

## MONITORING DAN KONTROL NUTRISI HIDROPOIK BERBASIS IOT DENGAN METODE IT2FL

Mortekiano Nigel<sup>1</sup>, Basuki Rahmat<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Informatika, UPN "Veteran" Jawa Timur

Jln. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

<sup>1</sup>[mortekianond@gmail.com](mailto:mortekianond@gmail.com), <sup>2</sup>[basukirahmat.if@upnjatim.ac.id](mailto:basukirahmat.if@upnjatim.ac.id)

### Abstract

Food self-sufficiency is a smart move to tackle global issues threatening food security directly or indirectly. One way to achieve food self-sufficiency is by growing your own crops using hydroponics. Hydroponics offers several advantages such as not needing a large land area, easy cultivation methods, and other benefits. However, it's crucial to control the nutrient solution in hydroponics to ensure optimal plant nutrition. Insufficient nutrient supply can damage plants, while excessive nutrients can lead to toxicity. Effective and efficient control can be achieved through Internet of Things (IoT) technology. Hence, the author conducted research on an IoT-based monitoring and control system for hydroponic nutrient solutions using Interval Type-2 Fuzzy Logic (IT2FL) method for pH and TDS (Total Dissolved Solids) control. The RAD (Rapid Application Development) model was chosen for system development. The results showed that the system could monitor pH with 98.68% accuracy and TDS with 97.50% accuracy, and effectively perform automatic control using the Interval Type-2 Fuzzy Logic method.

**Keywords :** Monitoring, Control, Hydroponics, IoT, IT2FL

### Abstrak

Swasembada pangan merupakan salah satu langkah yang tepat untuk mengatasi permasalahan global yang secara langsung maupun tidak langsung mengancam ketahanan pangan. Salah satu upaya untuk melakukan swasembada pangan dapat dilakukan dengan bercocok tanam secara mandiri secara hidroponik. Hidroponik memiliki beberapa kelebihan dalam bercocok tanam seperti tidak perlu lahan yang luas, cara bercocok tanam yang praktis, serta keunggulan lainnya. Namun, larutan nutrisi dalam hidroponik perlu dilakukan pengontrolan untuk memastikan nutrisi tanaman tetap optimal karena tanaman akan menjadi rusak apabila kurangnya suplai unsur hara melalui larutan nutrisi yang diberikan dan dapat menjadi toksikasi nutrisi apabila suplai nutrisi yang berlebih dari larutan nutrisi yang diberikan. Pengontrolan tersebut dapat dilakukan secara efektif dan efisien dengan memanfaatkan *Internet of Things* (IoT). Oleh karenanya, penulis melakukan penelitian mengenai sistem monitoring serta kontrol larutan nutrisi hidroponik berbasis IoT dengan menerapkan metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* (IT2FL) untuk pengontrolan pH dan TDS larutan secara otomatis. Implementasi model pembangunan sistem RAD (*Rapid Application Development*) dipilih sebagai metodologi untuk mengembangkan sistem secara keseluruhan. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan monitoring dengan akurasi 98,68% untuk pH dan 97,50% untuk TDS serta mampu melakukan sistem kontrol otomatis melalui implementasi metode *interval type-2 fuzzy logic* yang digunakan dalam penelitian.

**Kata kunci :** Monitoring, Kontrol, Hidroponik, IoT, IT2FL

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan pangan merupakan salah satu aspek kebutuhan dasar manusia dalam upaya untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Banyaknya permasalahan global yang terjadi yang secara langsung maupun tidak langsung dapat

mengancam ketahanan pangan. Dengan menerapkan swasembada pangan, ketahanan dalam penyediaan pangan dalam suatu daerah dapat diatasi dengan baik. Salah satu upaya penyediaan pangan secara mandiri dapat dilakukan dengan bercocok tanam secara sederhana dengan memanfaatkan sarana yang

ada[1]. Namun, dalam praktiknya, bercocok tanam mempunyai beberapa kendala saat diimplementasikan secara nyata, salah satunya adalah keterbatasan lahan. Dalam lima tahun terakhir setidaknya sekitar satu juta hektar lahan tanah subur di Indonesia telah disulap menjadi kawasan perkotaan[2]. Hal tersebut menjadi masalah dikarenakan tanah merupakan media tanam yang paling umum digunakan dalam bercocok tanam sejak awal manusia mengenal pertanian[3]. Dalam hal ini, hidroponik hadir sebagai solusi dalam bercocok tanam yang praktis dan efisien. Hal ini dikarenakan metode hidroponik memiliki beberapa keunggulan dalam bercocok tanam, seperti efisiensi dalam penggunaan lahan, produksi tanaman yang lebih berkualitas, serta penggunaan pupuk dan air yang lebih efisien[4].

Hidroponik merupakan metode bercocok tanam yang tidak menggunakan tanah sebagai media tanamnya, melainkan menggunakan larutan nutrisi yang dikomposisikan dari unsur hara yang sesuai dengan tanamannya[5]. Larutan nutrisi tersebut mempunyai banyak kandungan nutrisi serta kondisi nutrisi yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Larutan nutrisi yang dialirkan harus berada dalam kondisi yang optimal yang disesuaikan dengan kondisi optimal yang dibutuhkan tanaman. Penyesuaian kondisi ini perlu dilakukan karena tanaman akan menjadi rusak apabila suplai unsur hara melalui larutan nutrisi yang diberikan kurang dan dapat menjadi toksinisasi nutrisi apabila suplai nutrisi yang dari larutan nutrisi yang diberikan berlebih. Larutan nutrisi tersebut kemudian harus dikontrol dengan tepat agar tanaman yang dibudidaya dapat tumbuh dengan sehat dan menghasilkan produksi yang tinggi. Larutan nutrisi tersebut kemudian harus dikontrol dengan tepat agar tanaman yang dibudidaya dapat tumbuh dengan sehat dan menghasilkan produksi yang tinggi[6].

Perkembangan dunia teknologi yang kian pesat turut juga mengembangkan banyak bidang di dalam kehidupan. Kolaborasi pertanian dengan teknologi dapat dilakukan agar terlahir banyak inovasi – inovasi baru di bidang pertanian. Kemajuan dalam teknologi informasi mendorong peningkatan kinerja dan efisiensi dalam penyelesaian pekerjaan, sehingga mendorong peningkatan produktivitas dan mamacu gaya hidup baru[7]. Menurut Badan Riset dan Inovasi Nasional (2023), inovasi yang dilakukan juga harus mengarah kepada smart farming yang melibatkan banyak disiplin ilmu yang salah satunya adalah dengan melakukan penerapan *Internet of Things* (IoT). Di era revolusi industri 4.0 ini, sistem yang ada secara global sudah

terintegrasi dengan yang namanya internet yang juga menumbuhkan penggunaan alat elektronik di kehidupan sehari-hari[8][9]. Kemunculan *Internet of Things* menandai transformasi teknologi yang terus berkembang dari hari ke hari. *Internet of Things* (IoT) sendiri merupakan teknologi yang memungkinkan semua benda fisik ataupun virtual yang dapat dimonitor dan dikontrol dari jarak jauh menggunakan internet[10]. Penerapan sistem kontrol ini dapat dilakukan salah satunya dengan menerapkan metode logika fuzzy.

Agustian dalam penelitiannya mengemukakan bagaimana pengontrolan pH dan TDS dapat dilakukan dengan metode Fuzzy Mamdani yang dilengkapi dengan sistem pemantauan dengan *Internet of Things* sehingga menghasilkan output pengontrolan yang diinginkan[11]. Pada penelitian yang dilakukan Hidayat, sebuah sistem dibuat dengan memanfaatkan bot telegram sebagai user interface dalam sistem pemantauan dan pengontrolan pH air secara otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler Wemos (ESP8266)[12]. Penelitian yang lainnya lagi mengemukakan bahwa pada hasil pengujian performa pengendalian posisi motor DC, *Interval Type 2 Fuzzy Logic* menghasilkan performa lebih baik dibandingkan pengendali logika Fuzzy Type 1 dalam mengatasi derau pengukuran karena variabel linguistiknya dilengkapi dengan *Footprint of Uncertainty* (FoU) sebagai fungsi keanggotaan yang menyebabkan kendali logika Fuzzy Type 2 memiliki karakteristik kekokohan terhadap ketidakpastian parameter sistem[13].

Dari beberapa penelitian yang ada serta analisis yang dilakukan, penulis mencoba untuk melakukan penelitian dalam pembuatan sebuah *prototype* sistem kontrol larutan nutrisi dalam dunia hidroponik dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* sebagai inovasi baru untuk memajukan dunia pertanian yang lebih modern serta relevan dengan kemajuan zaman. Sistem kontrol larutan nutrisi tanaman hidroponik berbasis IoT ini mengimplementasikan metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* sebagai metode monitoring serta pengontrolan larutan nutrisi secara otomatis sehingga pengontrolan larutan nutrisi dapat dilakukan dengan efektif dan efisiensi. Sistem yang dibangun memanfaatkan ESP32 sebagai mikrokontroler berdaya rendah yang sudah dapat terkoneksi Wi-Fi dan Bluetooth di dalamnya yang sangat berguna pada sistem berbasis IoT yang lebih fleksibel. Adapun fokus dari pembuatan sistem ini adalah untuk membantu memonitor dan mengontrol larutan nutrisi pada dua variabel

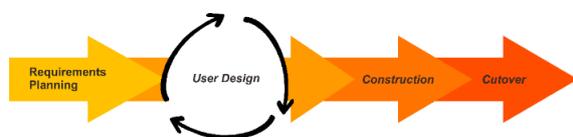
yakni pH larutan dan TDS nutrisi pada larutan nutrisi tanaman selada dalam metode bercocok tanam secara hidroponik. Adapun pH optimal yang perlu disesuaikan sesuai dengan tanaman selada berada pada pH 6-7 serta pada TDS 560-840 PPM.

Dalam pembangunan sistem tersebut, diperlukan sebuah metodologi atau alur pengerjaan yang relevan. Metodologi yang ditetapkan oleh penulis pada penelitian ini adalah RAD (*Rapid Application Development*). RAD merupakan model proses pengembangan software yang bersifat incremental untuk waktu pengerjaan yang pendek[14]. RAD memiliki tahap pengembangan yang diawali dengan perencanaan kebutuhan (*requirements planning*), tahap desain user (*user design*), tahap konstruksi (*construction*), dan tahap pemindahan (*cutover*)[15].

Pada akhirnya, dari serangkaian permasalahan yang ingin diselesaikan dengan pendekatan teknologi agar lebih relevan dengan tuntutan kemajuan zaman, didukung dengan metode yang sesuai melalui metodologi penelitian yang tepat sesuai dengan realitas yang dikaji melahirkan hasil akhir dari penelitian berupa sistem kontrol larutan nutrisi tanaman hidroponik berbasis IoT dengan metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, metodologi yang digunakan adalah *Rapid Application Development* (RAD). RAD mempunyai 4 tahapan besar dalam prosesnya, yakni *requirements planning*, *user design*, *construction*, dan *cutover*. Adapun tahapan RAD dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian RAD

### 2.1. Requirements Planning

*Requirements Planning* (perencanaan kebutuhan) merupakan tahapan pertama dalam penelitian untuk mempersiapkan perancangan sistem agar penelitian yang dilakukan lebih terarah dan sistematis. Dalam tahap perancangan kebutuhan ini, ada hal – hal yang dapat dilakukan yakni: analisis masalah, analisis solusi, analisis kebutuhan serta analisis sistem.

### 2.1.1. Analisis Masalah

Hal yang menjadi permasalahan utama disini ialah bagaimana sebuah teknologi dapat diterapkan dalam dunia hidroponik, utamanya dalam membantu untuk dapat melakukan monitoring serta pengontrolan kondisi pH serta TDS pada larutan nutrisi hidroponik agar dapat dilakukan dengan lebih mudah serta efisien.

### 2.1.2. Analisis Solusi

Solusi yang ditawarkan pada permasalahan tersebut yakni dengan melakukan pembuatan *prototype* sistem kontrol dan monitoring pH serta konsentrasi nutrisi larutan nutrisi hidroponik berbasis IoT, serta pembaharuan – pembaharuan yang ditambahkan oleh penulis, seperti: pemilihan metode fuzzy type-2 sebagai metode fuzzy yang lebih adaptif, mikrokontroler ESP32 sebagai mikrokontroler sederhana yang lebih terbaru, serta hiveMQ sebagai broker pada platform IoT.

### 2.1.3. Analisis Kebutuhan

Pada penelitian ini, kebutuhan yang ditawarkan setelah penulis menganalisis dari permasalahan dan solusi yang ada dapat dibagi ke dalam 2 hal, yakni kebutuhan *hardware* dan kebutuhan *software*. Berikut merupakan tabel terkait kebutuhan yang dibutuhkan pada penelitian ini baik dari sisi *hardware* maupun *software*.

TABEL I. ANALISIS KEBUTUHAN HARDWARE

No	Komponen Elektronika	Kegunaan
1	ESP 32	Mikrokontroler, sebagai pengendali utama seluruh instrumen elektronika
2	ESP 32 Devkit Board	Board untuk menangani keterbatasan pin pada ESP 32
3	pH sensor kit	Sensor untuk membaca data terkait nilai pH (asam atau basa) larutan nutrisi dengan derajat nilai 0-14
4	TDS sensor kit	Sensor untuk mengukur jumlah total padatan

		terlarut dalam larutan nutrisi dengan range nilai 0-1000 PPM
5	Relay 4 Channel	Saklar magnet yang berfungsi dalam pengontrolan sirkuit elektrik yang mempunyai 4 jalur logika pengaturan aktuator
6	Solenoid Valve	Perangkat pengontrol pembuka dan penutup katup yang digunakan dalam pelogikaan aktuator
7	Kabel Jumper dan Adaptor	Penyalur aliran listrik dalam sistem perakitan perangkat elektronik
8	Stepdown Converter	Perangkat elektronik untuk menurunkan tegangan
9	LCD I2C	Layar penampil sistem dengan protokol komunikasi I2C
10	Box Project	Tempat penyusunan perakitan hardware sistem

TABEL II. ANALISIS KEBUTUHAN SOFTWARE

No	Aplikasi	Keterangan
1	Arduino IDE	Aplikasi pemrograman IoT untuk melakukan pengembangan perangkat keras platform Arduino
2	HiveMQ	Platform IoT dengan protokol MQTT untuk publish dan subscribe topic

### 2.1.4. Analisis Sistem

Dalam proses ini penulis berupaya mengumpulkan informasi baik data maupun

referensi dari berbagai sumber yang berkaitan dengan sistem yang dikembangkan. Hal ini mencakup penilaian efektivitas sistem, efisiensi sistem dalam menggantikan proses manual, dan aspek lainnya serta bagaimana memanfaatkan internet untuk mendukung sistem yang hendak dibangun. Berdasarkan tinjauan tersebut, sistem yang akan dikembangkan harus mampu memantau pH dan TDS larutan nutrisi hidroponik serta melakukan sistem kontrol secara otomatis. *Internet of Things* hadir sebagai cara dalam pemanfaatan internet guna mengintegrasikan segala hal yang diperlukan pada pembuatan sistem yang dibangun sehingga dapat sungguh-sungguh melahirkan sistem yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

### 2.2. User Design

User Design pada skema pengembangan sistem RAD merupakan tahapan dalam membuat sebuah desain produk yang akan digunakan. Pada tahap ini, penulis melakukan perancangan terkait *software*, *hardware*, serta skema perancangan logika fuzzy type-2 sebagai modal dalam pembuatan sistem secara keseluruhan yang dibuat.

#### 2.2.1. Skenario Sistem

Pada tahapan ini, ditunjukkan bagaimana skenario otomatisasi sistem yang hendak dibuat berjalan. Tabel di bawah ini menunjukkan perancangan otomatisasi sistem tersebut.

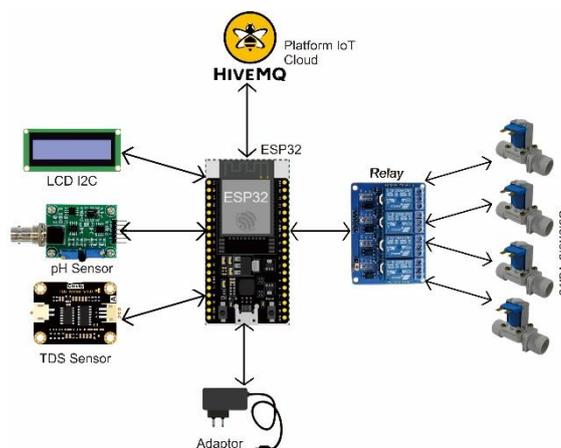
TABEL III. SKENARIO SISTEM

No	Proses	Respon
1	Konfigurasi Wi-fi	Tersambung ke Wi-fi
2	Konfigurasi Platform IoT hivemq	Tersambung ke platform IoT hivemq
3	Monitoring nilai	Menampilkan nilai pH dan TDS dari data subscribe hiveMQ
4	Fuzzifikasi IT2FL	Pemrosesan nilai dari variabel input dan fungsi keanggotaan fuzzy
5	Inferensi IT2FL	Penampungan data hasil fuzzifikasi serta penetapan rule base (aturan dasar)

6	Reduksi Tipe IT2FL	Pemrosesan data dari hasil inferensi dengan perhitungan interval kiri dan kanan
7	Defuzzifikasi IT2FL	Proses defuzzifikasi dengan merata-rata perhitungan reduksi tipe, yang menghasilkan output Fuzzy Type-2 sebagai pengambilan keputusan pada 4 <i>channel relay</i> dan aktuator <i>solenoid valve</i> yang dipakai (PH UP, PH DOWN, TDS UP, TDS DOWN)
8	Kontrol Otomatis	Sistem akan secara otomatis membuka atau menutup <i>solenoid valve</i> sebagai aktuator berdasarkan hasil keputusan sistem <i>fuzzy type-2</i> yang dijalankan

### 2.2.2. Skema Rangkaian

Sistem yang dibangun utamanya dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ini ditujukan sebagai pengendali perangkat elektronika lainnya yang terintegrasi dalam pembangunan sistem secara keseluruhan. Sistem ini dilengkapi 2 buah sensor, yakni sensor pH dan sensor TDS untuk membaca data terkait derajat keasaman serta TDS nutrisi yang akan menjadi inputan data untuk kemudian diproses.



Gambar 2. Skema Rangkaian

Pada sistem juga terpasang instrumen – instrumen elektronika pendukung seperti LCD I2C sebagai penampil monitoring, serta instrumen elektronika lainnya. Selain itu, sistem yang dibangun juga diwadahi oleh adaptor sebagai penyedia arus listrik untuk perangkat elektronika yang digunakan. Platform IoT Hive MQ disertakan dan diintegrasikan ke mikrokontroler menggunakan Wi-Fi untuk menunjang pembacaan data IoT yang lebih fleksibel menggunakan protokol MQTT.

Data yang telah diproses masuk selanjutnya diolah dan kemudian menjadi logika dalam pengambilan keputusan untuk melakukan kontrol pada aktuator. Proses kontrol yang teraplikasi pada penelitian ini yakni bagaimana sistem dapat menaikkan pH, menurunkan pH, serta memberikan pompa nutrisi. Pompa pH dan nutrisi dapat menyala (terbuka) dan mati (tertutup) disebabkan relay yang dipicu oleh logika fuzzy pada tahap inferensi sehingga dapat membuka atau menutup katup pada solenoid valve. Pada akhirnya, sistem secara keseluruhan dapat dimanfaatkan untuk melakukan pengontrolan larutan nutrisi dengan lebih efisien.

### 2.2.3. Perancangan Logika Fuzzy

Pada penelitian ini, penulis menerapkan penggunaan metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* untuk menangani sistem kontrol otomatis pH dan TDS larutan nutrisi. Sistem yang dibangun selanjutnya berperan menjadi ON-OFF Controller untuk *relay* pada *pH buffer pump* serta *TDS buffer pump* yang keputusannya diatur oleh metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* berdasarkan inputan data pH dan TDS yang diambil dari pH sensor dan TDS sensor. Pengontrolan tersebut diharapkan mampu mengkondisikan larutan nutrisi pada kondisi yang optimal dalam sirkulasi perairan

hidroponik. Perancangan terkait metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* ini dilakukan berdasarkan proses cara kerja fuzzy type-2, yakni proses fuzzifikasi, inferensi, reduksi tipe, dan defuzzifikasi.

### 2.2.3.1. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan awalan dalam persiapan penetapan setiap input variabel Fuzzy sebelum memasuki proses perhitungan. Pada tahap ini, dipetakan variabel - variabel dari penelitian yang akan dilakukan. Model FIS yang digunakan pada penelitian ini yakni MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yakni mempunyai dua input variabel (pH dan TDS) serta mempunyai empat output (relay pH-up, relay pH-down, relay TDS-up, dan relay TDS-down). Inputan tersebut (crisp) pada tahap ini diubah menjadi himpunan fuzzy linguistik yang mempunyai nilai fungsi keanggotaannya masing-masing.

Pada tahap ini juga dipetakan himpunan fuzzy berdasarkan penalaran logis terhadap variabel yang dipakai. Setiap variabel yang ditujukan sebagai variabel masukan dalam fuzzifikasi ini harus dilakukan pendefinisian terkait himpunan fuzzy atau himpunan keanggotaannya. Berikut merupakan variabel yang dipakai pada penelitian ini serta fungsi keanggotaannya masing - masing.

a. Variabel Input pH (0 – 14)

- pH Rendah (0 – 4, kurva linier turun)

$$\mu \text{ pH Low }_{upper}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ (4-x)/(4-0); 0 < x < 4 \\ 0; x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu \text{ pH Low }_{lower}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ (3,7-x)/(3,7-0); 0 < x < 3,7 \\ 0; x \geq 3,7 \end{cases}$$

- pH Optimal (4 – 8, kurva segitiga)

$$\mu \text{ Optimal pH }_{upper}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 4 \text{ or } x \geq 8 \\ (x-4)/(6-4); 4 < x < 6 \\ (6-x)/(8-6); 6 < x < 8 \end{cases}$$

$$\mu \text{ Optimal pH }_{lower}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 4,3 \text{ or } x \geq 7,7 \\ (x-4,3)/(6-4,3); 4,3 < x < 6 \\ (6-x)/(7,7-6); 6 < x < 7,7 \end{cases}$$

- pH Tinggi (8 – 14, kurva linier naik)

$$\mu \text{ pH High }_{upper}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 8 \\ (x-8)/(14-8); 8 < x < 14 \\ 1; x \geq 14 \end{cases}$$

$$\mu \text{ pH High }_{lower}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 8,3 \\ (x-8,3)/(14-8,3); 8,3 < x < 14 \\ 1; x \geq 14 \end{cases}$$

b. Variabel Input TDS (0 – 1000) PP

- TDS Rendah (0 – 500, kurva linier turun)

$$\mu \text{ TDS Low }_{upper}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ (500-x)/(500-0); 0 < x < 500 \\ 0; x \geq 500 \end{cases}$$

$$\mu \text{ TDS Low }_{lower}(x) = \begin{cases} 1; x \leq 0 \\ (470-x)/(470-0); 0 < x < 470 \\ 0; x \geq 470 \end{cases}$$

- TDS Rendah (500 – 840, kurva segitiga)

$$\mu \text{ TDS Optimal }_{upper}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 500 \text{ or } x \geq 840 \\ (x-500)/(670-500); 500 < x < 670 \\ (670-x)/(840-670); 670 < x < 840 \end{cases}$$

$$\mu \text{ TDS Optimal }_{lower}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 515 \text{ or } x \geq 825 \\ (x-515)/(670-515); 515 < x < 670 \\ (670-x)/(825-670); 670 < x < 825 \end{cases}$$

- TDS Tinggi (840 – 1000, kurva linier naik)

$$\mu \text{ TDS High }_{upper}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 840 \\ (x-840)/(1000-840); 840 < x < 1000 \\ 1; x \geq 1000 \end{cases}$$

$$\mu \text{ TDS High }_{lower}(x) = \begin{cases} 0; x \leq 870 \\ (x-870)/(1000-870); 870 < x < 1000 \\ 1; x \geq 1000 \end{cases}$$

### 2.2.3.2. Inferensi

Pada tahap inferensi, nilai masukan (crisp) diproses dengan aturan dasar yang telah ditentukan. Dari himpunan fuzzy yang terbentuk baik dari variabel pH maupun TDS, telah ditetapkan 9 aturan dasar. Aturan dasarnya adalah sebagai berikut:

- [R-0] :IF pH low and TDS low THEN pH-up:ON (10 s), pH-down:OFF, TDS-up:ON (10 s), TDS-down:OFF.
- [R-1] :IF pH low and TDS optimal THEN pH-up:ON (10 s), pH-down:OFF, TDS-up:OFF, TDS-down:OFF.
- [R-2] :IF pH low and TDS high THEN pH-up:ON (10 s), pH-down:OFF, TDS-up:ON (10 s), TDS-down:OFF.
- [R-3] :IF pH optimal and TDS low THEN pH-up:OFF, pH-down:OFF, TDS-up:ON (10 s), TDS-down:OFF.
- [R-4] : IF pH optimal and TDS optimal THEN pH-up:OFF, pH-down:OFF, TDS-up:OFF, TDS-down:OFF.
- [R-5] : IF pH optimal and TDS high THEN pH-up:OFF, pH-down:OFF, TDS-up:OFF, TDS-down:ON (10 s).

- [R-6] : IF pH high and TDS low THEN pH-up:OFF, pH-down:ON (10 s), TDS-up:ON (10 s), TDS-down:OFF.
- [R-7] : IF pH high and TDS optimal THEN pH-up:OFF, pH-down:ON (10 s), TDS-up:OFF, TDS-down:OFF.
- [R-8] : IF pH high and TDS high THEN pH-up:OFF, pH-down:ON (10 s), TDS-up:OFF, TDS-down:ON (10 s).

### 2.2.3.3. Reduksi Tipe

Proses reduksi yang penulis gunakan menggunakan metode center of set. Prinsip kerja metode ini adalah penentuan titik pusat dari setiap hasil berdasarkan aturan yang telah ditetapkan. Metode ini digunakan untuk mereduksi himpunan fuzzy tipe-2 pada fungsi keanggotaan Atas dan Bawah melalui perhitungan persamaan ( $Y_{cos}$ ).

### 2.2.3.4. Defuzzifikasi

Tahapan defuzzifikasi dilakukan setelah proses reduksi tipe telah diselesaikan. Pada tahap ini keluaran fuzzy diubah menjadi sebuah nilai tegas atau numerik. Hal tersebut dilakukan dengan penyelesaian persamaan ( $y(x)$ ) dimana persamaan ini melakukan perhitungan nilai rata-rata dari titik hasil reduksi interval di keujung sisinya (paling kanan dan paling kiri). Hasil nilai keputusan yang berupa numerik inilah yang nantinya dianggap sebagai keputusan yang akan diambil.

## 2.3. Construction

Tahap Construction merupakan tahap pengimplementasian sistem dimana sistem dicoba dibuat dan dibangun mengikuti analisis dan perencanaan yang telah dilakukan. Pada tahap ini ditulis hasil (output) dari penelitian yang telah dilakukan. Bentuk penulisan dalam tahap ini direpresentasikan melalui narasi, gambar, maupun tabel. Hasil pada tahap ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan, yakni sistem kontrol larutan nutrisi hidropnik berbasis IoT dengan metode Interval Type-2 Fuzzy Logic.

## 2.4. Cutover

Tahap ini merupakan tahap terakhir pada langkah kerja RAD. Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem untuk memantau dan mengetahui performa kinerja sistem yang telah dibuat. Pengujian sistem tersebut dilakukan

dalam upaya memastikan sistem yang dibangun layak untuk dipakai. Adapun pengujian sistem yang dilakukan yakni dengan melakukan uji coba sistem dalam monitoring dan juga sistem kontrol yang dilakukan.

### 2.4.1. Pengujian Sistem Monitoring

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap pembacaan data yang dilakukan oleh sistem. Pembacaan data monitoring oleh sensor dibandingkan dengan alat ukur standar universal untuk mengukur akurasi pembacaan data yang dilakukan. Pengujian pH serta TDS pada larutan diuji menggunakan alat-alat pengukur manual yang ada. Untuk pH, pengujian secara manual dapat dilakukan pH meter portabel. Pengujian pH dengan pH meter dilakukan dengan cara mencelupkan sebagian dari alat tersebut dimana detektor berada sehingga dapat membaca data mengenai derajat keasaman pada larutan. Untuk TDS, pengujian dapat dilakukan dengan TDS meter. Pengujian TDS menggunakan TDS meter dapat dilakukan hampir sama seperti pH meter, yakni mencelupkan sebagian dari alat tersebut dimana detektor berada sehingga dapat membaca data mengenai TDS pada larutan.

Pengukuran nilai error menggunakan *Mean Absolute Error* dilakukan setelah perbandingan hasil monitoring antara bacaan data sensor dengan alat ukur standar manual untuk setiap variabel uji dilakukan untuk menentukan tingkat akurasi monitoring yang dilakukan oleh sistem. Adapun persamaan metode MAE dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (1)$$

Dimana,  
 $\sum_{i=1}^n$  : Penjumlahan dari suatu nilai untuk setiap indeks  
 $|y_i - x_i|$  : Nilai absolut selisih nilai sebenarnya dan nilai prediksi  
 $n$  : Jumlah total pengukuran (sampel)

### 2.4.2. Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan cara menelaah apakah cara kerja sistem telah sesuai dengan skenario pembuatan sistem yang telah dicanangkan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menguji konektivitas sistem terhadap Wi-Fi serta *Internet of Things*, menguji keberhasilan sistem untuk dapat membaca data hasil monitoring pH dan TDS larutan nutrisi, serta pengujian metode kontrol otomatis IT2FL yang dibuat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan hasil-hasil terkait implementasi desain sistem. Selain itu, bab ini memuat temuan pengujian sistem untuk menilai seberapa baik sistem beroperasi sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi apakah sistem yang dihasilkan cukup selaras dengan desain yang telah dirumuskan sebelumnya. Analisis tersebut berguna untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem yang dikembangkan.

#### 3.1. Implementasi Software

##### 3.1.1. Koneksi Wi-fi

Hasil perancangan perangkat lunak pada konektivitas Wi-Fi ini dilakukan untuk mengkonfigurasi mikrokontroler ESP-32 yang telah dilengkapi sistem Wi-Fi agar dapat terhubung ke jaringan internet. Al tersebut diimplementasikan melalui koding sebagai berikut.

```
void ConnectWifi() {
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() !=
WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");}
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected.");
  Serial.print("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  LCDwifi();
  WiFi.setAutoReconnect(true);
  WiFi.persistent(true);
  delay(500);}
```

##### 3.1.2. Koneksi Platform IoT

Pada bagian ini, sistem terhubung ke platform IoT berbasis cloud dengan broker bernama Hivemq. Pengunggahan data pembacaan ke platform cloud IoT dilakukan menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Dengan protokol ini, pembacaan data dapat dipublikasikan ke broker MQTT dan berlangganan jika data diperlukan untuk pemrosesan. Data yang dipublikasikan harus

memiliki topik sebagai pengidentifikasi tempat data tersebut disimpan di broker cloud MQTT. Topik juga berfungsi sebagai kata kunci untuk mengambil data dari broker cloud MQTT. Oleh karena itu, setiap data yang diunggah pasti memiliki topik tertentu, dan topik itulah yang menjadi kata kunci untuk mengakses data yang diinginkan. Hal ini diwujudkan melalui pengkodean berikut.

```
void ConnectIoTmqtt(){
  client.setServer(mqtt_server,
mqtt_port);
  client.setCallback(callback);
  LCDcloudIoT();
}
void ReconnectIoTmqtt(){
  Serial.println("Connecting to
IoT MQTT ...");
  while(!client.connected()){
    Serial.println("Reconnecting
to IoT MQTT ...");
    String clientId =
"hydroponicsIoT-";
    clientId +=
String(random(0xffff), HEX);
    // attemp to connect
    if(client.connect(clientId.c_s
tr())) {
      Serial.println("mqtt
connected");
    }
  }
}
void callback(char* topic, byte*
message, unsigned int length){
  Serial.println("Calback = ");
  Serial.println("Message:=");
  for (int i = 0; i < length;
i++){
    Serial.println((char)message[i
]);
  }
}
```

##### 3.1.3. Pembacaan pH Sensor

Pada bagian ini, sistem dihubungkan dengan modul sensor pH. Melalui modul sensor pH terintegrasi, probe dapat membaca nilai pH air, dengan rentang pembacaan 0-14, sesuai dengan rentang nilai keanggotaan pH universal. Data

pembacaan sensor pH kemudian diproses oleh sistem monitoring untuk ditampilkan pada media yang diinginkan. Pembacaan data sensor pH diimplementasikan menggunakan pengkodean berikut.

```
float ReadTDS() {
    static unsigned long
    analogSampleTimepoint = millis();
    if(millis()-analogSampleTimepoint
    > 400)
    {
        analogSampleTimepoint =
    millis();
        analogBuffer[analogBufferIndex]
    = analogRead(TdsSensorPin);
        analogBufferIndex++;
        if(analogBufferIndex == SCOUNT)
            analogBufferIndex = 0;
    }
    static unsigned long
    printTimepoint = millis();
    if(millis()-printTimepoint >
    6000)
    {
        printTimepoint = millis();
        for(copyIndex=0;copyIndex<SCOU
    NT;copyIndex++)
            analogBufferTemp[copyIndex]=
    analogBuffer[copyIndex];
            averageVoltage =
    getMedianNum(analogBufferTemp,SCOUNT
    ) * (float)VREF / 4095.0;
            float
    compensationCoefficient=1.0+0.02*(te
    mperature-25.0);
            float
    compensationVolatge=averageVoltage/c
    ompensationCoefficient;
            tdsValue=(133.42*compensationV
    olatge*compensationVolatge*compensat
    ionVolatge -
    155.86*compensationVolatge*compensat
    ionVolatge +
    857.39*compensationVolatge)*0.5;
    } return tdsValue;}
```

### 3.1.4. Pembacaan TDS Sensor

Pada bagian ini sistem dihubungkan dengan modul sensor TDS. Melalui modul sensor TDS yang terintegrasi, probe akan membaca data mengenai konsentrasi dalam larutan nutrisi yang dipantau. Sensor TDS akan membaca konsentrasi larutan dalam rentang pembacaan 0 hingga 1000 PPM (parts per Million). Pembacaan data sensor pH diimplementasikan menggunakan pengkodean berikut.

```
void Publishdata() {
    float currentTDS = ReadTDS();
    float currentpH = ReadpH();
    dtostrf(currentTDS, 1, 1,
    tdsString);
    dtostrf(currentpH, 1, 1,
    pHString);
    Serial.print("pH Value: ");
    Serial.println(pHString);
    Serial.print("TDS Value: ");
    Serial.println(tdsString);
    lcd.clear();lcd.setCursor(1,
    0);lcd.print("PH Value :");
    lcd.print(pHString);
    lcd.setCursor(1, 1);lcd.print("TDS
    Value:"); lcd.print(tdsString);
    if (client.connected()) {
        if (client.publish(TopicTDS,
    tdsString) &&
    client.publish(TopicpH, pHString)) {
            Serial.println("TDS and pH
    values published to MQTT");
        } else {
            Serial.println("Failed to
    publish TDS or pH value to MQTT");
        } else {
            Serial.println("MQTT client not
    connected");
        }
    }
}
```

### 3.1.5. Metode IT2FL

Pada bagian ini, sistem dirancang untuk mengimplementasikan metode IT2FL agar sistem dapat melakukan pengontrolan aktuator secara otomatis berdasarkan aturan dasar (basic rule) yang dibuat. Metode ini menjadi hal yang penting dalam penelitian ini karena metode ini merupakan metode inti pada topik yang diambil pada penelitian ini. Pengimplemantasian metode

IT2FL ini dilakukan dengan melakukan pengkodean sebagai berikut.

```
void IT2FL(){
    float pHvalue = ReadpH();
    float TDSvalue = ReadTDS();
    Serial.println("\nDeteksi pH : " +
String(pHvalue));
    Serial.println("Deteksi TDS: " +
String(TDSvalue));
    Serial.println("\n");
    lcd.clear();lcd.setCursor(0,
0);lcd.print("Deteksi PH :");
    lcd.print(pHvalue);
    lcd.setCursor(0,
1);lcd.print("Deteksi TDS: ");
    lcd.print(TDSvalue);
    delay(3000);
    MF_Var();
    if(pHvalue <=
4.00){
        // fuzzifikasi pH
        pHrendah_Upper=fuzzifikasi("pHRe
ndah", "Upper", "linier_turun",
pHvalue);
        pHrendah_Lower=fuzzifikasi("pHRe
ndah", "Lower", "linier_turun",
pHvalue);
        Rule_pH = "pHrendah";
    } else if(pHvalue > 4.00 &&
pHvalue <= 8.00 ){
        pHoptimal_Upper=fuzzifikasi("pHO
ptimal", "Upper", "segitiga",
pHvalue);
        pHoptimal_Lower=fuzzifikasi("pHO
ptimal", "Lower", "segitiga",
pHvalue);
        Rule_pH = "pHOptimal";
    } else if(pHvalue > 8.00){
        pHtinggi_Upper=fuzzifikasi("pHTi
nggi", "Upper", "linier_naik",
pHvalue);
        pHtinggi_Lower=fuzzifikasi("pHTi
nggi", "Lower", "linier_naik",
pHvalue);
        Rule_pH = "pHTinggi";
    }
}
```

```
if(TDSvalue <=
500.00){
    // fuzzifikasi TDS
    TDSrendah_Upper=fuzzifikasi("TDS
Rendah", "Upper", "linier_turun",
TDSvalue);
    TDSrendah_Lower=fuzzifikasi("TDS
Rendah", "Lower", "linier_turun",
TDSvalue);
    Rule_TDS = "TDSrendah";
} else if(TDSvalue > 500.00 &&
TDSvalue <= 840.00 ){
    TDSoptimal_Upper=fuzzifikasi("TD
SOptimal", "Upper", "segitiga",
TDSvalue);
    TDSoptimal_Lower=fuzzifikasi("TD
SOptimal", "Lower", "segitiga",
TDSvalue);
    Rule_TDS = "TDSOptimal";
} else if(TDSvalue > 840.00){
    TDStinggi_Upper=fuzzifikasi("TDS
Tinggi", "Upper", "linier_naik",
TDSvalue);
    TDStinggi_Lower=fuzzifikasi("TDS
Tinggi", "Lower", "linier_naik",
TDSvalue);
    Rule_TDS = "TDStinggi";
}
inferensi_mamdani();
reduksi_tipe();
deffuzzifikasi();
keputusan(final_output);
LCD_EndFuzzy();
delay(500);}
```

### 3.2. Implementasi Hardware

Hasil dari perancangan *hardware* yakni sebuah sistem berbentuk alat cerdas yang kemudian akan menjadi alat yang di gunakan untuk menjadi alat monitoring serta kontrol larutan nutrisi hidroponik tanaman selada. Adapun hasil jadi perancangan *hardware* sistem tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Hasil Perancangan Sistem

Alat tersebut dibuat dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama sistem dengan perangkat elektronika lain yang dibutuhkan seperti modul sensor pH dan TDS untuk membaca data monitoring, *relay* sebagai saklar pengatur logika pengontrolan aktuator, LCD I2C sebagai layar penampil sistem, serta *solenoid valve* sebagai aktuator pada sistem yang dibangun. Alat tersebut bekerja apabila hasil monitoring pH dan TDS tidak sesuai dengan nilai optimal pH dan TDS yang dibutuhkan sehingga aktuator akan mengalirkan cairan untuk menaikkan serta menurunkan baik pH ataupun TDS agar larutan nutrisi dalam keadaan optimal bagi tanaman.

### 3.3. Pegujian Sistem

#### 3.3.1. Pengujian Hasil Monitoring

Pengujian hasil monitoring dilakukan dengan membandingkan hasil bacaan data pH dan TDS melalui sistem *prototype* yang dibangun dengan bacaan data melalui alat baca pH dan TDS universal, yakni TDS meter dan pH meter. Adapun contoh pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Pengujian Hasil Monitoring

Pengujian dilanjutkan dalam sepuluh kali bacaan data untuk menentukan akurasi yang lebih pasti dalam pembacaan data yang dilakukan oleh sistem. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini.

TABEL IV. PENGUJIAN HASIL MONITORING PH

N o	pH Meter	pH Sistem	Erro r	% Erro r	Akurasi
1	7,5	7,5	0	0	100%
2	7,5	7,5	0	0	100%
3	7,5	7,6	0,1	1,32	98,68%
4	7,5	7,6	0,1	1,32	98,68%
5	7,5	7,5	0	0	100%
6	7,5	7,5	0	0	100%
7	7,5	7,6	0,1	1,32	98,68%
8	7,5	7,5	0	0	100%
9	7,5	7,5	0	0	100%
10	7,5	7,6	0,1	1,32	98,68%
<b>Rata - Rata</b>			<b>0,05</b>	<b>0,5</b>	<b>98,68 %</b>

TABEL V. PENGUJIAN HASIL MONITORING TDS

N o	pH Meter	pH Sistem	Erro r	% Erro r	Akurasi
1	537	554	17	3,07	96,93%
2	537	554	17	3,07	96,93%
3	537	556	19	3,42	96,58%
4	537	554	17	3,07	96,93%
5	537	555	18	3,24	96,76%
6	537	554	17	3,07	96,93%
7	537	554	17	3,07	96,93%
8	537	554	17	3,07	96,93%
9	537	555	18	3,24	96,76%
10	537	553	16	2,89	97,11%

Rata - Rata	17,3	2,98	97,50 %
-------------	------	------	---------

### 3.3.2. Pengujian Hasil Kontrol

Pengujian hasil kontrol dilakukan dengan melihat implementasi metode *Interval Type-2 Fuzzy Logic* ketika menerima bacaan data serta keputusan apa yang diambil oleh logika fuzzy yang telah dibuat. Hasil dari keputusan fuzzy tersebut akan memberikan keputusan untuk menyalakan atau mematikan aktuator sebagai pengendali pH dan TDS pada larutan nutrisi. Adapun tampilan sistem kontrol dapat dilihat pada gambar berikut.

```

670 void loop(){
671   float pIreadah_upper=0, pIreadah_lower=0, pIoptimal_upper=0, pIoptimal_lower=0, pItinggi_upper=0
672   float tIreadah_upper=0, tIreadah_lower=0, tIoptimal_upper=0, tIoptimal_lower=0, tItinggi_upper=0
Output Serial Monitor x
[Message (Enter to send message to COM3 (ESP8266 DEVKIT V1 on COM3)]
Komputer ke Wireless LAN Controller
Deteksi pH : 17.12
Deteksi TDS : 0.50
Nilai MF pIoptimal-Upper : 0.44
Nilai MF pIoptimal-Lower : 0.34
Nilai MF tIreadah-Upper : 1.00
Nilai MF tIreadah-Lower : 0.00
Rule pH : pIoptimal, Rule TDS : tIreadah
Rule 4
Total MF Upper : 0.44
Total MF Lower : 0.34
End Inferensi
Hasil Deduksi Tipe : 0.39
End Babak Tipe
Hasil Final output suhu : 4
End DefFuzzyisasi
    
```

Gambar 5. Keputusan Kontrol *Fuzzy Type-2*



Gambar 6. Kontrol Otomatis Menyala

Pada gambar dapat dilihat bahwa sistem akan secara otomatis dapat memompa cairan yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan larutan nutrisi yang dianalisa secara otomatis melalui metode *fuzzy type-2*.

## 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- 1) Penelitian berhasil mengimplementasikan sistem monitoring pH dan TDS pada larutan

dengan akurasi 98,68% untuk pH dan 97,50% untuk TDS serta berhasil mengimplementasikan sistem kontrol otomatis untuk mengoptimalkan nilai pH dan TDS dengan metode *Fuzzy Type-2*

- 2) Sistem ini membutuhkan arus listrik serta sumber daya internet untuk dapat digunakan

Adapun beberapa saran dari penulis yang ditawarkan dalam rangka menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan, diantaranya:

- 1) Pemilihan variabel yang lebih variatif dan banyak sehingga dapat menghasilkan larutan nutrisi yang lebih optimal.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Adapun dalam penelitian ini, penulis mendapat banyak dukungan serta bantuan untuk menyelesaikan penelitian ini hinggaakhir. Oleh karenanya, penulis ingin mengucapkan rasa syukur dan terimakasih kepada:

- 1) Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan berkat serta rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan proyek hingga selesai
- 2) Bapak Dr. Basuki Rahmat, S.Si, MT., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan dukungan berupa saran, arahan, dan juga inovasi dalam proses penyelesaian proyek ini
- 3) Orang tua yang selalu memberikan dukungan moril agar penulis mampu menyelesaikan proyek ini hingga selesai
- 4) Teman kuliah penulis yang membantu penulis mengembangkan proyek ini hingga selesai
- 5) Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

## Daftar Pustaka:

- [1] R. D. Heryadi, M. B. Alexandri, and D. S. Sari, "Membangun Kemandirian Pangan Dari Rumah," *Sawala J. Pengabd. Masy. Pembang. Sos. Desa dan Masy.*, vol. 2, no. 1, p. 19, 2021, doi: 10.24198/sawala.v2i1.29958.
- [2] V. U. Sihombing and U. Siadari, "Tantangan Produksi Pertanian Terhadap Kelangkaan Air dan Ketersediaan Lahan Pertanian di Masa Depan," *Agriprimatech*, vol. 3, no. 1, pp. 38-46, 2019.
- [3] N. Azmin and M. Nasir, "PENGUNAAN MEDIA TANAM HIDROPONIK TERHADAP

- PRODUKTIVITAS PERTUMBUHAN TANAMAN TERONG ( *Solanum melongena* ),” vol. 9, no. November, pp. 14–20, 2020.
- [4] U. Latipah and D. S. Simatupang, “Jurnal Computer Science and Information Technology ( CoSciTech ),” vol. 4, no. 2, pp. 322–331, 2023.
- [5] A. Izzinnahdi, R. A. Murdiantoro, and E. U. Armin, “Sistem Pemantauan Kondisi Air Hidroponik Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU ESP8266 Monitoring System of Hydroponic Water Condition Based on Internet of Things by Node MCU ESP8266,” vol. 8275, pp. 56–63, 2021.
- [6] P. Sistem and T. Hidroponik, “Review: aplikasi penggunaan sensor berbasis ion dalam meningkatkan akurasi pemberian nutrisi pada sistem tanam hidroponik,” vol. 2, no. 2, pp. 8–18, 2021.
- [7] A. Pengaruh, P. Produk, P. M. Dan, U. Muhammadiyah, and P. Pekalongan, “Analisis pengaruh pengetahuan produk, persepsi manfaat dan promosi terhadap minat penggunaan uang elektronik berbasis server,” vol. 7, no. 3, pp. 697–706, 2020.
- [8] A. P. Manullang, Y. Saragih, and R. Hidayat, “Implementasi Nodemcu Esp8266 Dalam Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis Iot,” *JIRE (Jurnal Inform. Rekayasa Elektron. )*, vol. 4, no. 2, pp. 163–170, 2021, [Online]. Available: <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire> ISSN.2620-6900.
- [9] Y. A. Prabowo and L. E. U. Mandala Putra, “Perancangan Hour Meter Berbasis Internet of Thing Menggunakan Logika Fuzzy,” *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, vol. 5, no. 1, pp. 53–61, 2022, doi: 10.36595/jire.v5i1.513.
- [10] R. Burhanudin Baharsah, A. Budimansyah Purba, J. Mulyana, and C. Indra Grahana, “Penerapan Teknologi Internet Of Think (IoT) Untuk Smart Green House Berbasis Web Server dan Android Controller,” *JIPAKIF Nusant. J. Inov. Pengemb. Apl. dan Keamanan Inf. Nusant.*, vol. 1, no. 1, pp. 45–54, 2023, [Online]. Available: <https://journal.edunovationresearch.org/index.php/jipakif/article/view/4>.
- [11] I. Agustian, B. I. Prayoga, H. Santosa, N. Daratha, and R. Faurina, “NFT Hydroponic Control Using Mamdani Fuzzy Inference System,” *J. Robot. Control*, vol. 3, no. 3, pp. 374–383, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i3.14714.
- [12] M. Hidayat and N. Mardiyantoro, “Sistem Pemantauan dan Pengendalian pH Air Berbasis IoT Menggunakan Platform Arduino,” *J. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. UNSIQ*, vol. 7, no. 1, pp. 65–70, 2020, doi: 10.32699/ppkm.v7i1.1039.
- [13] A. R. Al Tahwi, “Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2 The Position Controlling of DC Motor Using Interval Type-2 Fuzzy Logic,” *Telka*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [14] R. Parlita, D. C. M. Wijaya, T. A. Nisaa’, and S. Rahmawati, “Sistem Integrasi BOT Register Terhadap Website Pengolah Data Menggunakan Akses NGROK,” *J. Ilm. SINUS*, vol. 19, no. 2, p. 1, 2021, doi: 10.30646/sinus.v19i2.531.
- [15] W. D. Prastowo, D. Danianti, A. Pramuntadi, and U. A. Ata, “LUNAK MENGGUNAKAN METODE AGILE DAN RAD,” vol. 3, no. 3, pp. 169–174, 2023, doi: 10.53866/jimi.v3i3.388.