrol. Pada baris 3 dan 4 digunakan untuk tanaman bayam dan pakcoy yang dikontrol pH nya. Terdapat filter air untuk memfilter air yang mengalir dari akuaponik menuju kolam.

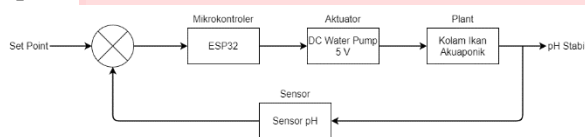
### 3.2 Diagram Blok



Gambar 2 Diagram Blok Keseluruhan Sistem

Pada gambar 2, nilai pH air akan dideteksi oleh sensor pH 4502C dan akan diolah oleh ESP32. Nilai yang terbaca oleh sensor akan dibandingkan dengan nilai *set point* dari setiap jenis pH tanaman. Apabila pH air tidak sesuai

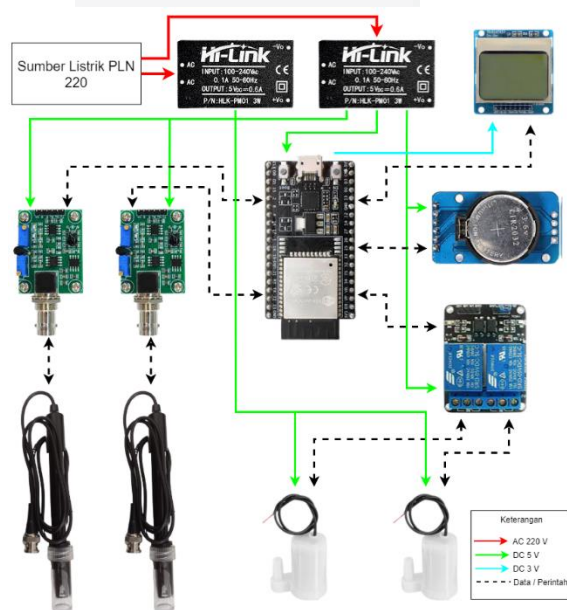
dengan *set point* maka ESP32 akan memberikan perintah ke relay yang terhubung ke pompa cairan pH up atau down untuk menaikkan atau menurunkan nilai pH air supaya sesuai dengan *set point*. ESP32 akan mengolah RTC (*Real Time Clock*) untuk memantau waktu secara *realtime* dan menampilkannya pada LCD Nokia 5110. Nilai yang diolah oleh ESP32 akan dikirimkan ke *realtime database* firebase untuk diteruskan ke aplikasi android.



Gambar 3 Diagram Blok Sistem Kendali

Diagram blok sistem kendali yang dirancang adalah dengan menggunakan nilai *set point* dari nilai *crisp* pH yang terbaca. ESP32 sebagai kontroler akan mengontrol kadar pH air agar sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Jika nilai yang *output* dari pengontrolan oleh ESP32 berbeda dengan *set point fuzzy*. Maka pompa DC 5 V *submersible* akan menyala mengalirkan cairan pH up atau down. Cairan akan mengalir menuju kolam dan akuaponik. *Feedback* pada diagram blok sistem kendali berada pada sensor pH yang akan memberikan nilai pembacaan sensor untuk diproses oleh ESP32 sebagai *feedback value*. Output yang dihasilkan pada sistem kendali ini adalah nilai pH yang stabil.

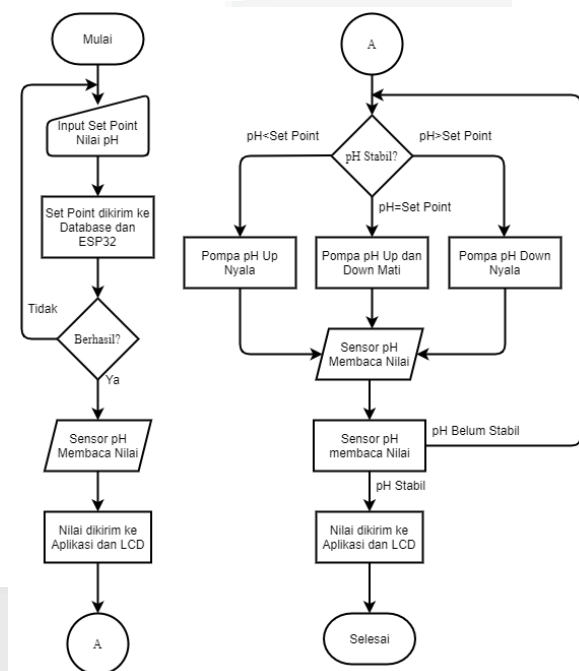
### 3.3 Skematik Rangkaian



Gambar 4 Skematik Rangkaian

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler ESP32, konverter HLK PM01, LCD Nokia 5110, Sensor pH 4502 C, RTC DS3231, Modul relay 2 *channel*, dan pompa DC 5 V *submersible*. Pada gambar 4 skematik rangkaian menggunakan sumber catu daya 220 V dari PLN. Sumber catu daya 220 V dihubungkan dengan konverter AC ke DC HiLink 220 V ke 5 V dengan besar arus 0,6 A. Sumber tegangan 5 V akan disuplai ke ESP32, modul sensor pH 4502C, Relay, Pompa DC 5 V *submersible*, RTC DS3231, dan LCD Nokia 5110. Sensor pH akan mengirimkan data ke ESP32 untuk diolah. RTC DS3231 digunakan untuk menyimpan waktu dan tanggal secara akurat dan diolah oleh ESP32 untuk ditampilkan ke LCD Nokia 5110. Pompa DC 5 V *submersible* yang terhubung ke relay untuk mengalirkan cairan pH up atau down berdasarkan hasil FLC dari ESP32.

### 3.4 Diagram Alir Sistem



Gambar 5 Diagram Alir Sistem

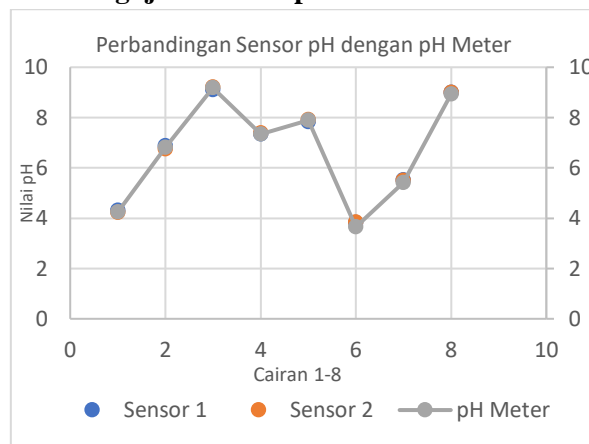
Pada gambar 5 diagram alir sistem dimulai dengan input *set point fuzzy* pada jenis tanaman yang akan dibudidaya pada akuaponik. *Set point* akan terkirim ke *database* dalam sistem ini menggunakan Firebase dan akan diteruskan ke ESP32. Jika berhasil diinput maka sensor pH akan mulai mendeteksi kadar pH air kolam. Setelah kadar pH air sudah terbaca, nilai tersebut akan dikirimkan ke aplikasi android dan ditampilkan pada LCD.



Selanjutnya jika nilai pH yang terbaca kurang dari nilai *set point* yang diinginkan maka, mikrokontroler ESP32 akan memberikan sinyal pada relay untuk menyalakan pompa yang ada pada cairan pH *up*. Sebaliknya, jika nilai pH yang terbaca lebih dari nilai *set point* maka pompa yang ada pada cairan pH *down* akan menyala. Namun jika nilai nya masih sesuai dengan *set point*, maka kedua pompa tidak menyala. Setelah terjadi penambahan cairan pH *up* maupun *down*, sensor pH akan kembali membaca nilai pH yang sekarang. Nilai pH yang terbaca akan dikirimkan lagi ke aplikasi android dan ditampilkan pada LCD.

#### 4. Analisis dan Pembahasan

##### 4.1 Pengujian Sensor pH



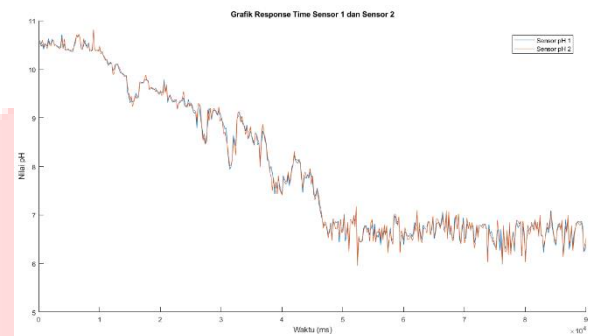
Gambar 6 Pengujian Sensor pH

Pada gambar 8 diperoleh nilai akurasi pada sensor pH 1 sebesar  $\pm 0,9861$  dan persen *error* sebesar 1,39 %. Sedangkan pada sensor pH 2 diperoleh nilai akurasi sebesar  $\pm 0,988$  dan persen *error* sebesar 1,2 %. Berdasarkan data perbandingan sensor pH dengan pH meter maka sensor pH dapat digunakan sebagai alat untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan suatu cairan.

##### 4.2 Pengujian Alat Kontrol pH

Pengujian sistem kontrol alat dilakukan untuk mengetahui nilai *response time* dari sistem kendali yang sudah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan cara membuat suatu cairan dalam wadah dengan nilai pH 10,6 kemudian diberikan perlakuan kontrol dengan nilai *set point* nilai pH 6 – 7 sesuai dengan *set point* pada pengontrolan akuaponik. Setelah itu alat kontrol pH akuaponik dinyalakan dan dihitung waktunya

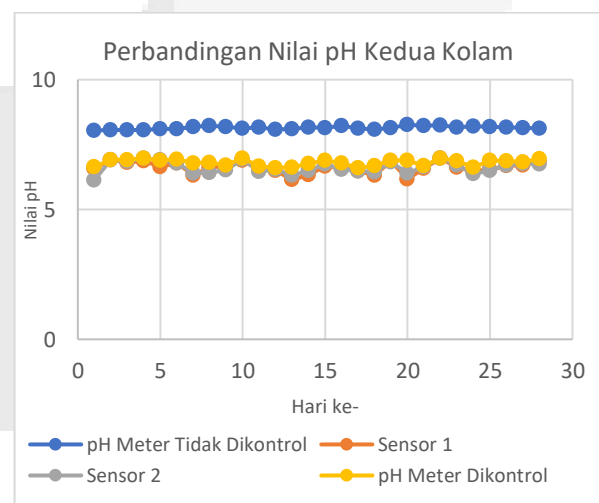
sampai nilai pH dalam wadah stabil sesuai *set point* yang diberikan. Diperoleh bahwa sistem mencapai kestabilan setelah 43 detik. Berikut hasil simulasi uji sensor pH pada gambar 9.



Gambar 7 Grafik Uji Nilai Response Time Fuzzy Logic Controller Alat Kontrol pH

##### 4.3 Pengujian Kontrol pH pada Akuaponik

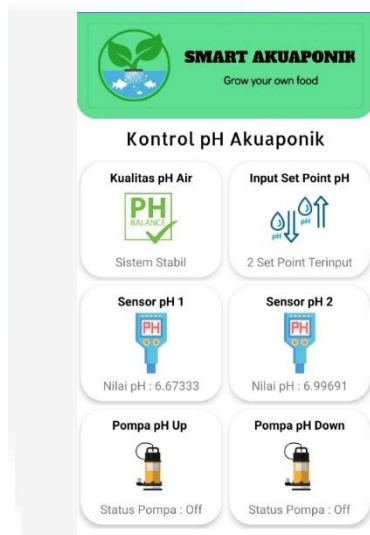
Pengujian kontrol dan *monitoring* dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat yang sudah dibuat dalam mengontrol dan memantau kadar pH air akuaponik. Pengujian ini dilakukan selama 28 hari. Pada pengujian ini diamati 1 kali tiap harinya yaitu pada pagi hari. Pengamatan kontrol pH ini dilakukan dengan melihat nilai pH pada kedua sensor pH dan dengan pH meter digital. Pengamatan dilakukan di 2 kolam yang berbeda. Kolam yang dengan menggunakan alat kontrol pH dan yang tidak menggunakan alat kontrol pH. Pengamatan kolam yang tidak menggunakan alat kontrol pH hanya dilakukan dengan pH meter digital untuk mengetahui nilai pH air kolam tersebut. Berikut adalah grafik hasil pengujian kontrol pH pada kolam selama 28 hari.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Nilai pH Kedua Kolam

Berdasarkan grafik pada gambar 8 diperoleh bahwa sistem yang sudah dirancang mampu mengontrol kadar pH air setiap hari selama 28 hari. Nilai pH yang dikontrol sesuai dengan nilai *set point* yang sudah dimasukkan dari aplikasi android yaitu pH 6 – pH 7. Sedangkan pada kolam yang tidak dikontrol memiliki kisaran rata-rata pH sebesar 8,15.

Selanjutnya pada pengujian *monitoring* nilai pH dilakukan hanya pada kolam yang terdapat alat kontrol pH nya. Pengujian *monitoring* ini bertujuan untuk menguji proses pengiriman data dari ESP32 ke *database* Firebase dan dilanjutkan menuju aplikasi android. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali dalam 1 hari yaitu pada pagi hari, siang hari, dan sore hari. Pengambilan data pada pengujian ini adalah dengan melihat aplikasi android. Berikut adalah grafik tampilan aplikasi android untuk monitoring nilai pH kolam akuaponik.



Gambar 9 Tampilan Aplikasi Android

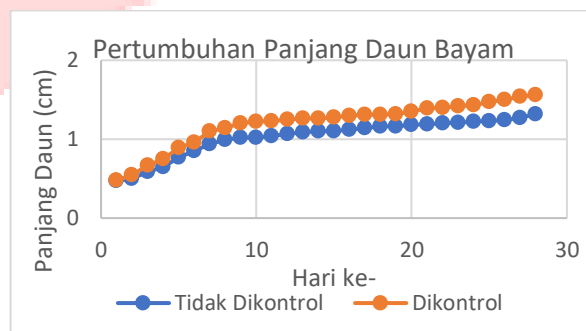
#### 4.4 Pengujian Pertumbuhan Tanaman Akuaponik

Pengambilan data tanaman dilakukan dengan mengamati pertumbuhan tanaman bayam dan pakcoy. Perlakuan tanaman dilakukan dengan alat kontrol pH dan tidak menggunakan alat kontrol pH. Data yang diambil meliputi empat bagian tanaman yaitu panjang, lebar, jumlah daun, dan tinggi tanaman. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat ukur yaitu penggaris. Data yang diambil dilakukan selama 28 hari. Berikut adalah tabel rata-rata pertumbuhan dan grafik tanaman akuaponiknya.

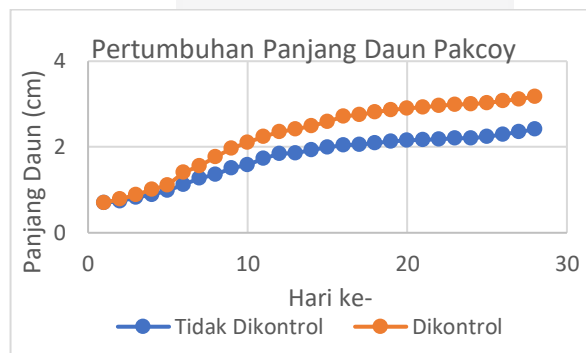
TABEL 1. PERTUMBUHAN TANAMAN AKUAPONIK

Parameter	Bayam		Pakcoy	
	D	TD	D	TD
Panjang (cm/hari)	0,031	0,04	0,063	0,092
Lebar (cm/hari)	0,018	0,029	0,024	0,039
Jumlah (cm/hari)	0,12	0,16	0,159	0,241
Tinggi	0,055	0,084	0,075	0,156

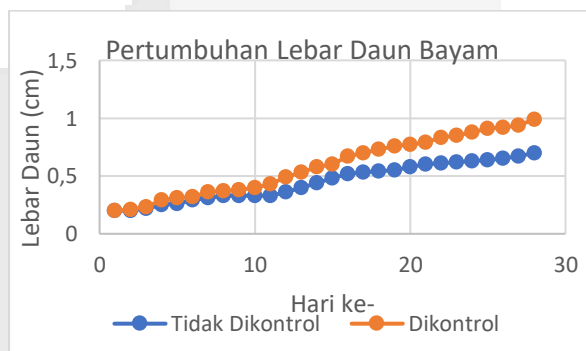
Keterangan : D (Dikontrol) dan TD (Tidak Dikontrol).



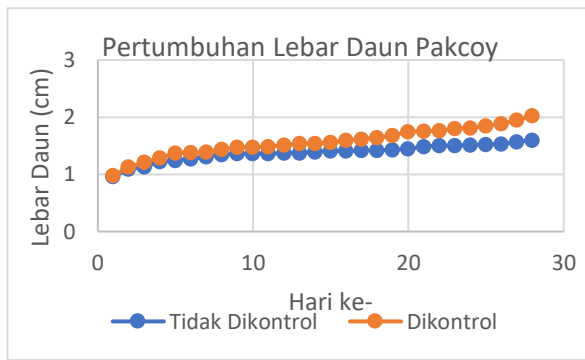
Gambar 10 Grafik Pertumbuhan Panjang Daun Bayam



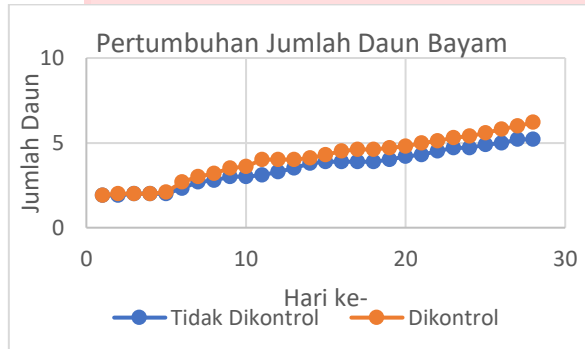
Gambar 11 Grafik Pertumbuhan Panjang Daun Pakcoy



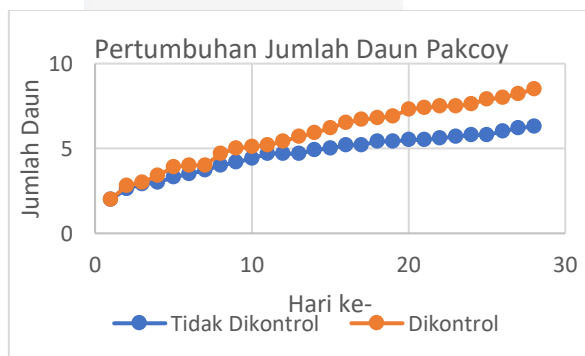
Gambar 12 Grafik Pertumbuhan Lebar Daun Bayam



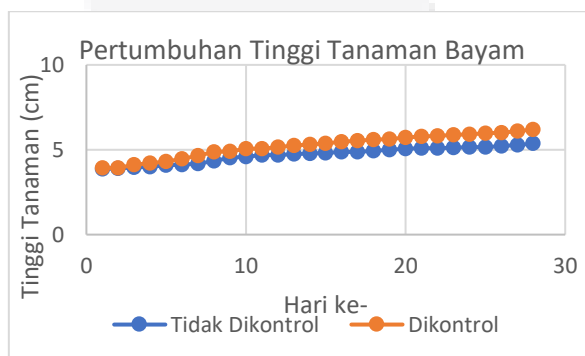
Gambar 13 Grafik Pertumbuhan Lebar Daun Pakcoy



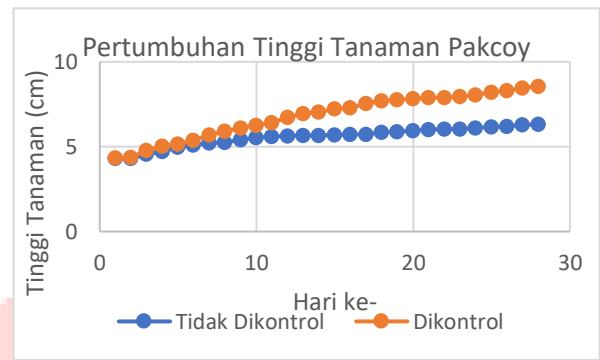
Gambar 14 Grafik Pertumbuhan Jumlah Daun Bayam



Gambar 15 Grafik Pertumbuhan Jumlah Daun Pakcoy



Gambar 16 Grafik Pertumbuhan Tinggi Tanaman Bayam



Gambar 17 Grafik Pertumbuhan Tinggi Tanaman Pakcoy

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada sistem kontrol pH air akuaponik untuk beberapa jenis tanaman, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali pH akuaponik dapat mengendalikan nilai pH air dengan baik. Yaitu dengan akurasi pembacaan sensor pH 1 sebesar  $\pm 0,986$  dan nilai akurasi sensor pH 2 sebesar  $\pm 0,988$ . Pada penelitian ini sudah berhasil mendesain metode kendali *fuzzy logic controller* untuk mengontrol pH air akuaponik dengan nilai *response time* yang didapat sebesar 43 detik. Sistem yang dirancang mampu mengontrol kadar pH akuaponik dengan 2 jenis tanaman sekaligus. Tanaman akuaponik yang dikontrol pH nya tumbuh lebih baik dibanding dengan tanaman yang tidak dikontrol pH nya.
2. Pemantauan sistem melalui jarak jauh dapat membaca nilai pH air pada akuaponik secara *realtime* melalui aplikasi android menggunakan internet. Diperoleh bahwa nilai pH air pada pagi, siang, dan sore hari terbaca stabil melalui aplikasi android.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk melanjutkan serta melakukan pengembangan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Penelitian sebaiknya menggunakan sensor pH yang memiliki kualitas lebih baik dari sensor pH yang digunakan selama penelitian ini.
2. Perlunya monitoring keadaan volume cairan pH *up* dan *down* supaya tahu ketika cairan sudah hampir habis.

3. Peningkatan kualitas koneksi internet dengan jaringan provider yang lebih baik atau menggunakan *Wifi*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Saputra, A. Qurthobi, and I. W. Fathona, "MONITORING DAN KONTROL PADA TANAMAN AKUAPONIK STROBERI DENGAN METODE LOGIKA FUZZY TERHADAP INTENSITAS CAHAYA MENGGUNAKAN GROW LIGHT," Bandung, 2021.
- [2] Adrian Southern and Whelm King, *The aquaponic farmer a complete guide to building and operating a commercial aquaponic system*. Canada: New Society Publishers, 2017.
- [3] A. Jiwa Kuswinta, I. W. Gede Putu Wirama Wedashwara, and I. Wayan Agus Arimbawa, "Implementasi IoT Cerdas Berbasis Inference Fuzzy Tsukamoto Pada Pemantauan Kadar pH Dan Ketinggian Air Dalam Akuaponik," Mataram, 2019. [Online]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
- [4] F. HADIATNA, A. DZULFAHMI, and D. NATALIANA, "Analisis Penerapan Kendali Otomatis berbasis PID terhadap pH Larutan," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 8, no. 1, p. 163, Jan. 2020, doi: 10.26760/elkomika.v8i1.163.
- [5] Jecika Mailoa, Eri Prasetyo Wibowo, and Risdiandri Iskandar, "Sistem Kontrol dan Monitoring Kadar PH Air pada Sistem Akuaponik Berbasis NodeMCU ESP8266 Menggunakan Telegram," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 19, no. 4, Dec. 2020, doi: 10.32409/jikstik.19.4.336.
- [6] Irvan Permana, *K I M I A SMA/MA Untuk Kelas XI Semester 1 dan 2 Program Ilmu Pengetahuan Alam*. Jakarta: Armico Bandung, 2009.
- [7] I. Zidni, Iskandar, A. Rizal, and Y. Andriani, "EFEKTIVITAS SISTEM AKUAPONIK DENGAN JENIS TANAMAN YANG BERBEDA TERHADAP KUALITAS AIR MEDIA BUDIDAYA IKAN," Sumedang, 2019.
- [8] al Qalit, Fardian, and Aulia Rahman, "Rancang Bangun Prototipe Pemantauan Kadar pH dan Kontrol Suhu Serta Pemberian Pakan Otomatis pada Budidaya Ikan Lele Sangkuriang Berbasis IoT," *KITEKRO*.
- [9] Oracle, "What is IOT?," *Oracle*. <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/> (accessed Oct. 13, 2021).
- [10] F. Wahab, A. Sumardiono, A. Rafi, A. Tahtawi, A. Faisal, and A. Mulayari, "Desain dan Purwarupa Fuzzy Logic Control untuk Pengendalian Suhu Ruangan," *Direvisi: 23 Mei*, vol. 2, no. 1, p. 22, 2017.
- [11] A. Rusdinar *et al.*, "Automated Ultraviolet C Light Mobile Robot for Room Sterilization and Disinfection," *International Journal of Technology*, vol. 12, no. 4, p. 854, Oct. 2021, doi: 10.14716/ijtech.v12i4.4817.