

Implementasi Fuzzy-Mamdani untuk Pengendalian Suhu dan Kekeruhan Air Aquascape Berbasis IoT

Axel Natanael Salim¹, Abdul Rahman*²

^{1,2}Universitas Multi Data Palembang; Jalan Rajawali No. 14 Palembang, 0711-376400
Informatika, Fakultas Ilmu Komputer dan Rekayasa, Universitas MDP, Palembang
e-mail: ¹ axelsanti610@mhs.mdp.ac.id, *² arahman@mdp.ac.id

Abstrak

Aquascape terdiri dari elemen kompleks, hardscape, dan softscape. Aquascape membutuhkan perawatan yang rutin, salah satunya menjaga kualitas air yang digunakan agar tanaman dan makhluk hidup di dalamnya dapat tumbuh dengan sehat serta aquascape tetap enak dipandang mata. Kita dapat menjaga kualitas air dengan menjaga tingkat kekeruhan dan suhu air. Dengan menjaga kekeruhan suhu air, tanaman dan makhluk hidup yang terdapat di dalam aquascape akan tetap tumbuh subur. Untuk menjaga kondisi air tetap jernih dan sehat, maka diperlukan sistem pengendalian tingkat kekeruhan dan suhu air aquascape. Penelitian ini membuat sebuah sistem yang dapat menjaga kualitas air pada aquascape berbasis Internet of Things dengan mengimplementasikan algoritma Fuzzy Mamdani untuk mengoptimalkan sistem yang dapat mengatur kecepatan kipas untuk menurunkan suhu air dan menentukan berapa lama pompa air akan berjalan dan mengalirkan air di aquascape. Hasil pengujian alat didapatkan, jika nilai sensor suhu, pH, dan kekeruhan air mendekati batas normal air maka pompa air akan menyala. Jika suhu di atas 27,89°C dan pH di atas 13, kipas akan bekerja dengan kecepatan penuh. Untuk mengukur akurasi sistem aquascape ini digunakan MAPE dengan nilai error sebesar 3% untuk data kipas yang dihasilkan.

Kata kunci: Fuzzy Mamdani, IoT, Aquascape

Abstract

Aquascape consists of complex elements, hardscape, and softscape. Aquascape requires regular maintenance, one of which is maintaining the water quality so that the plants and living things in it can thrive and the aquascape remains pleasing to the eye. We can maintain water quality by maintaining the turbidity level and water temperature. By maintaining the turbidity of the water temperature, plants and living things in the aquascape will continue to thrive. To keep the water conditions clear and healthy, a system is needed to control the turbidity level and temperature of the aquascape water. This study builds a system that can maintain water quality in an Internet of Things-based aquascape by implementing the Fuzzy Mamdani algorithm to optimize a system that can adjust the fan speed to lower the water temperature and determine how long the water pump will run and flow. Water in the aquascape. The results of the tool test are obtained; if the temperature, pH, and water turbidity sensor values are close to the normal water limits, the water pump will turn on. If the temperature is above 27.89°C and the pH is above 13, the fan will run at full speed. To measure the accuracy of this aquascape system, MAPE is used with an error value of 3% for the fan data generated.

Keyword: Fuzzy Mamdani, IoT, Aquascape

1. PENDAHULUAN

Aquascape merupakan sebuah praktik mendekorasi akuarium dengan tanaman air, batu, batu, atau kayu apung dengan cara yang artistik [1]. *Aquascape* dapat dibuat dalam berbagai gaya. Sebelum mengatur substrat, kayu apung, batu, kerikil, dan batu, desain tata letak yang tepat harus diselesaikan. Ada beberapa gaya komposisi: cekung (tinggi di kedua sisi atau rendah di tengah), cembung (berlawanan dengan cekung, rendah di kedua sisi atau tinggi di tengah), segitiga (tinggi di satu sisi, menurun di sisi lain) , dan persegi panjang[2]. Desain *aquascape* tersedia dalam berbagai gaya yang berbeda, termasuk taman bergaya Belanda dan gaya alam yang terinspirasi Jepang. Biasanya, sebuah *Aquascape* berisi ikan dan tanaman, tetapi dimungkinkan untuk membuat *aquascape* seluruhnya dari tanaman, atau seluruhnya dari bebatuan atau hardscape lainnya (batu dan kayu)[3].

Keberhasilan pemeliharaan *aquascape* bergantung pada pemantauan terhadap faktor-faktor penting seperti suhu, pencahayaan, dan penyaringan air. Namun, pada titik tertentu faktor kritis ini menjadi terabaikan, sehingga tindakan korektif yang diambil terlambat dan menyebabkan kerusakan[4]. *Internet of Things* (IoT) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan keterkaitan perangkat digital dan fisik[5][6]. Aplikasi untuk memantau dan mengendalikan proses di berbagai domain, termasuk proses industri, peralatan rumah tangga, aplikasi pemantauan kesehatan, rumah pintar, dan kota pintar, sedang dikembangkan berdasarkan perangkat yang mendukung IoT[7][8][9]. IoT merupakan sebuah konsep di mana suatu objek memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia-ke-manusia atau manusia-komputer. Hasilnya, konsep IoT dapat diterapkan pada hampir semua aktivitas sehari-hari. Perorangan, perkantoran, rumah tinggal, rumah sakit, pariwisata, industri, transportasi, konservasi hewan, pertanian, dan peternakan, dan termasuk di pemerintahan[6].

Saat ini, mayoritas pemilik *aquascape* memantau dan menyesuaikan ekosistemnya secara manual, terutama dalam hal pencahayaan, suhu air, dan faktor filtrasi. Pada saat yang sama, *aquascape* memiliki batasan bahwa pemilik harus mengoperasikan perangkat secara langsung, yang membutuhkan kedekatan fisik dengan *aquascape*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sistem kontrol yang mampu menyelesaikan masalah ini. Sebuah prototipe sistem kontrol online berbasis mikrokontroler sedang dikembangkan untuk mengontrol suhu air, keasaman air, dan kekeruhan air. Untuk memaksimalkan kenyamanan perawatan *aquascape*, rancangan yang dikembangkan menggabungkan sensor suhu, sensor pH air, dan sensor kekeruhan air.

Oleh karena itu, sistem yang digunakan dalam penelitian ini untuk menjaga kualitas air di *aquascape* terdiri dari mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266, sensor suhu DS18B20 untuk membaca nilai suhu *aquascape*, sensor kekeruhan, sensor pH, HC-SR04. sensor, kipas untuk mendinginkan suhu air, pompa air, relay empat saluran, driver motor dc L298N, serta algoritma Fuzzy dengan metode Mamdani digunakan untuk mengoptimalkan sistem kontrol ini, yang dapat mengatur kecepatan kipas untuk mengurangi suhu. Pada tingkat kekeruhan, logika fuzzy ini juga akan membantu dalam menentukan berapa lama pompa air akan berjalan dan mengalirkan air di *aquascape* berdasarkan nilai masukan dari sensor kekeruhan dan pH.

1.1 Fuzzy Mamdani

Model logika fuzzy yang dikembangkan oleh Mamdani dan Assiliam[10] adalah yang pertama didasarkan pada teori himpunan fuzzy Zadeh[11]. Sistem logika fuzzy terdiri dari empat mekanisme mendasar: inferensi fuzzifikasi, basis pengetahuan (juga dikenal sebagai basis aturan atau basis data), pengambilan keputusan (juga dikenal sebagai mesin inferensi atau mekanisme inferensi), dan defuzzifikasi[12][13]. Dua komponen utama diperlukan untuk pengembangan sistem cerdas berdasarkan logika fuzzy: basis data pengetahuan dan basis aturan pengetahuan. Logika fuzzy Mamdani tidak memiliki algoritma untuk "mempelajari" komponen pengetahuannya (basis data dan basis aturan) dari data. Ini menyiratkan bahwa logika fuzzy jenis

ini harus dilakukan secara manual dan dengan tingkat subjektivitas yang tinggi, dengan kata lain pemodel atau spesialis menentukan jumlah himpunan fuzzy untuk setiap variabel input dan output, serta rentang antara himpunan ini. Selain itu, pemodel atau spesialis mendefinisikan seperangkat aturan yang akan digunakan oleh sistem inferensi fuzzy yang menyebabkan seluruh proposisi sistem menjadi subjektif[14].

Model Mamdani merupakan model relasional fuzzy dimana setiap aturan direpresentasikan dengan hubungan *IF-THEN*, karena baik anteseden maupun konsekuen merupakan proposisi fuzzy, disebut juga sebagai model linguistik[14][15]. Strukturnya dibuat secara manual. Fungsi keanggotaan fuzzy berdasarkan aturan yang dibuat selama proses pemodelan merupakan keluaran dari model tipe Mamdani[14]. Ini dapat berupa persamaan (1), baik secara matematis dan linguistik:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B, \text{ then } z \text{ is } C \quad (1)$$

dimana x dan y mewakili masukkant sistem, z mewakili keluaran sistem, dan A, B, serta C mewakili fungsi keanggotaan anteseden dan konsekuen. Pada kebanyakan kasus, program perangkat lunak untuk implementasi model jenis ini menggunakan metode *centroid* untuk defuzzifikasi, yang dapat dianggap sebagai nilai bobot rata-rata, di mana bobot diwakili oleh (μ), yang menunjukkan derajat keanggotaan dari nilai xi dengan konsep yang dimodelkan oleh himpunan keluaran fuzzy A dan dalam bentuk majemuknya, dihitung dengan persamaan(2).

$$z = \frac{\mu_c(z)z \delta z}{\mu_c(z) \delta z} \quad (2)$$

Dalam persamaan (2), Z adalah variabel konsekuen, dan $\mu_c(z)$ adalah fungsi dari bentuk yang tersusun. Hasil kontinu atau diskrit dapat diperoleh karena proses defuzzifikasi Z[14][16].

1.2 Internet of Thing

Lapisan persepsi (penginderaan), lapisan jaringan (transfer data), dan lapisan aplikasi adalah tiga lapisan yang membentuk IoT(penyimpanan dan manipulasi data). Terlepas dari kemajuan yang signifikan, IoT masih terus berkembang, sebagaimana dibuktikan oleh beberapa penelitian[17][18][19][20].

- Lapisan 1: lapisan persepsi, pada lapisan penggunaan teknologi seperti *wireless sensor networks* (WSN), *radio frequency identification* (RFID), *near field communications* (NFC). Ada beberapa tumpang tindih antara teknologi WSN dan RFID, karena tag RFID semi-pasif dan aktif juga dapat dianggap sebagai node nirkabel dengan kemampuan komputasi dan penyimpanan yang berkurang. Sebuah node sensor nirkabel biasanya terdiri dari modul pemrosesan, yang umumnya merupakan unit mikrokontroler berdaya rendah (MCU), satu atau lebih modul sensor (perangkat penginderaan analog atau digital tertanam atau eksternal), dan modul komunikasi RF, yang biasanya mampu mendukung teknologi komunikasi nirkabel berdaya rendah[20].
- Lapisan 2: lapisan jaringan, node sensor nirkabel yang berinteraksi dengan objek fisik dan/atau lingkungannya berkomunikasi dengan node tetangga atau gateway, membentuk jaringan di mana data biasanya diteruskan ke infrastruktur jarak jauh untuk penyimpanan, analisis lebih lanjut, pemrosesan, dan penyebaran pengetahuan berharga yang dapat diperoleh dari informasi[18].

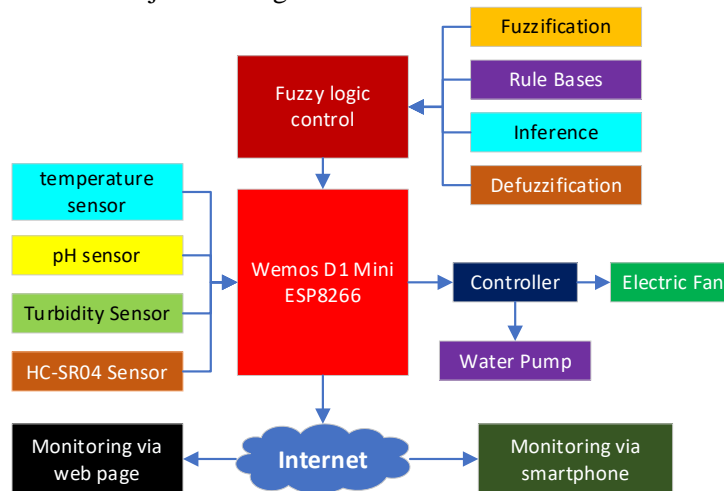
- Lapisan 3: lapisan aplikasi, lapisan ini sangat penting, dan inilah yang memungkinkan IoT diwujudkan dalam banyak cara. Lapisan aplikasi harus mengatasi beberapa masalah, termasuk mengidentifikasi perangkat sebagai entitas yang berbeda. Identifikasi dan kemampuan pengalamatan dari miliaran perangkat di seluruh dunia akan memungkinkan akses dan kontrol langsung maupun melalui melalui internet. Oleh karena itu, keunikan identitas, keandalan, kegigihan, dan skalabilitas adalah karakteristik penting dari skema pengalamatan[18].

2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem kendali *aquascape* ini terdiri dari perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

2.1 Desain Perangkat Keras (*Hardware Design*)

Perangkat keras terdiri dari sistem kendali yang menggunakan mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266 dan sensor pendukung sebagai input data ke mikrokontroler. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor suhu sebagai pendeteksi suhu air *aquascape* menggunakan sensor tipe DS18B20, sensor kekeruhan air digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air, sensor HC-SR04 digunakan sebagai sensor untuk mengukur tinggi permukaan air di *aquascape*. Turbidity sensor digunakan untuk mendeteksi tingkat kekeruhan air *aquascape*, dan sensor pH air digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air *aquascape*. Perangkat lunak ini terdiri dari antarmuka berbasis web yang memungkinkan pengguna untuk memantau sistem *aquascape*. Gambar.1 menunjukkan diagram arsitektur keseluruhan sistem kontrol *Aquascape*.



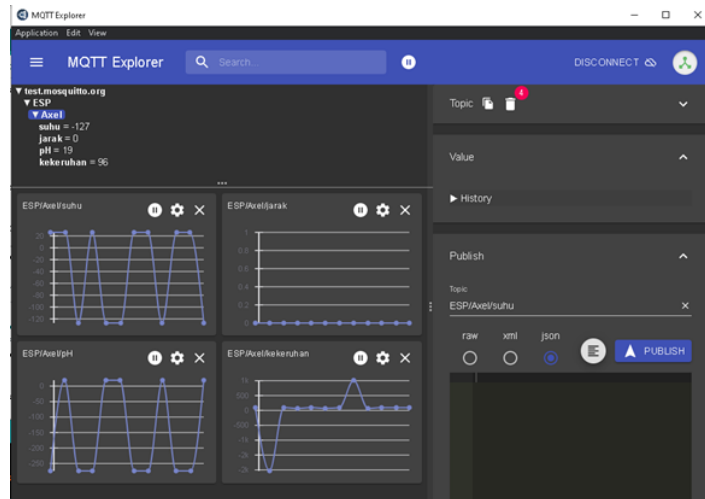
Gambar 1. Rancangan Arsitektur Sistem Kontrol *Aquascape*

2.2 Desain Perangkat Lunak (*Software Design*)

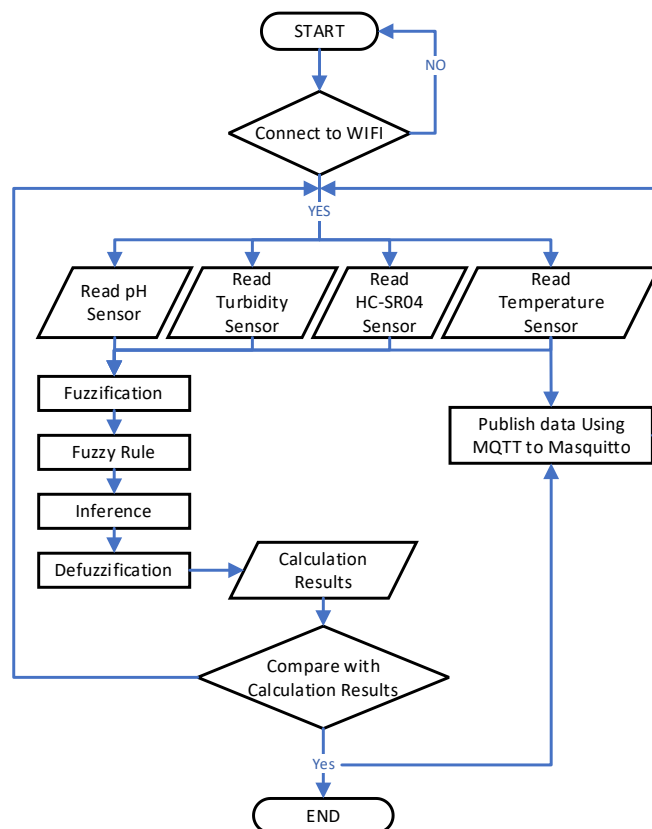
Perangkat lunak atau software yang digunakan pada sistem kendali *Aquascape* ini menggunakan aplikasi Arduino IDE sebagai aplikasi pemrograman ke mikrokontroler, *MQTT Explorer* sebagai aplikasi komunikasi *publish* atau *subscribe* antara *publisher* dan *broker*, *Node-Red* sebagai alat *browser* yang digunakan untuk melakukan pemantauan secara *real-time* dengan tampilan yang menarik, dan *MQTT Dash* sebagai aplikasi android yang berfungsi untuk pelacakan *real-time*.

Arduino IDE digunakan untuk membuat source code atau baris perintah yang akan disematkan pada mikrokontroler yang digunakan untuk mengontrol sistem *aquascape*. Pada aplikasi *MQTT Explorer* ditambahkan topik yang akan mempublikasikan data yang telah dikirim

dari mikrokontroler, kemudian mencoba untuk terhubung ke `mqtt://test.moqsuito.org:1883/`. Node-Red adalah alat browser yang digunakan untuk memantau data dengan berlangganan topik tertentu. Gambar 2. menampilkan data yang telah dikirimkan mikrokontroler; data juga akan dipublikasikan.



Gambar 2. Tampilan data yang ada pada MQTT Explore



Gambar 3. Diagram Alir Sistem Kendali Aquascape

Gambar 3 mengilustrasikan diagram alir dari sistem yang diusulkan, proses ini dimulai dengan memeriksa apakah mikrokontroler telah terhubung ke internet. Jika mikrokontroler

terhubung ke internet, mikrokontroler akan membaca sensor dan melakukan dua tindakan; pertama, mikrokontroler akan mengirimkan data dari sensor. Sensor akan mengirimkannya melalui MQTT ke MQTT Broker. Kedua, mikrokontroler akan menjadikan data dari sensor tersebut sebagai masukan dari algoritma fuzzy dengan metode Mamdani. Setelah algoritma fuzzy memproses data, mikrokontroler akan menjadikan hasil perhitungan dari proses algoritma fuzzy sebagai input baru untuk mengontrol output sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data adalah suatu sistem instrumentasi elektronik yang terdiri dari sejumlah elemen yang bersama-sama bertujuan untuk mengukur, menyimpan, dan mengolah hasil pengukuran. Akuisisi data adalah antarmuka antara sensor analog dan sensor digital. Sensor analog termasuk pengkondisian sinyal dengan segala kelengkapan dan keadaannya, sedangkan sensor digital adalah pemrosesan digital yang dilakukan oleh mikrokontroler.

3.1 Pengolahan Data Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

Data yang diperoleh pada penelitian ini akan diolah dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Ada empat tahapan dalam metode fuzzy mamdani untuk mendapatkan keluaran, yaitu fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, inferensi dan defuzzifikasi. Sebelum melakukan tahapan fuzzy mamdani dilakukan pembentukan himpunan fuzzy, Tabel 1 merupakan tabel pembentukan himpunan fuzzy masukan dan keluaran.

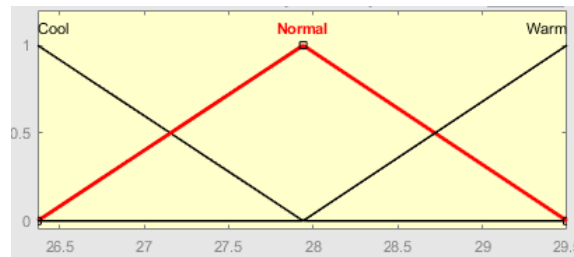
Tabel 1. Pembentukan Fuzzy Set

Process	Function	Variable	Set	Range
Kendali Suhu Air	Masukkan	Suhu	Cold	[25 29.38]
			Normal	
			Warm	
	Keluaran	Kipas Angin	Slow	[0 1023]
			Normal	
			Fast	
Kendali Kekeruhan Air	Masukkan	Turbidity	Clear	[0 25]
			Normal	
			Turbid	
		pH	Acidic	[0 8.44]
			Neutral	
			Alkaline	
	Keluaran	Kuras Air	Cold	[25 29.38]
			Normal	
			Warm	
Keluaran	Kuras Air	Off	[0 292]	
		Normal		
		Long		

Berdasarkan variabel dan domain dari himpunan fuzzy pada Tabel 1, maka langkah selanjutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan dari variabel suhu air, pH air, kekeruhan air, kipas angin, dan penguras air yang akan disajikan berdasarkan nilai rata-rata sensor yang dimiliki, seperti suhu air diperoleh sebesar 26,83°C, pH air sebesar 4,75, kekeruhan air sebesar 10,09 NTU.

Selanjutnya nilai-nilai tersebut akan dilakukan pengolahan menggunakan fuzzy Mamdani selama proses pengolahan data.

Variabel kondisi fungsi keanggotaan suhu air *aquascape* dibagi menjadi dingin, normal, dan hangat. Fungsi keanggotaan untuk suhu air ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Suhu Air *Aquascape*

Fungsi keanggotaan pada variabel suhu air dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{cool}(x) = \begin{cases} 1; & x \leq 26.37 \\ \frac{(27.89 - x)}{(27.89 - 26.37)}; & 26.37 \leq x \leq 27.89 \\ 0; & x \geq 27.89 \end{cases}$$

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 26.37 \text{ atau } x \geq 29.38 \\ \frac{(x - 26.37)}{(27.89 - 26.37)}; & 26.37 \leq x \leq 27.89 \\ \frac{(29.38 - x)}{(29.38 - 27.89)}; & 27.89 \leq x \leq 29.38 \end{cases}$$

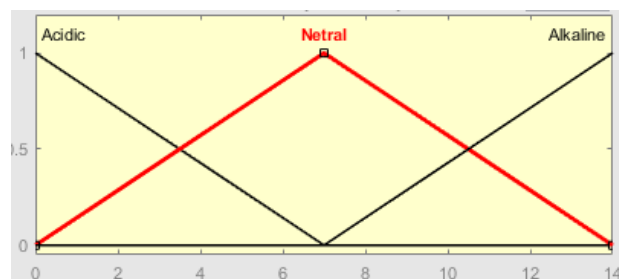
$$\mu_{warm}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 27.89 \\ \frac{(x - 27.89)}{(29.38 - 27.89)}; & 27.89 \leq x \leq 29.38 \\ 1; & x \geq 29.38 \end{cases}$$

Dapat dilihat pada Gambar 4, suhu 26,83°C berpotongan dengan fungsi keanggotaan dingin dan normal sehingga:

$$\mu_{cool}(26.83) = \frac{(27.89 - 26.83)}{(27.89 - 26.37)} = \frac{1.06}{1.52} = 0.697368$$

$$\mu_{normal}(26.83) = \frac{(26.83 - 26.37)}{(27.89 - 26.37)} = \frac{0.46}{1.52} = 0.302631$$

Variabel fungsi keanggotaan pH air dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: asam, netral, dan basa. Gambar 5 adalah gambar fungsi keanggotaan pH air.

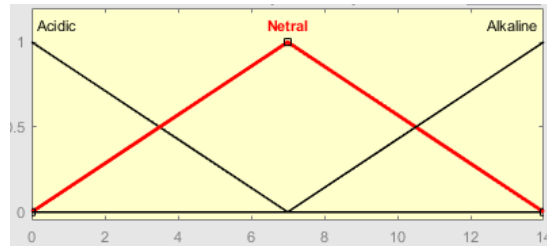


Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Suhu Air *Aquascape*

Variabel fungsi keanggotaan pH air dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: asam, netral, dan basa seperti yang terlihat pada Gambar 6. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa pH 4,75 bersinggungan dengan fungsi keanggotaan netral dan basa sehingga:

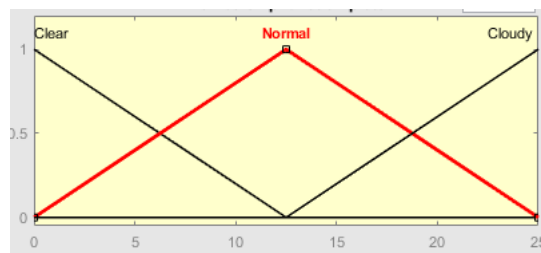
$$\mu_{\text{netral}}(4.75) = \frac{(8.44 - 4.75)}{(8.44 - 4.229)} = \frac{3.69}{4.221} = 0.874200$$

$$\mu_{\text{alkaline}}(4.75) = \frac{(4.75 - 4.229)}{(8.44 - 4.229)} = \frac{0.521}{4.221} = 0.123430$$



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan pH Air *Aquascape*

Variabel kondisi membership function kekeruhan air dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: jernih, normal, dan berawan. Gambar 7 menunjukkan fungsi keanggotaan kekeruhan air.



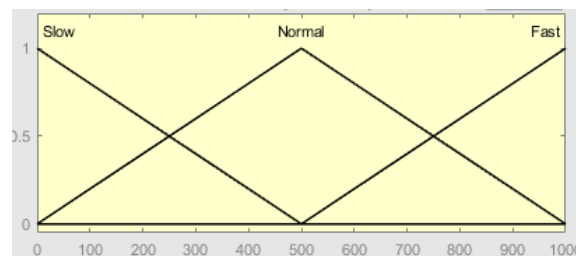
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Kekeruhan Air *Aquascape*

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk kekeruhan 10,09 NTU bersinggungan dengan fungsi keanggotaan clear dan normal sehingga:

$$\mu_{\text{jernih}}(10.09) = \frac{(13.97 - 10.09)}{(13.97 - 0)} = \frac{3.88}{13.97} = 0.277738$$

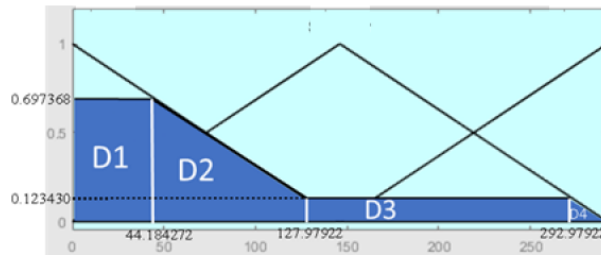
$$\mu_{\text{normal}}(10.09) = \frac{(10.09 - 0)}{(13.97 - 0)} = \frac{10.09}{13.97} = 0.722261$$

Variabel kondisi membership function kipas angin dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: lambat, normal, dan cepat. Gambar 8, menunjukkan fungsi keanggotaan kipas angin.



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Kipas Angin *Aquascape*

Variabel fungsi keanggotaan pengurusan air *aquascape* pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu mati, pendek, dan panjang. Gambar 9 adalah gambar fungsi keanggotaan pompa pengurusan air *aquascape*.



Gambar 9. Batas Area Fungsi Keanggotaan Off dan Short Drain

Setelah nilai keanggotaan temperatur, pH, dan kekeruhan diketahui, maka diterapkan fungsi implikasi menggunakan metode MIN dari aturan yang ada, yaitu:

[R10] If (Suhu = Cool) and (pH = Netral) and (Turbidity = Clear) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_1 = \text{MIN}(0.697368 ; 0.874200 ; 0.277738) \\ = 0.277738$$

[R11] If (Suhu = Cool) and (pH = Netral) and (Turbidity = normal) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_2 = \text{MIN}(0.697368 ; 0.874200 ; 0.722261) \\ = 0.697368$$

[R13] If (Suhu = Cool) and (pH = Alkaline) and (Turbidity = Clear) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_3 = \text{MIN}(0.697368 ; 0.123430 ; 0.277738) \\ = 0.123430$$

[R14] If (Suhu = Cool) and (pH = Alkaline) and (Turbidity = normal) then (Drain = Short)

$$\alpha\text{-predikat}_4 = \text{MIN}(0.697368 ; 0.123430 ; 0.722261) \\ = 0.123430$$

[R19] If (Suhu = Normal) and (pH = Netral) and (Turbidity = Clear) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_5 = \text{MIN}(0.302631 ; 0.874200 ; 0.277738) \\ = 0.277738$$

[R20] If (Suhu = Normal) and (pH = Netral) and (Turbidity = normal) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_6 = \text{MIN}(0.302631 ; 0.874200 ; 0.722261) \\ = 0.302631$$

[R22] If (Suhu = Normal) and (pH = Alkaline) and (Turbidity = Clear) then (Drain = Off)

$$\alpha\text{-predikat}_7 = \text{MIN}(0.302631 ; 0.123430 ; 0.277738) \\ = 0.123430$$

[R23] If (Suhu = Normal) and (pH = Alkaline) and (Turbidity = normal) then (Drain = Short)

$$\alpha\text{-predikat}_8 = \text{MIN}(0.302631 ; 0.123430 ; 0.722261) \\ = 0.123430$$

Setelah diketahui semua nilai implikasinya, selanjutnya dilakukan penyusunan aturan dengan menggunakan metode MAX sebagai berikut:

- Drain Output
 Max Drain Off = MAX(rules 10, 11, 13, 19, 20, 22)
 = 0.697368
 Max Drain Short = MAX(rules 14, 23)
 = 0.123430
- Drain area limit Off
 Drain Off-1 = $(146-x)/(146-0) = 0.697368$
 = $146 - 101.815728 = 44.184272$
 Drain Off-2 = $(146-x)/(146-0) = 0.123430$
 = $146 - 18.02078 = 127.97922$
- Drain area limit Short

$$\begin{aligned} \text{Drain Short-1} &= \frac{292-x}{292-146} = 0.123430 \\ &= 292 - 18.02078 = 292.97922 \end{aligned}$$

Hasil pengujian sistem yang telah dirancang dan diolah menggunakan logika Fuzzy Mamdani dapat dilihat pada Tabel 2. Pada tabel ini dapat dilihat bahwa pompa air akan melaukan pembuangan air jika nilai sensor kekeruhan air di bawah batas normal dan mengisi *aquascape* dengan air yang baru. Jika pompa pembuangan berfungsi maka kipas akan dimatikan sampai pompa selesai mengalirkan air ke dalam *aquascape*.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem *Aquascape*

Masukan			Keluaran		Information
Suhu	pH	Turbidity	Fan	Drain	
26.4	2.14	22.9	-	181	Water pump ON for 3 minutes 1 second
27.2	5	24	-	160	Water pump ON for 2 minutes 40 second
26.88	4.81	20.99	-	164	Water pump ON for 2 minutes 48 second
26.4	3.18	0	183	-	Fan ON at 183 rpm
26.94	6.80	0	509	-	Fan ON at 509 rpm
27.31	6.99	0	571	-	Fan ON at 571 rpm

Berdasarkan data hasil pengujian di tabel 2, *Mean Percentage Error* (MAPE) digunakan untuk menghitung nilai persentase error (%) dengan menggunakan persamaan (3). Dari pengujian yang dilakukan sebanyak tujuh kali, rata-rata nilai error untuk pengujian data fan adalah 3%.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - Y'_t}{Y_t} \right|$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis, dalam implementasi logika fuzzy Mamdani untuk mengontrol suhu dan kekeruhan air secara otomatis pada *aquascape* berbasis IoT ini, metode fuzzy Mamdani dapat diimplementasikan pada mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266 untuk menentukan kecepatan kipas angin dan menentukan berapa lama pompa air diaktifkan untuk menguras serta mengisi kembali air pada *aquascape* agar suhu air dan kekeruhan air dapat dikendalikan. Berdasarkan hasil pengujian sistem *aquascape* diketahui bahwa jika sensor suhu, pH, dan kekeruhan air mendekati batas normal air *aquascape* maka pompa air akan menyala. Jika suhu diatas 27.89°C dan pH diatas 13 maka kipas akan menyala dengan kecepatan penuh, dan hasil perhitungan menggunakan MAPE menunjukkan bahwa untuk data kipas persentase error sebesar 3%.

5. SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan sistem penegndalian *aquascape* dengan menggunakan model machine learning dan penambahan sensor-sensor serta pendinginan air *aquascape* dapat menggunakan komponen yang lain selain kipas angin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Martin, *Aquascaping: Aquarium Landscaping Like a Pro, Second Edition: Aquarist's Guide to Planted Tank Aesthetics and Design*. Ubiquitous Publishing, 2013.
- [2] K. M. Kumari dan N. V. Kumar, "Art and science of aquascaping," *Pharma Innov. J.*, vol. 10(6), no. January, hal. 240–245, 2021.
- [3] A. goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. J. Nathan, dan A. Scobell, "Training Manual on Freshwater Ornamental Fish Breeding and Aquascaping Techniques," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, hal. 1689–1699, 2019.
- [4] T. Sutabri, Y. B. Widodo, S. Sibuea, I. Rajiani, dan Y. Hasan, "Tankmate Design for Settings Filter, Temperature, and Light on Aquascape," *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 54, no. 5, 2019, doi: 10.35741/issn.0258-2724.54.5.45.
- [5] L. Atzori, A. Iera, dan G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, hal. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [6] A. Rahman, Ermatita, dan D. Budianta, "Data Warehouse Design for Soil Nutrients with IoT Based Data Sources," *Proc. - 1st Int. Conf. Informatics, Multimedia, Cyber Inf. Syst. ICIMCIS 2019*, hal. 181–186, 2019, doi: 10.1109/ICIMCIS48181.2019.8985209.
- [7] D. A. K. Karimi, "What the Internet of Things (IoT) Needs to Become a Reality," *Free. White Pap.*, 2013.
- [8] L. Atzori, A. Iera, dan G. Morabito, "From 'smart objects' to 'social objects': The next evolutionary step of the internet of things," *IEEE Commun. Mag.*, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6710070.
- [9] I. Bojanova, G. Hurlburt, dan J. Voas, "Imagineering an internet of anything," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, 2014, doi: 10.1109/MC.2014.150.
- [10] E. H. Mamdani dan S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man. Mach. Stud.*, vol. 7, no. 1, hal. 1–13, 1975, doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- [11] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, hal. 338–353, 1965, doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- [12] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, dan S. N. Deepa, *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*, 1 ed. Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [13] R. Rustum *dkk.*, "Sustainability Ranking of Desalination Plants Using Mamdani Fuzzy Logic Inference Systems," *Sustainability*, vol. 12, no. 2. 2020, doi: 10.3390/su12020631.
- [14] Y. F. Hernández-Julio, M. J. Prieto-Guevara, W. Nieto-Bernal, I. Meriño-Fuentes, dan A. Guerrero-Avenidaño, "Framework for the development of data-driven mamdani-type fuzzy clinical decision support systems," *Diagnostics*, vol. 9, no. 2, 2019, doi: 10.3390/diagnostics9020052.
- [15] R. Babuška, "Fuzzy Modeling BT - Fuzzy Modeling for Control," R. Babuška, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998, hal. 9–48.
- [16] R. C. Bassanezi, *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*, no. June. 2014.
- [17] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, dan I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, hal. 1497–1516, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>.
- [18] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, dan M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, hal. 1645–1660, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- [19] A. Botta, W. De Donato, V. Persico, dan A. Pescapé, "Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 2016, doi: 10.1016/j.future.2015.09.021.
- [20] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, dan C. Kittas, "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosystems Engineering*, vol. 164. 2017, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007.