

AQUASCAPE DENGAN KONTROL FOTOSINTESIS BUATAN PADA TANAMAN AIR MENGGUNAKAN METODE KENDALI LOGIKA FUZZY

M. Diya Udin¹, Istiadi² dan Faqih Rofii^{2*})

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Widyagama Malang, Malang, Indonesia

^{*)}E-mail: faqih@widyagama.ac.id

Abstrak

Pada aquascape proses fotosintesis sangat berpengaruh pada kesuburan dan keindahan tanaman air. Suhu, kejernihan dan pencahayaan air adalah faktor utama yang mempengaruhi hasil fotosintesis. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah sistem untuk menjaga kestabilan suhu air, tingkat kejernihan air dan pencahayaan pada tanaman air. Sistem yang dibangun menggunakan sensor DS18B20 untuk membaca nilai suhu air, sensor turbidity untuk membaca nilai kejernihan air dan modul Real Time Clock (RTC) untuk mengatur pencahayaan. Nilai pembacaan suhu air, kejernihan air dan nilai waktu akan diproses oleh mikrokontroler dengan sistem kendali logika fuzzy menjadi sebuah keluaran untuk mengatur kecepatan motor pump pendingin (cooling), motor pump filter dan LED sumber pencahayaan pada aquascape. Informasi masukan dan keluaran sistem ditampilkan pada LCD 16 x 2. Hasil rancangan dan implementasi sistem diharapkan dapat membantu fotosintesis buatan pada tanaman air agar dapat berjalan dengan baik. Sistem kendali suhu air berbasis logika Fuzzy dapat menjaga suhu air sekitar 22 - 25 °C dengan tingkat keberhasilan sebesar 99,08 %. Sistem kendali tingkat kekeruhan air berbasis logika Fuzzy dapat menjaga tingkat kekeruhan air sekitar 5 - 25 NTU dengan tingkat keberhasilan sebesar 96,66 %. Sistem pencahayaan dapat bekerja selama 8 jam perhari, mulai pukul 19.00 - 03.00 WIB.

Kata kunci: Aquascape, Fotosintesis Buatan, Logika Fuzzy, Sensor DS18B20, Sensor Turbidity, Modul RTC.

Abstract

In aquascape the process of photosynthesis is very influential on the fertility and beauty of aquatic plants. The temperature, clarity and lighting of water are the main factors that affect the results of photosynthesis. The purpose of this research is to create a system to maintain the stability of water temperature, water clarity and lighting for aquatic plants. The system built uses a DS18B20 sensor to read the water temperature value, a turbidity sensor to read the water clarity value and a Real Time Clock (RTC) module to adjust the lighting. The reading value of water temperature, water clarity and time value will be processed by a microcontroller with a fuzzy logic control system into an output to regulate the speed of the cooling pump motor, motor pump filter and LED lighting source in the aquascape. The system input and output information is displayed on a 16 x 2 LCD. The results of the system design and implementation are expected to help artificial photosynthesis in aquatic plants to run properly. Fuzzy logic based water temperature control system can maintain water temperature around 22 - 25 C with a success rate of 99.08%. The water turbidity control system based on Fuzzy logic can maintain the turbidity level of water around 5 - 25 NTU with a success rate of 96.66%. The lighting system can work for 8 hours per day, starting at 19.00 - 03.00 WIB.

Keywords: Aquascape, Artificial Photosynthesis, Fuzzy Logic, DS18B20 Sensor, Turbidity Sensor, RTC Module.

1. Pendahuluan

Aquascape merupakan seni dalam menata tanaman air, pasir, karang, kayu dan batu dalam akuarium. Tujuan utama dari *aquascape* yaitu menciptakan pemandangan di bawah permukaan air di dalam akuarium, sehingga terlihat lebih cantik dan lebih menarik untuk dilihat guna memperindah estetika suatu ruangan dengan mempertimbangkan aspek pemeliharaan tanaman air [1]. Seperti tanaman pada umumnya, tanaman air juga membutuhkan energi yang didapat melalui proses fotosintesis. Fotosintesis adalah proses sintesis karbohidrat

dari bahan anorganik (CO_2 dan H_2O) pada tumbuhan berpigmen dengan bantuan energi cahaya matahari [2].

Pada fotosintesis buatan digunakan cahaya lampu untuk menggantikan cahaya matahari untuk proses fotosintesis yang mana intensitas lampu dibuat sama dengan intensitas cahaya matahari [3]. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam proses fotosintesis buatan antara lain yaitu pencahayaan/lighting sebagai pengganti sinar matahari, tingkat kejernihan air dan suhu air pada *aquascape*.

Dalam merawat aquascape terdapat beberapa faktor yang sering menjadi kendala, sehingga sistem fotosintesis tumbuhan air pada aquascape tidak berjalan normal. Cuaca extreme belakangan ini seringkali berubah sangat cepat dan tidak dapat diprediksi. Suhu udara yang panas mengakibatkan suhu air yang digunakan sebagai media aquascape di dalam akuarium pada siang hari bisa mencapai angka 30°C atau lebih, padahal suhu air yang ideal dan dibutuhkan pada aquascape sekitar 22°C sampai dengan 25°C [4]. Selain itu faktor kejernihan air juga berpengaruh pada proses pertumbuhan tanaman pada aquascape, tingkat kejernihan air yang diperlukan pada aquascape sesuai dengan standar kekeruhan air yang ditentukan yaitu 5-25 NTU (Nephelemetric Turbidity Unit) [4]. Untuk pencahayaan idealnya dibutuhkan 7 sampai dengan 8 jam perhari, namun masih banyak para aquascaper yang kurang teratur atau bahkan lupa memberi pencahayaan pada aquascape mereka. Oleh karena itu pada sistem pencahayaan akan menggunakan model pengendalian loop terbuka dimana instruksi hanya berjalan searah yaitu instruksi didapatkan dari input [5] dalam hal ini berupa RTC kemudian diproses oleh mikrokontroler dan diteruskan ke output yaitu relay untuk mengaktifkan lampu sebagai pencahayaan aquascape.

Dalam penelitian sebelumnya terdapat kelemahan pada pengendalian suhu air pada akuarium dimana untuk menurunkan suhu 2°C saja dibutuhkan waktu 30 menit [4], waktu tersebut cukup lama untuk sekedar menurunkan suhu air pada sebuah akuarium yang tidak terlalu besar. Pada sistem ini pengendalian suhu tersebut akan dikendalikan dengan mikrokontroler menggunakan metode logika Fuzzy untuk mengendalikan pompa pendingin pada akuarium berdasarkan batas maksimal dan minimal suhu air yang dibutuhkan aquascape. Metode logika Fuzzy dipilih karena dapat memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu, dan logika Fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat [6] [7] [8].

Metode logika Fuzzy juga mempunyai beberapa kelebihan salah satunya adalah penggunaannya yang mudah dan dalam proses menghasilkan keputusan lebih sesuai dengan kondisi manusia. Logika Fuzzy memodelkan perasaan atau intuisi dengan cara merubah nilai crisp menjadi nilai lingustik dengan fuzzification dan kemudian memasukkannya ke dalam rule yang dibuat berdasarkan knowledge. Logika Fuzzy banyak digunakan pada sebagian besar permasalahan yang terjadi di dunia nyata. Permasalahan di dunia nyata kebanyakan bukan biner dan bersifat non linier sehingga logika Fuzzy cocok digunakan karena menggunakan nilai lingustik yang tidak linier [9] [10] [11].

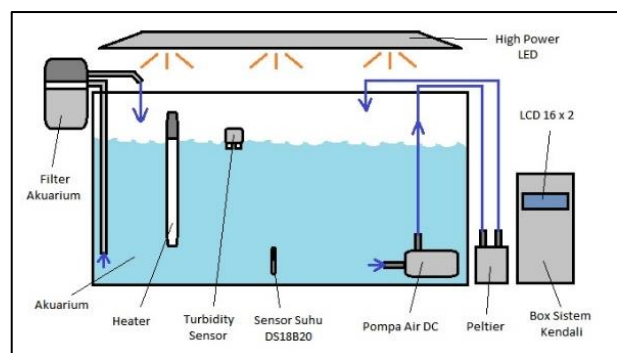
Berdasarkan latar belakang tersebut dalam penelitian ini dirancang sebuah sistem aquascape dengan kontrol fotosintesis buatan pada tanaman air menggunakan metode logika Fuzzy. Dimana kondisi suhu air, tingkat kejernihan

air dan pencahayaan pada aquascape akan dikendalikan melalui mikrokontroler Arduino Uno dan menggunakan metode logika Fuzzy guna mempermudah para penghobi aquascape dalam merawat agar memperoleh hasil yang maksimal pada seni penataan tanaman bawah air tersebut.

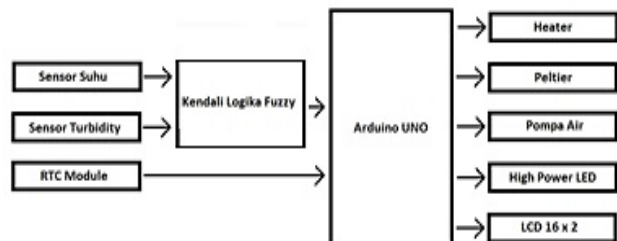
2. Metode Penelitian

2.1. Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan meliputi sistem kerja keseluruhan, fitur yang direncanakan sekaligus desain dari sistem rancang bangun aquascape dengan kontrol fotosintesis buatan pada tanaman air menggunakan metode logika Fuzzy sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi desain sistem



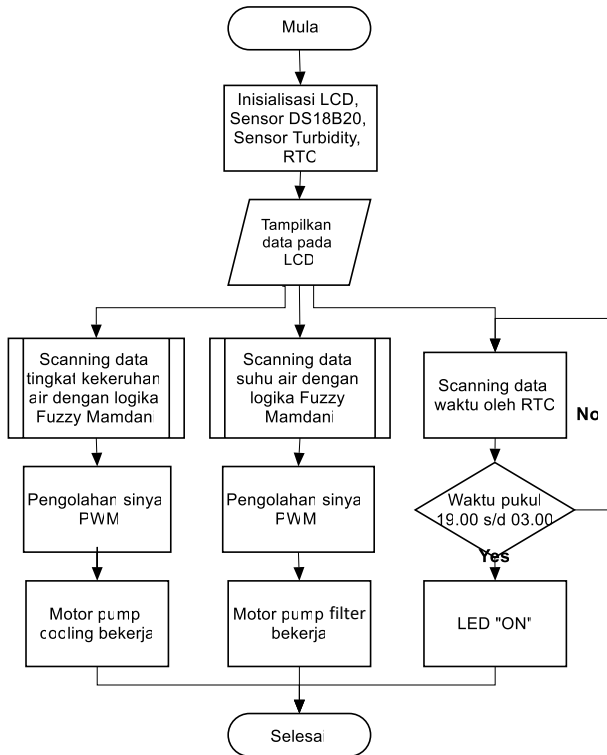
Gambar 2. Diagram Blok Sistem Aquascape

Gambar 2 menunjukkan diagram blok pada sistem aquascape. Sistem terdiri dari rangkaian sensor, kendali logika fuzzy, mikroprosesor dan rangkaian aktuator. Pada rangkaian aktuator terdapat heater, peltier, pompa air, LED, dan LCD. Untuk merealisasi sistem sebagaimana pada Gambar 2, maka diperlukan perancangan diagram alir untuk membangun alur program sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.

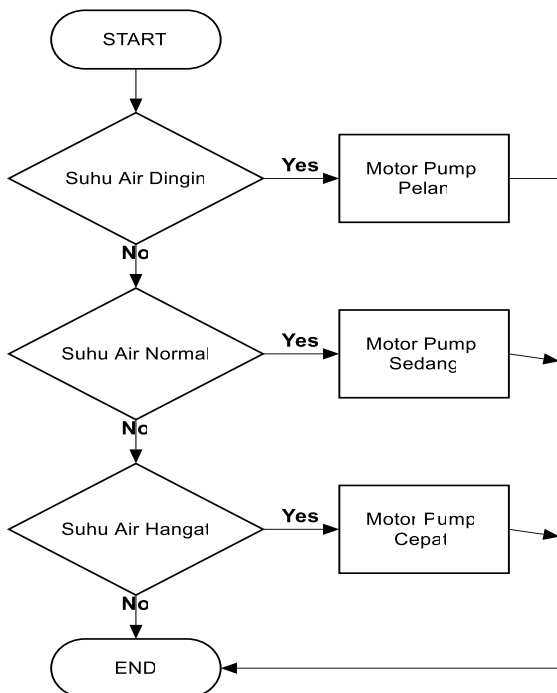
2.2. Sistem Kendali Logika Fuzzy

Sistem kendali logika Fuzzy dibagi menjadi dua bagian, yaitu kendali suhu dan kekeruhan air. Suhu dan kekeruhan air yang terbaca oleh sensor akan mempengaruhi output kendali berupa kecepatan pompa motor. Kendali suhu air dirancang untuk mengatur suhu air, dengan parameter nilai suhu yang dibaca oleh sensor DS18B20. Parameter ini akan mempengaruhi kecepatan motor pump pendingin.

Motor pump akan bekerja pada kondisi pelan, sedang dan cepat sesuai dengan suhu air dingin, normal dan hangat. Kondisi ini sebagaimana ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 4.

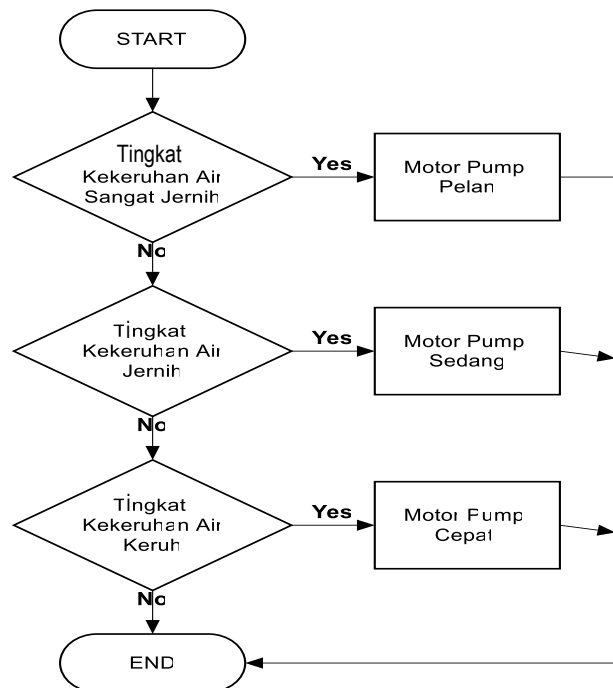


Gambar 3. Diagram alir sistem keseluruhan



Gambar 4. Diagram alir sistem kendali Fuzzy pada suhu air

Sistem kendali kekeruhan air berfungsi untuk mengatur tingkat kekeruhan air, dengan parameter nilai kekeruhan air yang dibaca oleh sensor turbidity. Parameter ini akan mempengaruhi kecepatan motor pump filter. Jika nilai kekeruhan kurang dari 12 NTU maka kecepatan motor pump adalah pelan, Jika nilai suhu diatas dari 12 NTU dan dibawah 25 NTU maka kecepatan motor pump adalah sedang, sedangkan Jika nilai suhu diatas 25 NTU maka kecepatan motor pump adalah cepat. Metode yang digunakan untuk mengatur kecepatan pompa pada filter adalah sistem kendali logika Fuzzy Mamdani. Gambar 5 menunjukkan diagram alir sistem kendali kekeruhan air berbasis Fuzzy Mamdani [12] .



Gambar 5. Diagram alir sistem kendali fuzzy pada kekeruhan air

3. Hasil Dan Diskusi

3.1. Himpunan Fuzzy Pada Sistem Pengendali Suhu Air

Untuk mendapatkan output pemetaan kecepatan motor dari input yang berupa suhu air, dalam penelitian ini digunakan Fuzzy Mamdani pada toolbox Fuzzy di Matlab. Himpunan Fuzzy yang digunakan untuk variabel input adalah suhu air dengan kategori dingin, normal, dan hangat. Himpunan output Fuzzy adalah pelan, sedang, dan cepat.

Pada sistem kendali ini, input berasal dari sensor DS18B20 dan output berupa motor pump DC 5V. Input suhu air berada pada rentang 150 - 300 C, sedangkan output berupa tegangan motor berada pada rentang 1 – 5 V. Tabel 1 memperlihatkan himpunan variabel Fuzzy pada sistem pengendali suhu.

Tabel 1. Himpunan Variabel Fuzzy Sistem Pengendali Suhu Air

Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan
Input	Suhu	(15°C – 33°C)
Output	Motor Pump DC 5V	(1 V – 5 V)

Hasil perhitungan fungsi keanggotaan untuk sensor DS18B20 seperti persamaan 1 – 6 berikut:

• Suhu Dingin

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq -15 \\ \frac{24-x}{9}, & 15 \leq x \leq 24 \\ 0, & x \geq 24 \end{cases} \quad (1)$$

• Suhu Normal

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -15 \\ \frac{x-24}{9}, & 15 \leq x \leq 24 \\ \frac{33-x}{9}, & 24 \leq x \leq 33 \\ 0, & x \geq 33 \end{cases} \quad (2)$$

• Suhu Hangat

$$\mu_{Hangat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -24 \\ \frac{x-24}{9}, & 24 \leq x \leq 33 \\ 1, & x \geq 33 \end{cases} \quad (3)$$

Hasil perhitungan fungsi keanggotaan untuk kecepatan motor DC 5V seperti dibawah ini :

• Pelan

$$\mu_{Pelan}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq -25 \\ \frac{125-x}{100}, & 25 \leq x \leq 125 \\ 0, & x \geq 125 \end{cases} \quad (4)$$

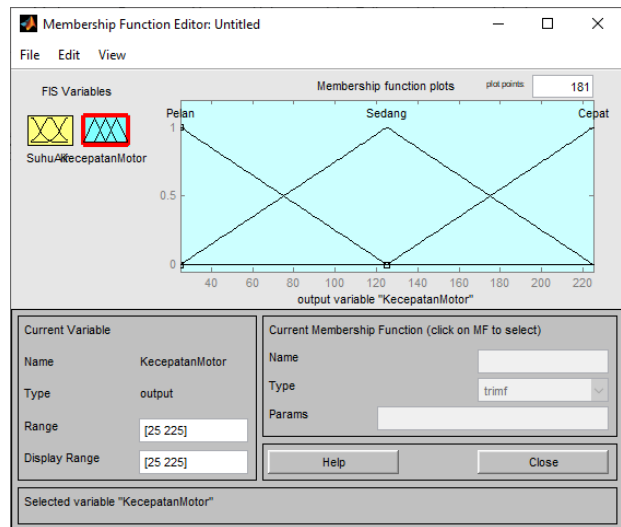
• Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -25 \\ \frac{x-125}{100}, & 25 \leq x \leq 125 \\ \frac{225-x}{100}, & 125 \leq x \leq 225 \\ 0, & x \geq 225 \end{cases} \quad (5)$$

• Cepat

$$\mu_{Cepat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -125 \\ \frac{x-125}{100}, & 125 \leq x \leq 225 \\ 1, & x \geq 225 \end{cases} \quad (6)$$

Dari hasil perhitungan fungsi keanggotaan diperoleh parameter yaitu kecepatan motor dengan kategori pelan mempunyai nilai output dibawah 25, kecepatan motor dengan kategori sedang mempunyai nilai *output* antara 25 sampai 125, dan kecepatan motor dengan kategori cepat mempunyai nilai 125 hingga 225. Gambar 6 adalah fungsi keanggotaan *fuzzy inference system* (FIS) untuk kendali suhu air.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan fuzzy inference system (FIS) untuk kendali suhu air.

Gambar 7 menunjukkan 3 Rule Base yang digunakan pada sistem pengendali suhu air, yaitu :

If (SuhuAir is Dingin) then (KecepatanMotor is Pelan)

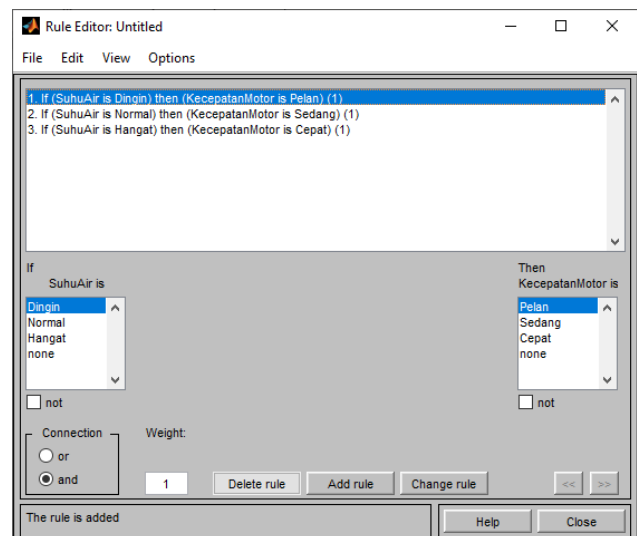
Rule ini menyatakan jika suhu air dingin maka kecepatan motor pump cooling akan pelan.

If (SuhuAir is Normal) then (KecepatanMotor is Sedang)

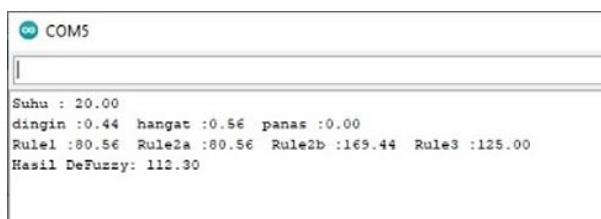
Rule ini menyatakan jika suhu air normal maka kecepatan motor pump cooling akan sedang.

If (SuhuAir is Hangat) then (KecepatanMotor is Cepat)

Rule ini menyatakan jika suhu air hangat maka kecepatan motor pump cooling akan cepat.

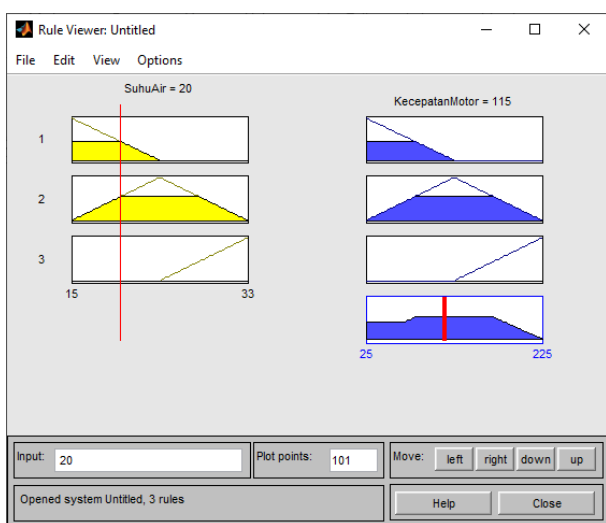


Gambar 7. Rule Editor Sistem Pengendali Suhu Air pada Matlab



Gambar 8. Tampilan Data Suhu Pada Serial Monitor

Data suhu pada tampilan serial monitor ditunjukkan oleh Gambar 8. Gambar tersebut menunjukkan suhu air aquascape yaitu 20 °C. Angka-angka yang muncul di bawahnya adalah nilai perhitungan derajat keanggotaan kondisi suhu dingin, hangat dan panas.



Gambar 9. Rule Viewer Sistem Pengendali Suhu Air pada Matlab

Pada Gambar 8, serial monitor menunjukkan hasil *output defuzzifikasi* sebesar 112,30 sedangkan pada gambar 9 *output* pada *rule viewer* matlab menunjukkan 115. Atau terdapat selisih perhitungan sebesar 2,4%. Selanjutnya adalah menghitung nilai *defuzzifikasi* secara manual dengan metode *weighted average* (WA). Hasil perhitungan keseluruhan dari nilai *output fuzzy* yang ditunjukkan oleh nilai WA dan error dirangkum oleh Tabel 2.

$$WA = \frac{(Rule1 \times \mu_{Dingin}) + (Rule2a \times \mu_{Hangat}) + (Rule2b \times \mu_{Hangat}) + (Rule3 \times \mu_{Normal})}{\mu_{Dingin} + \mu_{Normal} + \mu_{Normal} + \mu_{Hangat}} \quad (7)$$

$$WA = \frac{(80,56 \times 0,44) + (80,56 \times 0,56) + (169,44 \times 0,56) + (125 \times 0,00)}{0,44 + 0,56 + 0,56 + 0,00}$$

$$WA = \frac{175,43}{1,56}$$

$$WA = 112,45$$

Tabel 2. Output Fuzzy pengendali suhu air

No	Suhu Air	Weighted average (WA)	Output		Error (%)
			Serial Monitor	Rule Viewer Matlab	
1	15	25	25	25	0 %
2	17	76,1	75,6	76,2	0,13 %
3	19	103,3	102,9	105	1,47 %
4	20	112,45	112,5	115	2,21 %
5	23	121,6	121,1	123,8	1,77 %
6	24	125,2	124,8	126	0,63 %
7	27	135,56	135,1	137,1	1,12 %
8	31	179,8	179,1	181,6	0,99 %
9	33	225	255	225	0 %
Rata – Rata Error					0,92 %

Hasil perhitungan menggunakan metode *weighted average* terdapat perbedaan rata-rata error sebesar 0,92 % dengan *output* pada serial monitor dan *output* yang ditampilkan pada matlab. Dari hasil perbedaan tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat keakuratan model *Fuzzy Mamdani* sebesar 99,08 %.

3.2. Himpunan Fuzzy Pada Sistem Pengendali Kekeruhan Air

Pada sistem pengendali kekeruhan air, himpunan *Fuzzy* yang digunakan untuk variabel *input* adalah tingkat kekeruhan air dengan kategori sangat jernih, jernih, dan keruh. *Output Fuzzy* adalah kategori pelan, sedang, dan cepat. Pada sistem kendali ini, input berasal dari sensor turbidity dan output berupa motor pump DC 12V. Input kekeruhan air berada pada rentang 5 – 25 NTU, sedangkan output berupa tegangan motor berada pada rentang 1 – 12 V. Tabel 3 memperlihatkan himpunan variabel *Fuzzy* pada sistem pengendali kekeruhan air.

Tabel 3. Himpunan Variabel Fuzzy Sistem Pengendali Kekeruhan Air

Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan
Input	Tingkat kekeruhan air	(5 – 25 NTU)
Output	Motor Pump DC 12V	(1 V – 12 V)

Hasil perhitungan fungsi keanggotaan untuk sensor sensor turbidity seperti persamaan 9 – 13 berikut:

- Sangat Jernih

$$\mu_{SangatJernih}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq -5 \\ \frac{15-x}{10}, & 5 \leq x \leq 15 \\ 0, & x \geq 15 \end{cases} \quad (8)$$

- Jernih

$$\mu_{Jernih}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -5 \\ \frac{x-15}{10}, & 5 \leq x \leq 15 \\ \frac{25-x}{10}, & 15 \leq x \leq 25 \\ 0, & x \geq 25 \end{cases} \quad (9)$$

- Keruh

$$\mu_{Keruh}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -15 \\ \frac{x-15}{10}, & 15 \leq x \leq 25 \\ 1, & x \geq 25 \end{cases} \quad (10)$$

Setelah fungsi keanggotaan yang dijadikan sebagai *input* sudah ditentukan, selanjutnya menentukan fungsi keanggotaan yang dijadikan sebagai *output*. Hasil perhitungan fungsi keanggotaan untuk kecepatan motor DC 12V sebagaimana persamaan 11 – 13 berikut:

- Pelan

$$\mu_{Pelan}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq -25 \\ \frac{125-x}{100}, & 25 \leq x \leq 125 \\ 0, & x \geq 125 \end{cases} \quad (11)$$

- Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -25 \\ \frac{x-125}{100}, & 25 \leq x \leq 125 \\ \frac{225-x}{100}, & 125 \leq x \leq 225 \\ 0, & x \geq 225 \end{cases} \quad (12)$$

- Cepat

$$\mu_{Cepat}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -125 \\ \frac{x-125}{100}, & 125 \leq x \leq 225 \\ 1, & x \geq 225 \end{cases} \quad (13)$$

Dari hasil perhitungan fungsi keanggotaan diperoleh parameter yaitu kecepatan motor dengan kategori pelan mempunyai nilai output dibawah 25, kecepatan motor dengan kategori sedang mempunyai nilai *output* antara 25 sampai 125, dan kecepatan motor dengan kategori cepat mempunyai nilai 125 hingga 225. Gambar 10 adalah fungsi keanggotaan *fuzzy inference system* (FIS) untuk kendali suhu air.

Pada gambar 11 dapat dilihat terdapat 3 *Rule Base* yang digunakan pada sistem pengendai kekeruhan air, yaitu :

1. *If (KekeruhanAir is SangatJernih) then (KecepatanMotor is Pelan)*

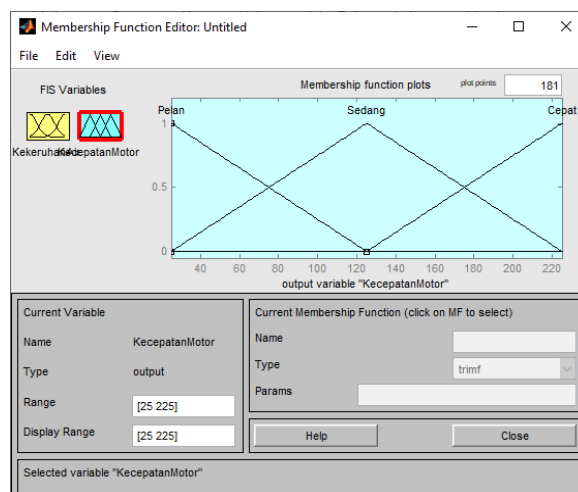
Rule ini menyatakan jika kekeruhan air sangat jernih maka kecepatan motor pump filter akan pelan.

2. *If (KekeruhanAir is Jernih) then (KecepatanMotor is Sedang)*

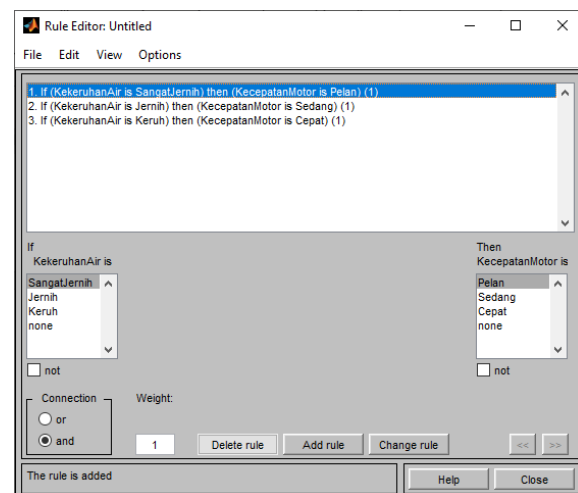
Rule ini menyatakan jika kekeruhan air jernih maka kecepatan motor pump filter akan sedang.

3. *If (KekeruhanAir is Keruh) then (KecepatanMotor is Cepat)*

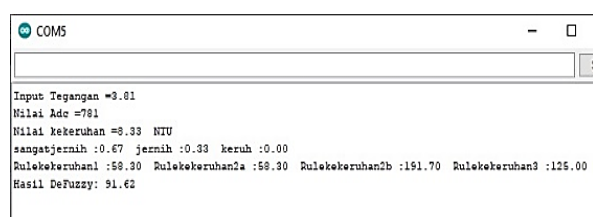
Rule ini menyatakan jika kekeruhan air keruh maka kecepatan motor pump filter akan cepat.



Gambar 10. Fungsi keanggotaan fuzzy inference system (FIS) untuk kendali kekeruhan air

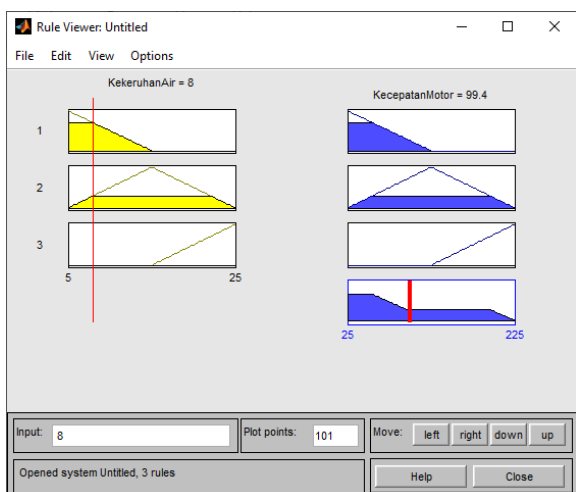


Gambar 11. Rule Editor Sistem Pengendai Tingkat Kekeruhan Air pada Matlab



Gambar 12. Tampilan Data Kekeruhan Air Pada Serial Monitor

Data suhu pada tampilan serial monitor ditunjukkan oleh Gambar 12. Gambar tersebut menunjukkan kekeruhan air aquascape yaitu 33 NTU. Angka-angka yang muncul di bawahnya adalah adalah nilai perhitungan derajat keanggotaan kekeruhan air, yaitu: sangat jernih, jernih dan dan keruh.



Gambar 13. Rule Viewer Sistem Pengendali Tingkat Kekeruhan Air Pada Matlab

Pada Gambar 12, serial monitor menunjukkan hasil *output defuzzifikasi* sebesar 91,62 sedangkan pada gambar 13 *output* pada *rule viewer* matlab menunjukkan 99,4. Atau terdapat selisih perhitungan sebesar 8,4%. Selanjutnya adalah menghitung nilai *defuzzifikasi* secara manual dengan metode *weighted average* (WA). Hasil perhitungan keseluruhan dari nilai *output* fuzzy yang ditunjukkan oleh nilai WA dan error dirangkum oleh Tabel 4.

$$WA = \frac{(Rule1 \times \mu_{Keruh}) + (Rule2a \times \mu_{S.Jernih}) + (Rule2b \times \mu_{Jernih}) + (Rule3 \times \mu_{Keruh})}{\mu_{Keruh} + \mu_{Jernih} + \mu_{Jernih} + \mu_{S.Jernih}} \quad (14)$$

$$WA = \frac{(58,30 \times 0,67) + (58,30 \times 0,33) + (191,70 \times 0,33) + (125 \times 0,00)}{0,67 + 0,33 + 0,33 + 0,00}$$

$$WA = \frac{121,56}{1,33}$$

$$WA = 91,39$$

Tabel 4. Output Fuzzy pengendali kekeruahn air

No	Suhu Air	Weighted average (WA)	Output		Error (%)
			Serial Monitor	Rule Viewer Matlab	
1	4	25	25	25	0 %
2	8	91,39	91,62	99,4	8 %
3	10	110,1	110,7	116,5	5,49 %
4	15	127,32	128,1	132	3,54 %
5	16	146,15	146,3	151,6	3,59 %
6	18	170,91	171	175,4	2,55 %
7	20	183,3	184,2	189,2	3,1 %
8	24	209,16	209,4	217,6	3,87 %
9	26	225	255	225	0 %
Rata - Rata Error					3,34 %

Hasil perhitungan menggunakan metode *weighted average* terdapat perbedaan *error* 3,34 % dengan *output* pada serial monitor dan *output* yang ditampilkan pada matlab. Dari hasil perbedaan tersebut dapat disimpulkan bahwa tingkat keakuratan model *Fuzzy Mamdani* sebesar 96,66 %.

3.3. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Sistem keseluruhan terdiri dari gabungan perangkat keras yang meliputi: modul sensor DS18B20, sensor turbidity, modul RTC, Arduino Uno, modul PWM DC, modul relay, LED, LCD 16 x 2, *motor pump* DC, *fan*, *peltier*, *heater* dan *power supply*. Keseluruhan perangkat keras dirakit dan dipasang pada aquascape. Pengujian sistem keseluruhan dimaksudkan untuk mengetahui kinerja sistem dari mulai input, proses dan output.



Gambar 14. Sistem keseluruhan aquaspace



Gambar 15. Pengujian Sistem Pengendali Suhu Air



Gambar 16. Pengujian Sistem Pengendali Kekeruhan Air

Pengujian dilakukan dengan memasukkan air ke dalam aquaspace pada 3 kondisi air berbeda, yaitu: sangat jernih, jernih dan keruh. Selain itu juga diuji pada kondisi: dingin, normal dan hangat. Komponen sistem yang telah terpasang ditunjukkan oleh Gambar 14. Kemudian catu daya, sensor, pemroses dan *display* diaktifkan agar semua komponen dapat beroperasi semestinya. Pengujian meliputi sistem pengendali suhu air ditunjukkan oleh Gambar 15 dan kekeruhan air ditunjukkan oleh Gambar 16. Hasil pengujian ditampilkan oleh penampil LCD.

Hasil pengujian adalah kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi suhu dan kekeruhan air, serta menghidupkan dan mematikan lampu pencahayaan sesuai waktu yang ditentukan. Sistem pengendali suhu air yang diuji mampu bekerja sesuai dengan perencanaan yaitu dapat mendeteksi suhu air dalam aquaspace. Begitu juga sistem pengendali kekeruhan air dapat mendeteksi tingkat kekeruhan air berupa sangat jernih, jernih dan keruh. Lampu pencahayaan dapat beroperasi hidup dan mati sesuai pengaturan waktu yang ditentukan.

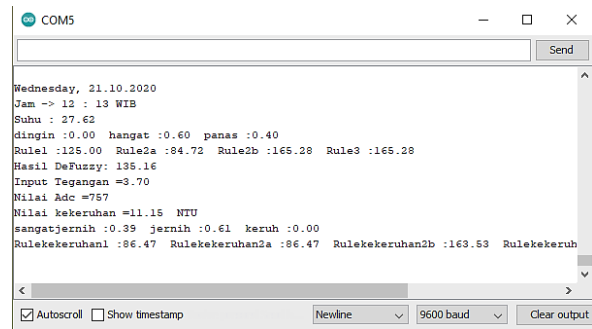


Gambar 17. Tampilan LCD (a) Menampilkan Data Suhu Air (b) Menampilkan Data Tingkat Kekeruhan Air (c) Menampilkan Data Waktu

Indikator kemampuan kerja sistem keseluruhan ditampilkan oleh LCD yang ditunjukkan oleh Gambar 17. Pada Gambar 17 point (a) LCD menunjukkan kondisi suhu air dan kecepatan motor, (b) LCD menunjukkan kondisi kekeruhan air dan kecepatan motor filter, sedang (c) LCD menunjukkan data waktu dimana lampu pencahayaan dalam kondisi mati.

Tampilan pada *serial monitor* pada gambar 18 menunjukkan data hasil pembacaan suhu air, tingkat kekeruhan air dan waktu. Selanjutnya pengujian dilakukan secara keseluruhan pada sistem aquascape dalam waktu yang berbeda untuk memastikan bahwa seluruh sistem

bekerja dengan baik. Hasil dari pengujian tersebut disajikan pada Tabel 5.



Gambar 18. menunjukkan tampilan LCD 16 x 2 saat (a) menampilkan data suhu air, (b) menampilkan data tingkat kekeruhan air, (c) menampilkan data waktu.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Input	Output				
	Jam	Suhu Air	Tingkat Kekeruhan Air	Kecepatan Motor Pump Cooling	Kecepatan Motor Pump Filter
06.25 WIB	22 °C	12,03 NTU	Sedang	Sedang	Mati
09.15 WIB	25 °C	11,56 NTU	Sedang	Sedang	Mati
12.13 WIB	28 °C	11,15 NTU	Cepat	Sedang	Mati
15.08 WIB	27 °C	12,20 NTU	Cepat	Sedang	Mati
17.02 WIB	23 °C	10,87 NTU	Sedang	Sedang	Mati
19.33 WIB	23 °C	11,54 NTU	Sedang	Sedang	Mati
21.00 WIB	22 °C	11,70 NTU	Sedang	Sedang	Menyalakan
00.45 WIB	22 °C	11,23 NTU	Sedang	Sedang	Menyalakan
04.54 WIB	22 °C	12,08 NTU	Sedang	Sedang	Mati

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian sistem keseluruhan aquascape pada waktu yang berbeda. Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa pada pukul 06.25 - 09.15 WIB pagi hari, sistem mendeteksi suhu air pada rentang 22 - 25°C, sehingga kecepatan motor pump cooling pada kondisi sedang, kecepatan motor pump filter sedang dan lampu pencahayaan mati. Pada pukul 12.13 - 15.08 WIB siang hari, sistem mendeteksi suhu air pada rentang 27 - 28°C, sehingga kecepatan motor pump cooling pada kondisi sedang, kecepatan motor pump filter sedang dan lampu pencahayaan mati. Pada pukul 21.00 - 04.54 WIB malam hari, sistem mendeteksi suhu air pada rentang 22°C, sehingga kecepatan motor pump cooling pada kondisi sedang, kecepatan motor pump filter sedang dan lampu pencahayaan menyala (hidup).

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan ketika sistem mendeteksi nilai suhu dengan kondisi normal, sistem kendali suhu air akan memerintahkan motor pump cooling bekerja pada kecepatan sedang, sedangkan pada

kondisi hangat maka motor pump cooling bekerja pada kecepatan cepat. Pada sistem pengendali tingkat kekeruhan air cenderung tidak ada perubahan yang signifikan dan stabil pada rentang 10 - 12 NTU dalam kategori jernih, hal ini menyebabkan motor pump filter bekerja sedang. Sedangkan untuk sistem pencahayaan lampu dalam kondisi mati setelah jam 03.00 WIB dan akan menyala ketika malam hari ketika di atas jam 19.00 WIB.

Dibandingkan dengan beberapa penelitian yang lain terkait dengan pengembangan aquaspace, maka ada beberapa hal yang dapat dipaparkan di sini. Triawan [13] pada papernya telah mengembangkan aquaspace dengan memantau permukaan, suhu dan pergantian air, namun belum dijelaskan bagaimana cara mengendalikan permukaan, suhu dan pergantian air. Rosyid [14] telah merancang dan mengimplementasikan alat pemantauan dan pengendalian pada aquascape untuk pH, suhu dan penerangan, namun belum dijelaskan bagaimana cara dan metode pengendalian yang digunakan. Sedangkan paper yang ditulis oleh Razo [15] alat penyiram tanaman *aquascape* otomatis berbasis arduino uno dan monitoring berbasis mobile belum mempertimbangkan kekeruhan air.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, sistem pemantauan dan pengendalian aquaspace telah dilakukan dengan menerapkan metode fuzzy dengan mempertimbangkan suhu dan kekeruhan air, serta lampu penerangan. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa seluruh sistem pada *aquascape* dapat menjaga kestabilan suhu air dan tingkat kekeruhan air serta dapat memberikan pencahayaan yang cukup pada tanaman air. kesimpulan yang dihasilkan adalah sistem pengendali suhu air dengan kendali logika Fuzzy dapat menjaga suhu air sekitar 22 °C sampai 25 °C dengan tingkat keberhasilan sebesar 99,08 %. Sistem pengendali tingkat kekeruhan air dengan kendali logika Fuzzy dapat menjaga tingkat kekeruhan air sekitar 5 NTU sampai 25 NTU dengan tingkat keberhasilan sebesar 96,66 %. Sistem pencahayaan dapat bekerja selama 8 jam perhari, mulai pukul 19.00 sampai 03.00. dan LCD 16x2 dapat menampilkan informasi nilai suhu air, nilai kekeruhan air dan waktu berupa teks sesuai dengan perancangan sistem.

Referensi

[1]. Hariyatno, Isanawikrama, D. Winpertiwi, and Y. Jhony Kurniawan, "Membaca Peluang Merakit 'Uang' Dari Hobi Aquascape," *J. Pengabdian Dan Kewirausahaan*, vol. 2, no. 2, pp. 117–125, 2018.

[2]. A. Nio Song, "Evolusi Fotosintesis pada Tumbuhan," *J. Ilm. Sains*, vol. 12, no. 1, p. 28, 2012, doi: 10.35799/jis.12.1.2012.398.

[3]. E. P. S. Sudjadi, "Pengaturan Cahaya Lampu Sebagai Fotosintesis Phytoplankton Buatan Dengan Menggunakan Mikrokontroler At89s52," *J. Ilm. Sains*, vol. 9, no. 1, pp. 11–14, 2005, doi: 10.12777/transmisi.7.1.11-14.

[4]. A. Brahmantika, "Sistem Otomatisasi Budidaya Tumbuhan Aquascape Berbasis Arduino UNO," *Semin. Has. Elektro S1 ITN Malang*, 2019.

[5]. M. Risal, "Sistem Kontrol Sirkulasi Air Dan Pemberian Pakan Pada Akuarium Ikan Hias," *J. IT*, vol. 8, no. 2, pp. 126–135, 2017.

[6]. F. I. Ubaidillah, I. Istiadi, and M. Mukhsim, "Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Rumah Jamur Dengan Metode Fuzzy Secara Wireless," *Simetris J. Tek. Mesin Elektro Dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 223–232, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.3975.

[7]. Lutfianto, F. Rofi'i, and M. Mukhsim, "Sistem Pengendalian Generator Set Secara Wireless Berbasis Arduino Dengan Modbus Tcp Dan Logika Fuzzy," *Tek. Eng. Sains J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2018.

[8]. N. Febrianto, E. Susanto, A. S. Wibowo, F. T. Elektro, and U. Telkom, "Rancang Bangun Kontrol Suhu Air Pada Prototipe Pemanas Air Menggunakan Logika Fuzzy," *J. IT*, vol. 3, no. 3, pp. 4253–4260, 2016.

[9]. F. Hunaini, I. Robandi, and N. Sutantra, "Sistem Kontrol Optimal Fuzzy-Particle Swarm Optimization," *J. Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap.*, 2018, doi: 10.32492/jintake.v9i1.720.

[10]. M. Ali, F. Hunaini, and G. Y. Hartlambang, "Optimisasi Kontrol Kemudi Mobil Listrik Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)," *Intake J. Penelit. Ilmu Tek. Dan Terap.*, 2015.

[11]. N. M. G. A. Pramesti, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Air Conditioner Dengan Fuzzy Logic," *J. IT*, vol. 3, no. 1, pp. 13–17, 2016.

[12]. L.-C. Duğu, G. Mauris, and P. Bolon, "A fast and accurate rule-base generation method for Mamdani fuzzy systems," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 26, no. 2, pp. 715–733, 2017.

[13]. Y. Triawan and J. Sardi, "Perancangan Sistem Otomatisasi Pada Aquascape Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 76–83, 2020.

[14]. M. Rosyid, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ALAT PEMANTAUAN DAN PENGENDALI PADA AQUASCAPE BERBASIS INTERNET OF THINGS," *JNANALOKA*, pp. 13–19, 2021.

[15]. A. Razo and H. Aprilianto, "Alat Penyiram Tanaman Aquascape Otomatis Berbasis Arduino Uno Dan Monitoring Berbasis Mobile," *Progresif J. Ilm. Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 83–88, 2020.