

Implementasi Sistem Pendeteksi Api 360 Derajat Dengan Metode *Multiplexer* Dan Logika *Fuzzy* Pada Robot Pemadam Api Beroda

Sigit Rolis¹, Haryanto², Kunto Aji Wibisono³, Miftachul Ulum⁴, Riza Alfita⁵ dan Adi Kurniawan Saputro⁶

¹Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang, PO BOX 2 Kamal, Bangkalan-Madura, 69162

e-mail: sigitrollis@gmail.com, haryanto@trunojoyo.ac.id, kunto.ajiw@trunojoyo.ac.id,
miftachul.ulum@trunojoyo.ac.id

Abstrak— Dalam bidang pendidikan, robot digunakan sebagai bahan riset dan pengembangan untuk menghasilkan sesuatu yang lebih baik. Salah satunya adalah robot pemadam api yang sering digunakan untuk mengatasi kebakaran yang terjadi pada suatu tempat. Masalah yang sering dihadapi dalam pengembangan robot pemadam api adalah pendeteksian dan penentuan titik api yang kurang akurat sehingga dapat memakan waktu yang cukup lama. Pada penelitian ini mengimplementasikan sistem pendeteksi api 360 derajat dengan metode *multiplexer* dan logika *fuzzy* untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dengan menggunakan sensor IR Receiver 940nm dan UV-Tron pendeteksian api akan lebih akurat. Kontrol sensor api menggunakan STM32F103 dengan metode *multiplexer* dan kontrol Motor DC menggunakan STM32F407 sehingga pemrosesan data bisa berjalan lebih cepat. Pengolahan input dan output pada sistem ini menggunakan metode logika *fuzzy* sehingga sistem bisa berjalan lebih halus dan memerlukan waktu yang lebih sedikit untuk menentukan dimana posisi api berada. Pengujian pemadaman 1 titik api sebanyak 12 kali memerlukan rata-rata waktu 9 detik, pemadaman 2 titik api sebanyak 6 kali memerlukan rata-rata waktu 25,16 detik, dan pemadaman 3 titik api sebanyak 4 kali memerlukan rata-rata waktu 37,75 detik.

Kata kunci: *Multiplexer, Logika Fuzzy, Robot Pemadam Api, IR Receiver 940nm, STM32*

Abstract— In the field of education, robots are used as research and development materials to produce something better. One of them is a fire fighting robot that is often used to extinguish fires that occur in one place. The problem that often occurs in the development of fire fighting robots is that the detection and determination of fire points is less accurate so that it can take quite a long time. In this study, implementing a 360 degrees fire detection system with *multiplexer* and *fuzzy logic* methods to solve these problems. By using 940nm IR Receiver sensor and UV-Tron fire detection will be more accurate. Fire sensor control uses STM32F103 with *multiplexer* method and DC Motor control uses STM32F407 so that data processing can run faster. Processing input and output on this system uses *fuzzy logic* methods so that the system can run smoother and requires less time to determine where the fire points are located. Extinguishing 1 hotspot 12 times takes average is 9 seconds, extinguishing 2 hotspots 6 times takes average is 25.16 seconds, and extinguishing 3 hotspots 4 times takes average is 37.75 seconds.

Keywords: *Multiplexer, Fuzzy Logic, Fire Fighting Robot, 940nm IR Receiver, STM32*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan robotika sangat berpengaruh dan berguna terhadap bidang kedokteran, pendidikan, industri, pertanian, kesehatan, rumah tangga, dan alat bantu. Dalam bidang pendidikan, robot digunakan sebagai bahan riset dan pengembangan untuk menghasilkan sesuatu yang lebih baik[1]. Di dalam dunia robotika terdapat berbagai macam robot dengan fungsi dan kegunaan yang berbeda-beda sesuai tujuan dari pembuat robot itu sendiri. Berbagai bentuk robot pun dikembangkan, salah satunya adalah robot bergerak. Robot bergerak diklasifikasikan menjadi 2 (dua)

jenis yaitu robot beroda dan robot berkaki. Robot beroda adalah robot yang mampu bergerak dengan menggunakan roda, baik dengan dua roda, empat roda atau lebih dari empat roda bahkan ada robot yang menggunakan satu roda saja[2]. Pada perkembangan dunia robotika semakin maju dan telah menghasilkan banyak peralatan yang diciptakan dengan maksud dapat memudahkan pekerjaan manusia, dapat dioperasikan secara manual ataupun otomatis, peralatan-peralatan otomatis tersebut juga telah berkembang dalam bentuk robot. Salah satu pekerjaan manusia yang dapat dilakukan oleh robot adalah pemadam kebakaran, peranan manusia untuk memadamkan api pada

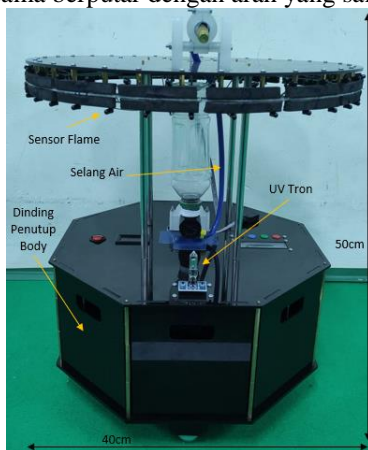
suatu tempat yang sulit atau bahkan berbahaya dapat digantikan[3].

Peristiwa kebakaran dapat terjadi dimana saja baik di tempat umum maupun perumahan. Mengingat rentannya peristiwa kebakaran maka sangat diperlukan Sistem keamanan pada gedung atau perumahan yang mampu mendeteksi peristiwa kebakaran secara dini sehingga tidak menimbulkan kerugian material dan korban jiwa[4]. Berdasarkan latar belakang diatas, penulis membuat robot dengan sistem pendeteksian api yang cepat dan akurat sehingga bisa meminimalisir waktu untuk memadamkan api dan mengurangi adanya korban jiwa. Pada robot ini menggunakan sistem *multiplexer* dan logika *fuzzy* untuk mendeteksi titik api berada. Metode tersebut dapat lebih cepat menemukan titik api daripada dengan metode pendeteksian manual. Robot ini menggunakan sensor *IR Receiver 940nm* dan *UV Tron*. Sensor *IR Receiver 940nm* digunakan untuk mendeteksi titik api dengan sudut 360° sehingga tidak ada titik buta pada robot tersebut untuk mendeteksi api. Sensor *UV Tron* digunakan untuk menentukan di sekitar robot ada api atau tidak karena sensor ini sangat akurat apabila digunakan untuk mendeteksi api. Dan yang terakhir robot memadamkan api dengan *waterpump* yang terpasang pada bodi robot.

II. STUDI PUSTAKA

A. Robot Beroda

Robot beroda adalah sebuah robot yang bergerak dengan menggunakan roda. Robot beroda memiliki banyak jenis, diantaranya adalah robot beroda 1, robot beroda 2, robot beroda 3, dan robot beroda 4[3]. Sesuai dari namanya robot beroda 2 adalah jenis *mobile* robot yang bergerak menggunakan 2 roda[5]-[8]. Dibanding dengan robot beroda 3 atau beroda 4, secara *manuver* robot ini memiliki tingkat kelincahan yang lebih tinggi tentunya juga memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi[19]-[21]. Karena 1 roda akan berhenti dan 1 roda lainnya akan berputar pada saat robot akan belok, dan pada saat berjalan lurus kedua roda sama-sama berputar dengan arah yang sama[23].

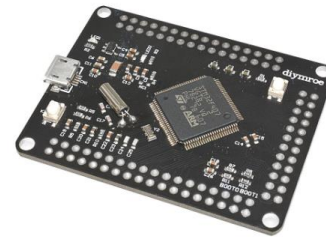


Gambar 1. Robot Beroda

B. Mikrokontroler STM32

Mikrokontroler *STM32F407VGT6* adalah salah satu mikrokontroler keluarga STM32 (tepatnya *STM32F4xxx*) yang diproduksi oleh STMicroelectronics[16]. Mikrokontroler ini adalah μC yang tergolong sebagai *medium-density devices* (1024 Kbytes)[17]. Pada catatan

terdahulu tentang *Maple Mini*, sebenarnya μC *STM32F407VGT6* inilah yang dipergunakan sebagai inti di sistem itu[18].

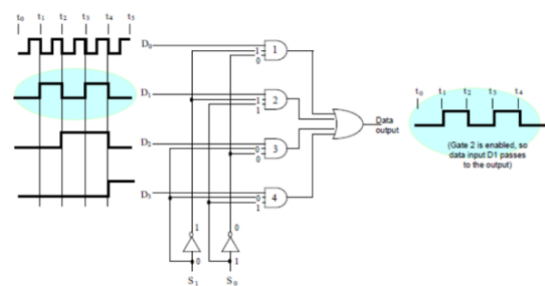


Gambar 2. *STM32F407VGT6*

III. METODE

A. Sistem Multiplexer

Sistem *Multiplexer* sering disebut sebagai *Mux* atau *Mpx* untuk mempermudah pengucapan. Sistem ini adalah susunan logika yang memiliki beberapa jalur input, kemudian memindahkannya pada sebuah jalur output saja. Rangkaian digital ini memiliki kecepatan sangat tinggi dalam meneruskan perintah yang sudah diseleksi dengan beberapa logika untuk dipindahkan ke satu jalur[9]. Perintah berupa sinyal digital atau biner diubah menjadi sinyal analog menggunakan transistor untuk kemudian diteruskan ke proses selanjutnya[10]. Prinsip kerjanya adalah *multiplexer* akan menerima banyak input data, kemudian hanya mengizinkan (memilih) salah satu input data untuk dilewatkan atau diteruskan menjadi output dalam waktu tertentu. Pemilihan input data yang akan dikeluarkan lewat output pada *multiplexer* disebut selector line atau input *SELECT*. Sebuah *multiplexer* memiliki sejumlah N input dan sejumlah M selector dengan 1 output. Jumlah N input adalah 2^M selector[22].

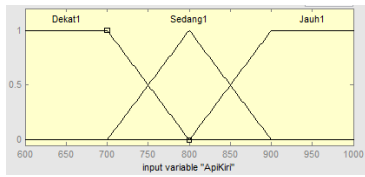


Gambar 3. *Multiplexer* Sebagai Data Selektor

B. Sistem Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* dikembangkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California USA, pada tahun 1965. Zadeh memodifikasi teori himpunan, dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan antara 0 sampai 1 yang disebut dengan himpunan kabur[2]. Pada logika *fuzzy* sebuah nilai bisa benar dan salah secara bersamaan namun berapa besar nilai kebenaran dan kesalahan tergantung pada bobot keanggotaannya[11]-[12]. Sistem *Fuzzy* terdiri dari 4 komponen yaitu basis aturan *Fuzzy*, mesin inferensi *Fuzzy*, pembuat *Fuzzy* (*fuzzifier*), dan penegasan (*defuzzifier*)[13]-[15].

Pada sistem *fuzzy* di penelitian ini terdapat beberapa variabel *fuzzy* yaitu api kiri dan api kanan sebagai variabel input dan *PWM* sebagai variabel output.



Gambar 4. Diagram Logika Fuzzy

Keanggotaan *dekat1*:

$$\begin{cases} 1, & x \leq 700 \\ \frac{800 - x}{100}, & 700 \leq x \leq 800 \\ 0, & x \geq 800 \end{cases} \quad (1)$$

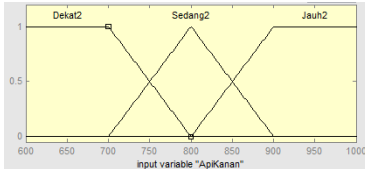
Keanggotaan *sedang1*:

$$\begin{cases} 0, & x \leq 700 \\ \frac{x - 700}{100}, & 700 \leq x \leq 800 \\ \frac{900 - x}{100}, & 800 \leq x \leq 900 \\ 0, & x \geq 900 \end{cases} \quad (2)$$

Keanggotaan *jauh1*:

$$\begin{cases} 0, & x \leq 800 \\ \frac{x - 800}{100}, & 800 \leq x \leq 900 \\ 1, & x \geq 900 \end{cases} \quad (3)$$

Pada variabel input kedua yaitu *api kanan* terdapat fungsi keanggotaan yang mempunyai nilai input berdasarkan nilai sensor api sebelah kanan yang diterima oleh mikrokontroler.



Gambar 5. Diagram Logika Fuzzy

Keanggotaan *dekat2*:

$$\begin{cases} 1, & x \leq 700 \\ \frac{800 - x}{100}, & 700 \leq x \leq 800 \\ 0, & x \geq 800 \end{cases} \quad (4)$$

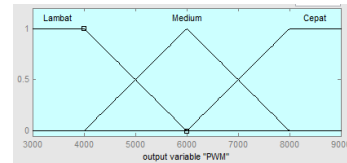
Keanggotaan *sedang2*:

$$\begin{cases} 0, & x \leq 700 \\ \frac{x - 700}{100}, & 700 \leq x \leq 800 \\ \frac{900 - x}{100}, & 800 \leq x \leq 900 \\ 0, & x \geq 900 \end{cases} \quad (5)$$

Keanggotaan *jauh2*:

$$\begin{cases} 0, & x \leq 800 \\ \frac{x - 800}{100}, & 800 \leq x \leq 900 \\ 1, & x \geq 900 \end{cases} \quad (6)$$

Pada variabel output yaitu *PWM* terdapat fungsi keanggotaan yang mempunyai nilai berdasarkan nilai sinyal *PWM* yang dikirim oleh mikrokontroler. Pada output *PWM* ini nilai yang diproses adalah nilai asli *PWM* yang dikirim oleh mikrokontroler *STM32F407VGT6* ke driver motor *L298N* yaitu berkisar antara 0 hingga 8399.



Gambar 6. Diagram Logika Fuzzy

Keanggotaan *lambat*:

$$\begin{cases} 1, & x \leq 4000 \\ \frac{6000 - x}{2000}, & 4000 \leq x \leq 6000 \\ 0, & x \geq 6000 \end{cases} \quad (7)$$

Keanggotaan *medium*:

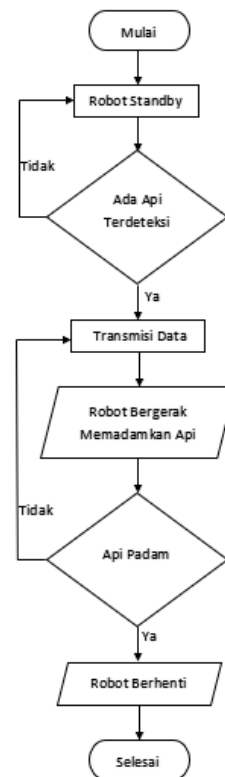
$$\begin{cases} 0, & x \leq 4000 \\ \frac{x - 4000}{2000}, & 4000 \leq x \leq 6000 \\ \frac{8000 - x}{2000}, & 6000 \leq x \leq 8000 \\ 0, & x \geq 8000 \end{cases} \quad (8)$$

Keanggotaan *cepat*:

$$\begin{cases} 0, & x \leq 6000 \\ \frac{x - 6000}{2000}, & 6000 \leq x \leq 8000 \\ 1, & x \geq 8000 \end{cases} \quad (9)$$

C. Flowchart Sistem

Untuk *flowchart* dari sistem yang dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Flowchart Sistem

Dari gambar *flowchart* yaitu robot *standby* atau diam kemudian apabila mendeteksi adanya api maka lanjut ke proses selanjutnya dan apabila tidak mendeteksi adanya api maka akan robot akan kembali ke *standby*. Selanjutnya apabila robot mendeteksi adanya api akan menuju proses transmisi data dan kemudian data diolah oleh mikrokontroler. Kemudian robot bergerak menuju titik api dan memadamkannya. Apabila api sudah padam maka akan

menuju proses selanjutnya dan apabila api belum padam makan robot akan kembali lagi menuju ke transmisi data kemudian robot akan bergerak menuju titik api dan memadamkannya. Apabila api sudah padam maka robot akan berhenti dan misi selesai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Api *Multiplexer*

Pengujian Sensor Api *Multiplexer* pada robot pemadam api beroda bertujuan untuk mengetahui berapa nilai yang dihasilkan oleh sensor api sebanyak 16 input yang disusun menghadap ke segala arah (360 derajat) yang akan diproses menggunakan *multiplexer CD74HC4067* kemudian data *multiplexer* akan diproses oleh mikrokontroler *STM32F103C8T6* dan yang terakhir data akan dikirim ke mikrokontroler *STM32F407VGT6*.

Pengujian sensor api didapatkan nilai asli *ADC* dimana tidak terdapat satuan pada nilai tersebut. Maka dari itu dilakukan konversi menjadi nilai tegangan yang bertujuan untuk memperoleh satuan yaitu volt. Konversi nilai tersebut dapat dihitung menggunakan rumus perbandingan sederhana sebagai berikut.

$$\frac{ADC}{ADC_{max}} = \frac{V_{api}}{V_{max}} \tag{10}$$

ADC merupakan nilai yang didapat oleh sensor api, *ADC_{max}* merupakan nilai maksimal *ADC* yaitu 1023, *V_{api}* merupakan nilai yang diperoleh sensor api yang sudah dikonversi dari *ADC*, *V_{max}* merupakan nilai maksimal dari *V_{api}* yaitu sebesar 5V. Hasil konversi dari nilai *ADC* ke *V_{api}* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Pengujian Sensor Api

Jarak Input	10cm	20cm	30cm	Tanpa Api
Channel 1	1.26V	3.23V	3.72V	5V
Channel 2	1.28V	3.21V	3.70V	5V
Channel 3	1.30V	3.24V	3.71V	5V
Channel 4	1.32V	3.22V	3.77V	5V
Channel 5	1.29V	3.30V	3.74V	5V
Channel 6	1.26V	3.31V	3.72V	5V
Channel 7	1.32V	3.22V	3.80V	5V
Channel 8	1.31V	3.30V	3.78V	5V
Channel 9	1.28V	3.34V	3.76V	5V
Channel 10	1.33V	3.29V	3.76V	5V
Channel 11	1.31V	3.33V	3.75V	5V
Channel 12	1.30V	3.22V	3.71V	5V
Channel 13	1.34V	3.24V	3.78V	5V
Channel 14	1.32V	3.25V	3.71V	5V
Channel 15	1.33V	3.28V	3.74V	5V
Channel 16	1.33V	3.26V	3.77V	5V
Rata-Rata	1.31V	3.27V	3.75V	5V

B. Pengujian *PWM* Motor

Pengujian *PWM (Pulse Width Modulation)* Motor pada robot pemadam api beroda bertujuan untuk mengetahui seberapa nilai *PWM* yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor sesuai yang kita inginkan. *PWM* Motor ini dikontrol oleh mikrokontroler *STM32F407VGT6*. Berikut adalah hasil pengujian *PWM* pada motor sebanyak 11 kali berdasarkan besar *duty cycle* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Pengujian *PWM* Motor

<i>Duty Cycle</i>	V Hasil Hitung	V Hasil Ukur	Kesalahan	Persentase Kesalahan	Persentase Keberhasilan
0%	0V	0V	0	0%	100%
10%	1.2V	1.16V	0.04	0.33%	99.67%
20%	2.4V	2.35V	0.05	0.41%	99.59%
30%	3.6V	3.55V	0.05	0.41%	99.59%
40%	4.8V	4.74V	0.06	0.50%	99.50%
50%	6V	5.95V	0.05	0.41%	99.59%
60%	7.2V	7.13V	0.07	0.58%	99.42%
70%	8.4V	8.32V	0.08	0.66%	99.34%
80%	9.6V	9.51V	0.09	0.75%	99.25%
90%	10.8V	10.71V	0.09	0.75%	99.25%
100%	12V	11.91V	0.09	0.75%	99.25%
Rata-rata			0.054	0.45%	99.55%

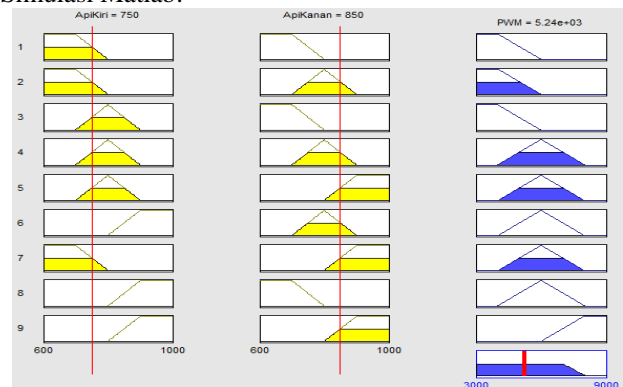
C. Pengujian Sistem Logika *Fuzzy*

Pengujian sistem *fuzzy* pada robot pemadam api beroda ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengolahan sistem di dalam robot ini menggunakan metode logika *fuzzy*. Pada sistem robot pemadam api beroda ini mempunyai 2 input yaitu *api kiri* dan *api kanan*. Dan juga mempunyai 1 output yaitu berupa *PWM*.

Nilai input untuk yang kita pakai dalam pengujian sistem logika *fuzzy*:

Api kanan = 750 dan *Api kiri* = 850

Simulasi Matlab:



Gambar 8. Percobaan Sistem Logika *Fuzzy* Simulasi Matlab

Pada hasil simulasi matlab dengan input *api kiri* 750 dan *api kanan* 850 menghasilkan output *PWM* sebesar 5240.

Pemrograman Mikrokontroler:

```

Api Kiri = 750
Api Kanan = 850
Result:
    PWM = 5259

Api Kiri = 750
Api Kanan = 850
Result:
    PWM = 5259
    
```

Gambar 9. Percobaan Sistem Logika *Fuzzy* Pemrograman Mikrokontroler

Pada hasil pemrograman mikrokontroler dengan input *api kiri* 750 dan *api kanan* 850 menghasilkan output *PWM* sebesar 5259. Hasil yang didapatkan dengan metode pemrograman mikrokontroler terdapat selisih sebanyak 19 dibandingkan dengan metode simulasi matlab.

Perhitungan Manual:

Api Kiri = 750

$$\text{Dekat1: } \frac{800-x}{100} = \frac{800-750}{100} = \frac{50}{100} = 0.5$$

$$\text{Sedang1: } \frac{x-700}{100} = \frac{750-700}{100} = \frac{50}{100} = 0.5$$

Jauh1 = 0

Api Kanan = 850

Dekat2 = 0

$$\text{Sedang2: } \frac{900-x}{100} = \frac{900-850}{100} = \frac{50}{100} = 0.5$$

$$\text{Jauh2: } \frac{x-800}{100} = \frac{850-800}{100} = \frac{50}{100} = 0.5$$

Inferensi:

[R2] If (*ApiKiri* is *Dekat1*) and (*ApiKanan* is *Sedang2*) then (*PWM* is *Lambat*)

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat2} &= \mu_{\text{dekat1}}[x] \cap \mu_{\text{sedang2}}[x] \\ &= \min(\mu_{\text{dekat1}}[750]; \mu_{\text{sedang2}}[850]) \\ &= \min(0.5; 0.5) \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

[R4] If (*ApiKiri* is *Sedang1*) and (*ApiKanan* is *Sedang2*) then (*PWM* is *Medium*)

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat4} &= \mu_{\text{sedang1}}[x] \cap \mu_{\text{sedang2}}[x] \\ &= \min(\mu_{\text{sedang1}}[750]; \mu_{\text{sedang2}}[850]) \\ &= \min(0.5; 0.5) \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

[R5] If (*ApiKiri* is *Sedang1*) and (*ApiKanan* is *Jauh2*) then (*PWM* is *Medium*)

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat5} &= \mu_{\text{sedang1}}[x] \cap \mu_{\text{jauh2}}[x] \\ &= \min(\mu_{\text{sedang1}}[750]; \mu_{\text{jauh2}}[850]) \\ &= \min(0.5; 0.5) \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

[R7] If (*ApiKiri* is *Dekat1*) and (*ApiKanan* is *Jauh2*) then (*PWM* is *Medium*)

$$\begin{aligned} \alpha - \text{predikat4} &= \mu_{\text{dekat1}}[x] \cap \mu_{\text{jauh2}}[x] \\ &= \min(\mu_{\text{dekat1}}[750]; \mu_{\text{jauh2}}[850]) \\ &= \min(0.5; 0.5) \\ &= 0.5 \end{aligned}$$

Luas Daerah Yang Dihasilkan:

[R2] If (*ApiKiri* is *Dekat1*) and (*ApiKanan* is *Sedang2*) then (*PWM* is *Lambat*)



Gambar 10. Luas Daerah Dari Aturan 2 *Inferensi Fuzzy*

[R4] If (*ApiKiri* is *Sedang1*) and (*ApiKanan* is *Sedang2*) then (*PWM* is *Medium*)



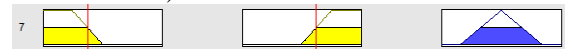
Gambar 11. Luas Daerah Dari Aturan 4 *Inferensi Fuzzy*

[R5] If (*ApiKiri* is *Sedang1*) and (*ApiKanan* is *Jauh2*) then (*PWM* is *Medium*)



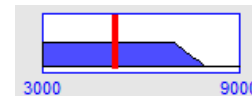
Gambar 12. Luas Daerah Dari Aturan 5 *Inferensi Fuzzy*

[R7] If (*ApiKiri* is *Dekat1*) and (*ApiKanan* is *Jauh2*) then (*PWM* is *Medium*)



Gambar 13. Luas Daerah Dari Aturan 7 *Inferensi Fuzzy*

Total Luas Daerah:



Gambar 14. Total Luas Daerah *Inferensi Fuzzy*

Defuzzifikasi Centroid:

$$z = \frac{\int \mu[x](z)z dz}{\int \mu[x](z) dz}$$

$$z = \frac{\sum M}{\sum A}$$

$$M1 = \int_{3000}^{7000} 0.5z dz$$

$$M1 = 0.5 \int_{3000}^{7000} z dz$$

$$M1 = 0.5 \left[\frac{1}{2} z^2 \right]_{3000}^{7000}$$

$$M1 = 0.25z^2 \Big|_{3000}^{7000}$$

$$M1 = 12250000 - 2250000$$

$$M1 = 10000000$$

$$M2 = \int_{7000}^{8000} \left(\frac{8000 - Z}{2000} \right) z dz$$

$$M2 = \int_{7000}^{8000} (4z - 0.0005z^2) dz$$

$$M2 = 2z^2 - 0.000166666667z^3 \Big|_{7000}^{8000}$$

$$M2 = (128000000 - 85333334)$$

$$- (98000000 - 57166667)$$

$$M2 = 42666666 - 40833333$$

$$M2 = 1833333$$

$$A1 = p \times l$$

$$A1 = 4000 \times 0.5$$

$$A1 = 2000$$

$$A2 = \frac{1}{2} \times a \times t$$

$$A2 = \frac{1}{2} \times 1000 \times 0.5$$

$$A2 = 250$$

$$z = \frac{M1 + M2}{A1 + A2}$$

$$z = \frac{10000000 + 1833333}{2000 + 250}$$

$$z = \frac{11833333}{2250}$$

$$z = 5259.26$$

Pada hasil pengujian dengan metode perhitungan manual mendapatkan hasil output *PWM* sebesar 5259.26 yang berarti nilainya hampir sama dengan hasil dari metode pemrograman mikrokontroler yang menghasilkan output *PWM* sebesar 5259.

D. Pengujian Pemadaman 1 Titik Api

Pada pengujian pemadaman 1 titik api ini dilakukan sebanyak 12 kali dengan letak api yang berbeda-beda berdasarkan sudut dari robot. Hasil pengujian pemadaman 1 titik api dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Pengujian Pemadaman 1 Titik Api

No	Posisi Api		Waktu
	Jarak	Sudut	
1	80 cm	0	7 detik
2	80 cm	30	9 detik
3	80 cm	60	9 detik
4	80 cm	90	9 detik
5	80 cm	120	9 detik
6	80 cm	150	11 detik
7	80 cm	180	9 detik
8	80 cm	210	9 detik
9	80 cm	240	10 detik
10	80 cm	270	9 detik
11	80 cm	300	9 detik
12	80 cm	330	8 detik

Pada pengujian pemadaman 1 titik api sebanyak 12 kali dengan posisi api yang berbeda-beda mendapatkan hasil maksimal robot memadamkan api tercepat dengan waktu 7 detik dan mendapat waktu terlama 11. Pada pengujian ini mendapatkan rata-rata waktu 9 detik.

E. Pengujian Pemadaman 2 Titik Api

Pada pengujian pemadaman 2 titik api ini dilakukan sebanyak 6 kali dengan letak api 1 dan api 2 yang berbeda-beda berdasarkan sudut dari robot. Hasil pengujian pemadaman 2 titik api dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Pengujian Pemadaman 2 Titik Api

No	Posisi Api		Waktu
	Sudut 1	Sudut 2	
1	0	90	23 detik
2	0	180	18 detik
3	0	270	30 detik
4	90	180	20 detik
5	90	270	38 detik
6	180	270	22 detik

Pada pengujian pemadaman 2 titik api sebanyak 6 kali dengan posisi api 1 dan api 2 yang berbeda-beda mendapatkan hasil maksimal robot memadamkan api tercepat dengan waktu 18 detik dan mendapat waktu terlama 38. Pada pengujian ini mendapatkan rata-rata waktu 25,16 detik.

F. Pengujian Pemadaman 3 Titik Api

Pada pengujian pemadaman 3 titik api ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan letak api 1, api 2, dan api 3 yang berbeda-beda berdasarkan sudut dari robot. Hasil pengujian pemadaman 3 titik api dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Pengujian Pemadaman 3 Titik Api

No	Posisi Api			Waktu
	Sudut 1	Sudut 2	Sudut 3	
1	0	90	180	36 detik
2	0	90	270	38 detik
3	0	180	270	37 detik
4	90	180	270	40 detik

Pada pengujian pemadaman 3 titik api sebanyak 6 kali dengan posisi api 1, api 2, dan api 3 yang berbeda-beda mendapatkan hasil maksimal robot memadamkan api tercepat dengan waktu 36 detik dan mendapat waktu terlama 40 detik pada. Pada pengujian ini mendapatkan rata-rata waktu 37,75 detik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian hasil perancangan, implementasi dan hasil pengujian alat dan sistem yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa dari hasil penelitian ini dapat menciptakan robot pemadam api beroda yang dapat mendeteksi api dengan cepat dan efisien. Dari hasil pengujian pemadaman 1 titik api sebanyak 12 kali pengujian memerlukan rata-rata waktu 9 detik, pemadaman 2 titik api sebanyak 6 kali pengujian memerlukan rata-rata waktu 25,16 detik, dan pemadaman 3 titik api sebanyak 4 kali memerlukan rata-rata waktu 37,75 detik. Pengujian sistem multiplexer pada sistem pendeteksi api dengan input sebanyak 16 channel yang disusun membentuk lingkaran 360 derajat menghasilkan nilai output dengan sensitivitas sensor terhadap api yang sama baiknya di setiap channel. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem multiplexer yang diterapkan dapat berjalan dengan baik. Pengujian sistem logika fuzzy dengan metode simulasi, pemrograman, dan perhitungan manual menghasilkan output yang mempunyai selisih sangat sedikit. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem logika fuzzy yang diterapkan dapat berjalan dengan baik.

REFERENSI

- [1] M. Kali, J. Tarigan, and A. Louk, "Sistem Alarm Kebakaran Menggunakan Sensor Infra Red dan Sensor Suhu Berbasis Arduino Uno," *J. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–31, 2016.
- [2] F. Maspiyanti and N. Hadiyanti, "Robot Pemadam Api Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 3, no. 2, p. 10, 2017.
- [3] K. Kadam, A. Bidkar, V. Pimpale, D. Doke, and R. Patil, "Fire Fighting Robot," *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, vol. 7, no. 01, pp. 23383–23485, 2018.
- [4] V. Mangayarkarasi, "Remote Controlled Fire Fighting Robot," *Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. Volume-2, no. Issue-5, pp. 820–826, 2018.
- [5] M. Diwanji, S. Hisvankar, and C. Khandelwal, "Autonomous fire detecting and extinguishing robot," *2019 2nd Int. Conf. Intell.*

- Commun. Comput. Tech. ICCT 2019*, pp. 327–329, 2019.
- [6] S. Ramasubramanian, S. A. Muthukumaraswamy, and A. Sasikala, “Fire Detection using Artificial Intelligence for Fire-Fighting Robots,” *Proc. Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICICCS 2020*, no. Iciccs, pp. 180–185, 2020.
- [7] Y. D. Widiarto, M. E. I. Najoan, M. D. Putro, and J. T. Elektro-ft, “Sistem Penggerak Robot Beroda Vacuum Cleaner Berbasis Mini Computer Raspberry Pi,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 25–32, 2018.
- [8] P. Anantha Raj and M. Srivani, “Internet of Robotic Things Based Autonomous Fire Fighting Mobile Robot,” *2018 IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Comput. Res. ICCIC 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [9] Ravita, A. Garg, and A. Sharma, “Multiplexer Based Logic Gates Design Using Ballistic Deflection Transistors,” no. Icces, pp. 99–103, 2020.
- [10] S. Gschobmann, Y. Zhao, and M. Schagerl, “Development of data acquisition devices for electrical impedance tomography of composite materials,” *ECCM 2016 - Proceeding 17th Eur. Conf. Compos. Mater.*, no. July, 2016.
- [11] S. Batubara, “Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani Dan Fuzzy Sugeno Untuk Penentuan Kualitas Cor Beton Instan,” *It J. Res. Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [12] A. Siswanto, “Implementasi Logika Fuzzy Pada Robot Beroda Untuk Menentukan Arah Jalan Keluar Dari Suatu Ruang,” *Processor*, vol. 13, no. 2, pp. 1270–1286, 2018.
- [13] A. Wajiansyah, S. Supriadi, S. Nur, and A. B. Wicaksono P, “Implementasi Fuzzy Logic Pada Robot Line Follower,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 4, p. 395, 2018.
- [14] W. Fei, B. Hexiang, L. Deyu, and W. Jianjun, “Energy-Efficient Clustering Algorithm in Underwater Sensor Networks Based on Fuzzy C Means and Moth-Flame Optimization Method,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 97474–97484, 2020.
- [15] Dairoh, M. Khambali, and T. Mustofa, “Jurnal Fisika Flux Implementasi Fuzzy Logic dalam Pembuatan Kontrol Navigasi,” vol. 16, p. 8, 2019.
- [16] G. A. Trinandana, A. W. Pratama, E. Prasetyono, and D. O. Anggriawan, “Real Time State of Charge Estimation for Lead Acid Battery Using Artificial Neural Network,” *Proc. - 2020 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Humanification Reliab. Intell. Syst. ISITIA 2020*, no. 1, pp. 363–368, 2020.
- [17] A. Hmidet and O. Hasnaoui, “Waijung Blockset-STM32F4 Environment for Real Time Induction Motor Speed Control,” *Colloq. Inf. Sci. Technol. Cist*, vol. 2018-October, pp. 600–605, 2018.
- [18] D. T. Thinh, N. B. H. Quan, and N. Maneetien, “Implementation of Moving Average Filter on STM32F4 for Vibration Sensor Application,” *Proc. 2018 4th Int. Conf. Green Technol. Sustain. Dev. GTSD 2018*, pp. 627–631, 2018.
- [19] M. Kanwar and L. Agilandeswari, “IoT Based Fire Fighting Robot,” *2018 7th Int. Conf. Reliab. Infocom Technol. Optim. Trends Futur. Dir. ICRITO 2018*, pp. 718–723, 2018.
- [20] S. Gao, Z. Zhang, Z. Zhao, and M. M. Jamali, “Vision and infra-red sensor based fire fighting robot,” *Midwest Symp. Circuits Syst.*, vol. 2018-Augus, pp. 873–876, 2019.
- [21] D. Darussalam and A. Azwardi, “Penggunaan IR Flame Sensor Sebagai Sistem Pendeteksi Api Berbasis Mikrokontroler pada Simulator Fire Suppression System,” *Semin. Nas. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 603–611, 2019.
- [22] Julsam, R. Sk, Kartika, and Mulyadi, “Penggunaan Modul Multiplexer CD74HC4067 Untuk Menambah Input Analog Pada NodeMcu ESP8266,” vol. 3, no. 1, pp. 363–367, 2019.
- [23] A. J. Crompton, K. A. A. Gamage, A. Jenkins, and D. Trivedi, “Detecting Alpha-induced Radioluminescence in the UVC Wavelength Range Using a UVTron Flame Sensor, and the Effect of a Gas Flow on Detection Rates as Compared to an Air Atmosphere,” *2018 IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imaging Conf. NSS/MIC 2018 - Proc.*, pp. 1–4, 2018.