

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Metode penelitian Penelitian ini diawali dengan kegiatan studi literatur, yaitu proses pengumpulan informasi dari berbagai sumber yang relevan, seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, dan dokumen daring yang membahas sistem monitoring dan kontrol berbasis *Internet of Things* (IoT) serta *logika fuzzy*. Selain dari sumber pustaka, informasi juga diperoleh melalui diskusi dan konsultasi dengan dosen pembimbing.

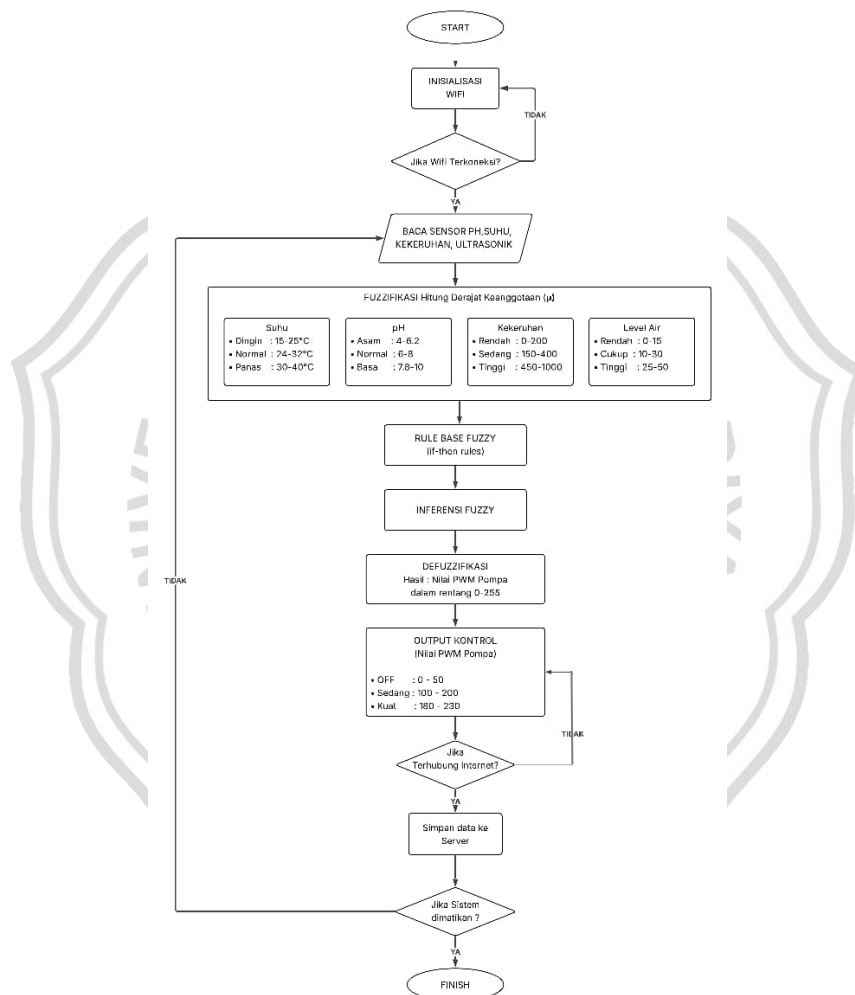
- a. Konsep dasar metode *fuzzy Mamdani*
- b. Konfigurasi dan pemrograman mikrokontroler ESP32-S3
- c. Dashboard monitoring berbasis web
- d. Kalibrasi sensor

3.2 Perancangan Sistem

Tahap ini menjelaskan proses perancangan sistem monitoring dan kontrol otomatis pada sistem akuaponik berbasis mikrokontroler ESP32-S3. Sistem ini dirancang untuk melakukan pengendalian otomatis terhadap pompa air berdasarkan kondisi lingkungan kolam yang dibaca melalui beberapa sensor, yaitu sensor pH, sensor suhu udara (DS18B20), sensor kekeruhan (kekeruhan), dan sensor ultrasonik

ESP32-S3 berfungsi sebagai pusat kendali (*controller unit*) yang mengolah seluruh data sensor menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Proses pengambilan keputusan dilakukan dengan tahapan fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan

defuzzifikasi , untuk menentukan nilai keluaran berupa duty cycle PWM yang mengatur kecepatan pompa air. Sistem ini akan menyalakan pompa dengan intensitas yang disesuaikan terhadap kondisi kualitas udara, seperti suhu, tingkat kekeruhan, dan ketinggian udara, guna menjaga stabilitas lingkungan budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticu*) dan tanaman selada (*Lactuca sativa*).



Gambar 3. 1 Flowcart Sistem

Setelah proses pengendalian dilakukan, seluruh data sensor dikirim ke server web menggunakan metode HTTP POST. Data dikonversi ke format JSON sebelum diteruskan ke API server, kemudian disimpan ke dalam database MySQL

yang dihosting pada sistem domain. Database ini berfungsi sebagai pusat penyimpanan data untuk mendukung analisis historis dan evaluasi kinerja sistem.

Data yang tersimpan dapat divisualisasikan secara real-time melalui dashboard berbasis web, yang menampilkan parameter kualitas udara (pH, suhu, kekeruhan, dan level udara) dalam bentuk grafik, tabel, dan indikator status pompa. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis ke Telegram, yang akan aktif ketika salah satu parameter udara berada di luar ambang batas normal, sehingga pengguna dapat segera melakukan tindakan korektif.

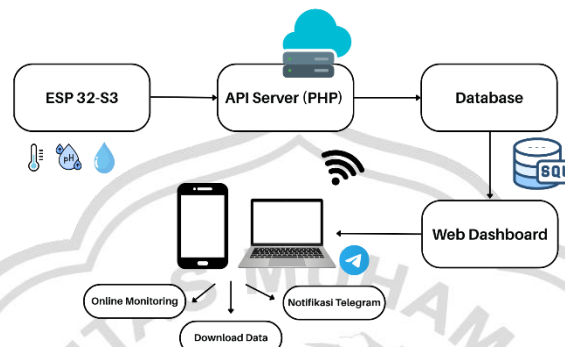
Keunggulan utama sistem ini adalah sifatnya yang real-time, ringkas, dan mandiri, karena seluruh proses monitoring, kontrol, dan penyimpanan data dilakukan dalam satu sistem terintegrasi tanpa bergantung pada layanan pihak ketiga seperti Google Sheets atau Blynk. Gambaran umum rancangan sistem secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 3.1 diatas.

3.3 Perancangan *Software*

Perangkat lunak sistem ini dirancang untuk mengintegrasikan proses *monitoring* dan *kontrol otomatis* pada sistem akuaponik berbasis mikrokontroler *ESP32-S3* menggunakan bahasa *C/C++* pada *Arduino IDE*. Sistem ini mengimplementasikan *fuzzy logic Mamdani* untuk menentukan nilai *PWM* dalam mengatur kecepatan pompa air berdasarkan hasil pembacaan empat sensor utama, yaitu *DS18B20* (suhu air), *pH sensor*, *turbidity sensor*, dan *ultrasonic sensor*.

Data hasil pengukuran dikirim ke *server online* melalui metode *HTTP POST*, kemudian diproses oleh *API* berbasis *PHP* dan disimpan ke dalam basis data *MySQL* untuk divisualisasikan pada *dashboard web* interaktif yang dapat diakses secara *real-time* melalui berbagai perangkat. *Dashboard* ini juga dilengkapi dengan

fitur notifikasi otomatis ke *Telegram* ketika parameter lingkungan melebihi ambang batas, serta fitur unduh data (.CSV/.XLS) yang memungkinkan pengguna melakukan analisis performa sistem dan evaluasi efektivitas kontrol *fuzzy* terhadap kualitas air secara efisien dan berkelanjutan. Arsitektur software terlihat pada gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3. 2 Diagram Arsitektur Perangkat Lunak Sistem

Pada Gambar 3.2 ditunjukkan arsitektur perangkat lunak sistem akuaponik otomatis. Mikrokontroler *ESP32-S3* berfungsi untuk membaca data dari sensor suhu (*DS18B20*), sensor *pH*, sensor kekeruhan (*turbidity*), dan sensor ketinggian air (*ultrasonic*), kemudian mengirimkan hasil pembacaan tersebut ke *API server* berbasis *PHP* menggunakan metode *HTTP POST*. Data yang diterima oleh *server* diproses dan disimpan ke dalam basis data *MySQL*, yang berperan sebagai pusat penyimpanan seluruh aktivitas *monitoring* dan kendali sistem.

Selanjutnya, data divisualisasikan melalui *web dashboard* yang dapat diakses secara *online* melalui komputer maupun *smartphone*. *Dashboard* ini menampilkan kondisi sistem secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memantau parameter kualitas air, status pompa, serta perubahan lingkungan kolam secara langsung.

Selain fungsi pemantauan, sistem juga dilengkapi fitur notifikasi otomatis

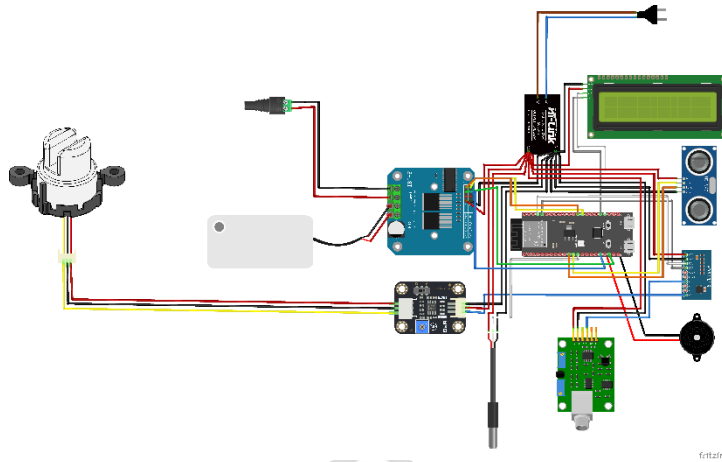
berbasis *Telegram Bot API*, yang akan mengirimkan pesan peringatan apabila parameter lingkungan seperti *pH*, suhu, atau kekeruhan melebihi ambang batas normal. Fitur ini berfungsi sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) untuk menjaga stabilitas kualitas air.

Selain itu, *dashboard* juga menyediakan fitur unduh data (*.CSV/.XLS*) yang memungkinkan pengguna untuk memperoleh hasil pencatatan data sensor dan *log system* secara langsung. Fitur ini berguna untuk keperluan analisis performa sistem, evaluasi efektivitas *fuzzy logic*, serta dokumentasi hasil penelitian.

3.4 Desain Rangkaian Sistem (Wiring Diagram)

Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32-S3 sebagai pusat kendali utama untuk membaca data sensor dan mengatur kecepatan pompa air secara otomatis berdasarkan hasil *inferensi* logika *fuzzy*. Sensor pH dan kekeruhan air dihubungkan melalui modul ADS1115 menggunakan komunikasi I2C (SDA GPIO 2, SCL GPIO 1). Sensor DS18B20 digunakan untuk mendeteksi suhu air dengan koneksi GPIO 3 (*one wire*), sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 membaca ketinggian air melalui GPIO 5 (Trig) dan GPIO 18 (Echo).

Aktuator utama berupa pompa DC 24V dikendalikan menggunakan motor driver BTS7960, yang menerima sinyal PWM dari GPIO 12, 13, 14, dan 35 untuk mengatur kecepatan pompa sesuai keluaran sistem *fuzzy*. Tampilan data real-time ditunjukkan melalui LCD 16x2 I2C (GPIO 21 dan 22). Catu daya sistem berasal dari sumber 24V DC untuk pompa dan modul Hi-Link sebagai regulator untuk mikrokontroler serta sensor. Seluruh rangkaian ditempatkan di dalam box.

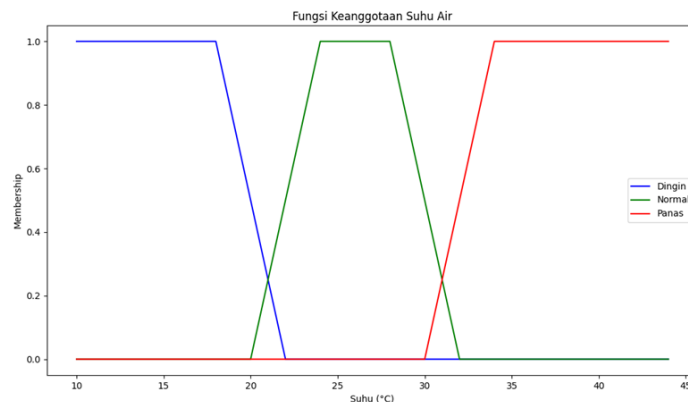


Gambar 3. 3 Diagram Desain Wiring Sistem

3.5 Perencanaan Metode Fuzzy Mamdani

Pada sistem ini, metode logika *fuzzy Mamdani* digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis terhadap kecepatan pompa air berdasarkan empat parameter utama, yaitu suhu air, pH air, tingkat kekeruhan, dan ketinggian air kolam. Proses pengolahan data *fuzzy* dilakukan dalam beberapa tahap utama, yaitu *fuzzifikasi*, *inferensi fuzzy*, dan *defuzzifikasi*.

- Fungsi keanggotaan suhu air



Gambar 3. 4 Fungsi Keanggotaan Input variable Suhu Air (°C)

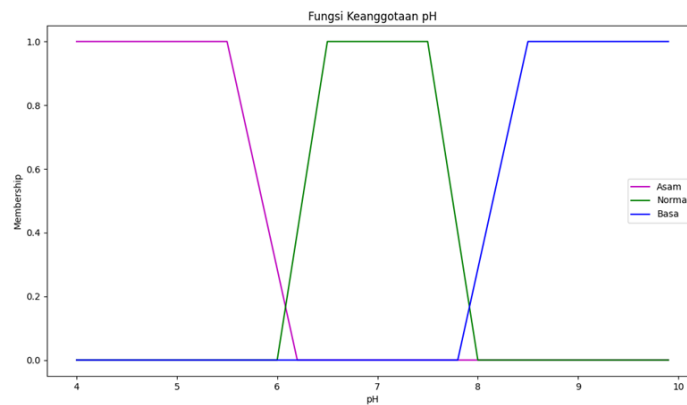
Fungsi keanggotaan input suhu air ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$\mu_R \text{ Dingin } [T] = \begin{cases} 0, & T \leq 15 \\ \frac{T-15}{20-15}, & 15 < T \leq 20 \\ \frac{25-x}{25-20}, & 20 < x \leq 24 \\ 0, & ,T > 24 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu_R \text{ Normal } [T] = \begin{cases} 0, & T \leq 24 \\ \frac{T-24}{28-24}, & 24 < T \leq 28 \\ \frac{32-T}{32-28}, & 28 < T \leq 32 \\ 0, & ,T > 32 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mu_R \text{ Panas } [T] = \begin{cases} 0, & T \leq 32 \\ \frac{T-32}{36-32}, & 30 < T \leq 36 \\ \frac{40-T}{40-36}, & 28 < T \leq 40 \\ 0, & ,T > 40 \end{cases} \quad (3.3)$$

- Fungsi keanggotaan pH Air Kolam



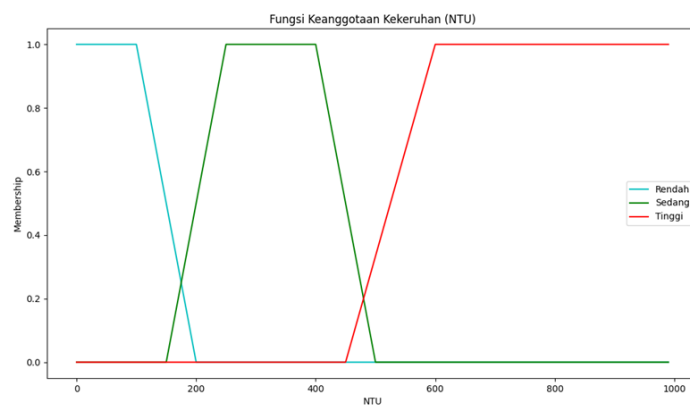
Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan pH Air Kolam

$$\mu_R \text{ Rendah } [pH] = \begin{cases} 0, & pH \leq 4 \\ \frac{pH-4}{5.5-4}, & 4 < pH \leq 5.5 \\ \frac{6.2-pH}{6.2-5.5}, & 5.5 < pH \leq 6.2 \\ 0, & , pH > 6.2 \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\mu_R \text{ Sedang } [pH] = \begin{cases} 0, & pH \leq 6 \\ \frac{pH-6}{7-6}, & 6 < pH \leq 7 \\ \frac{8-pH}{8-7}, & 7 < pH \leq 8 \\ 0, & , pH > 8 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu_R \text{ Tinggi } [pH] = \begin{cases} 0, & pH \leq 7.8 \\ \frac{pH-7.8}{8.5-7.8}, & 7.8 < pH \leq 8.5 \\ \frac{10-pH}{10-8.5}, & 8.5 < pH \leq 10 \\ 0, & , pH > 10 \end{cases} \quad (3.6)$$

- Fungsi keanggotaan Kekeruhan Air (NTU)



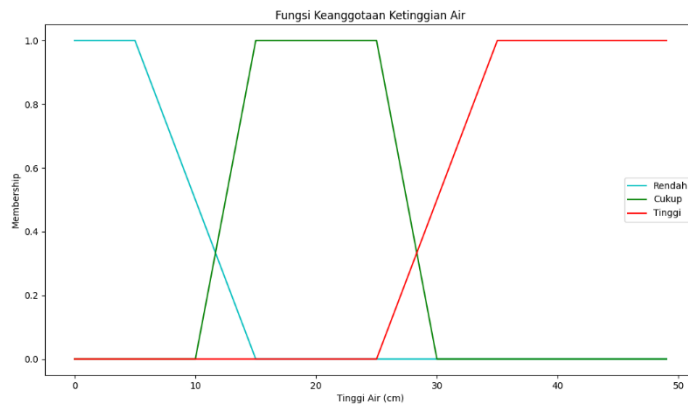
Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Kekeruhan Air

$$\mu_R \text{ Rendah } [K] = \begin{cases} 0, & K \leq 0 \\ \frac{K}{100}, & 0 < K \leq 100 \\ \frac{200-K}{200-100}, & 100 < K \leq 200 \\ 0, & K > 200 \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\mu_R \text{ Sedang } [K] = \begin{cases} 0, & K \leq 150 \\ \frac{K-150}{250-150}, & 150 < K \leq 250 \\ \frac{400-K}{400-250}, & 250 < K \leq 400 \\ 0, & K > 400 \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\mu_R \text{ Tinggi } [K] = \begin{cases} 0, & K \leq 450 \\ \frac{K-450}{600-450}, & 450 < K \leq 600 \\ \frac{1000-K}{1000-600}, & 600 < K \leq 1000 \\ 0, & K > 1000 \end{cases} \quad (3.9)$$

- Fungsi keanggotaan Ketinggian Air Kolam (CM)



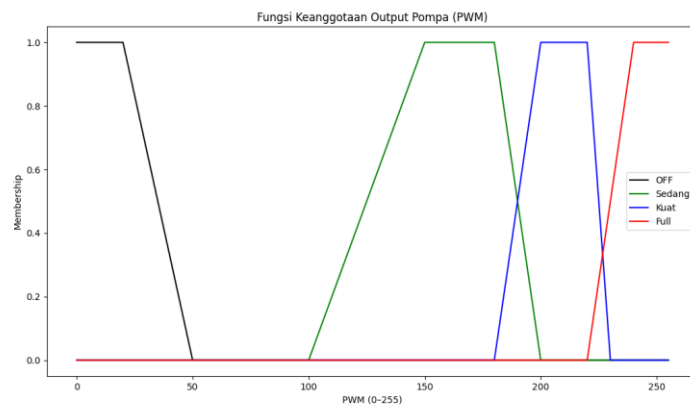
Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan Ketinggian Air Kolam

$$\mu_R \text{ Rendah } [L] = \begin{cases} 0, & L \leq 0 \\ \frac{L}{5}, & 0 < L \leq 5 \\ \frac{15-L}{15-5}, & 5 < L \leq 15 \\ 0, & L > 15 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$\mu_R \text{ Sedang } [L] = \begin{cases} 0, & L \leq 10 \\ \frac{L-10}{20-10}, & 10 < L \leq 20 \\ \frac{30-L}{30-20}, & 20 < L \leq 30 \\ 0, & L > 30 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu_R \text{ Tinggi } [L] = \begin{cases} 0, & L \leq 25 \\ \frac{L-25}{20-10}, & 25 < L \leq 35 \\ \frac{50-L}{50-35}, & 35 < L \leq 50 \\ 0, & L > 50 \end{cases} \quad (3.12)$$

- Fungsi keanggotaan Output PWM



Gambar 3. 8 Fungsi Keanggotaan Ouput PMW

$$\mu_R \text{ Off } [P] = \begin{cases} 0, & P \leq 0 \\ 1, & 0 < P \leq 20 \\ \frac{50-P}{50-20}, & 20 < P \leq 50 \\ 0, & P > 50 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\mu_R \text{ Sedang } [P] = \begin{cases} 0, & P \leq 100 \\ \frac{P-100}{150-100}, & 100 < P \leq 150 \\ 1, & 150 < P \leq 180 \\ \frac{200-P}{200-180}, & 180 < P \leq 200 \\ 0, & > 200 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\mu_R \text{ Kuat } [P] = \begin{cases} 0, & P \leq 180 \\ \frac{P-180}{200-180}, & 180 < P \leq 200 \\ \frac{230-P}{230-200}, & 200 < P \leq 230 \\ 0, & > 230 \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\mu_R \text{ Full } [P] = \begin{cases} 0, & P \leq 220 \\ \frac{P-220}{240-220}, & 220 < P \leq 240 \\ 1, & 240 < P \leq 225 \\ 0, & > 225 \end{cases} \quad (3.16)$$

Rules fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini disusun berdasarkan kombinasi dari empat parameter utama, yaitu suhu air, pH air, tingkat kekeruhan, dan ketinggian air kolam, yang diperoleh melalui sensor *DS18B20*, sensor *pH*, *turbidity sensor*, dan *ultrasonic sensor*. Setiap kombinasi nilai *input* dari keempat parameter tersebut akan menghasilkan keputusan dalam bentuk *output* berupa kecepatan pompa air (PWM) yang merepresentasikan intensitas kerja sistem sirkulasi.

Penentuan basis aturan dilakukan menggunakan pendekatan *fuzzy logic*

Mamdani, dengan menyusun aturan *IF-THEN* berdasarkan kondisi aktual di lapangan serta hasil referensi dari penelitian sebelumnya. Melalui pendekatan ini, sistem dapat menentukan tingkat kecepatan pompa *OFF*, sedang, kuat, atau penuh secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan air. Basis aturan (*rule base fuzzy*) yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3. 1 *Rules Fuzzy Mandani*

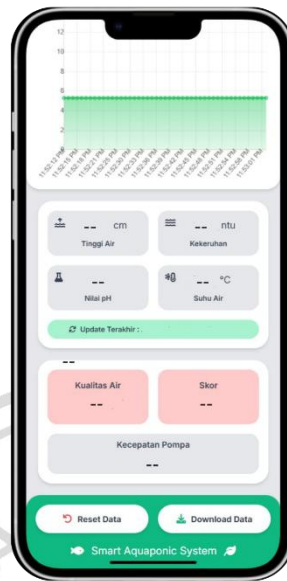
No	Suhu	Ph	Kekeruhan	Level Air	Output Pompa	Status
1	Normal	Normal	Rendah	Cukup	Off	Sehat
2	Normal	Normal	Sedang	Cukup	Sedang	Waspada
3	Normal	Normal	Tinggi	Cukup	Kuat	Krisis
4	Panas	Asam	Sedang	Cukup	Sedang	Waspada
5	Dingin	Normal	Tinggi	Cukup	Kuat	Krisis
6	Normal	Basa	Sedang	Rendah	Kuat	Krisis
7	Normal	Normal	Sedang	Tinggi	Sedang	Waspada
8	Panas	Normal	Rendah	Cukup	Sedang	Waspada

3.6 Desain Tampilan Dashboard IOT

Pada Gambar 3.9 dapat di lihat *dashboard* menampilkan data utama hasil pembacaan sensor, yaitu tinggi air (*ultrasonik*), kekeruhan air (*turbidity*), pH air, dan suhu air (DS18B20) dalam bentuk angka digital serta grafik tren waktu. Selain itu, terdapat indikator status kualitas air, skor kondisi kolam, serta persentase kecepatan pompa hasil dari proses *inferensi logika fuzzy*.

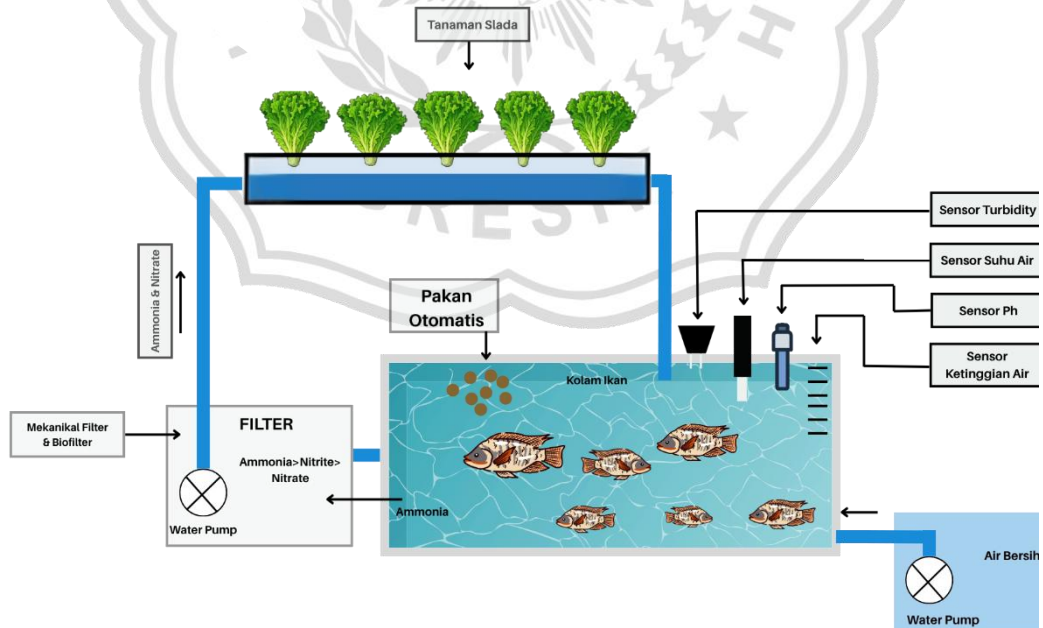
Fitur tambahan seperti notifikasi otomatis berbasis Telegram diintegrasikan untuk memberikan peringatan jika kondisi air berada di luar ambang batas normal, misalnya pH terlalu rendah, suhu ekstrem, atau tingkat kekeruhan tinggi. *Dashboard* ini juga menyediakan tombol “Reset Data” untuk menghapus data sementara dan fitur “Download Data” dalam format .CSV atau .XLS, yang

memungkinkan pengguna melakukan analisis performa sistem secara offline.



Gambar 3. 9 Desain Tampilan Sistem Akuaponik Pada Smart Phone

3.7 Desain Sistem Akuaponik



Gambar 3. 10 Desain Sistem Akuaponik

Gambar 3.10 diatas merupakan desain dari sistem akuaponik. Desain alat pada penelitian ini merupakan gambaran dari sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang diintegrasikan dalam instalasi akuaponik. Sistem ini dirancang untuk mampu memantau beberapa parameter penting kualitas air kolam, seperti suhu air, kadar amonia, pH, kekeruhan, dan ketinggian air, serta secara otomatis mengatur kecepatan pompa air berdasarkan hasil *inferensi fuzzy Mamdani*.

