

Implementasi Metode Logika *Fuzzy* Sugeno Pada Prototipe Robot Pemadam Api Dengan Kemampuan Navigasi

Dessy Iztamia Shema

PT. Angkasa Pura II, Jakarta
dessyiztamia@gmail.com

Abstrak—Robot pemadam api merupakan robot yang mempunyai misi untuk melakukan salah satu tugas manusia yang berbahaya, yaitu tugas pemadam kebakaran. Ia memiliki tujuan untuk mencari dan memadamkan api secara otomatis di dalam sebuah arena sebagai simulasi dari sebuah bangunan. Dengan menggunakan robot ini, diharapkan pekerjaan tersebut dapat dilakukan tanpa mengancam nyawa petugas pemadam kebakaran. Untuk membangun prototipe robot pemadam api otomatis, diperlukan sistem navigasi yang handal agar robot dapat mencari dan mencapai titik api dengan cepat dan tepat. Pada jurnal ini dibahas sebuah prototipe robot pemadam api dengan algoritma pengikut dinding menggunakan pengendali logika *fuzzy*. Metode logika *fuzzy* digunakan sebagai pengendali kecepatan motor untuk navigasi robot saat menelusuri dinding sebelah kiri arena, mencapai target api, serta kembali ke *home* dengan masukan berupa jarak robot terhadap objek di sekitarnya. Jarak ini didapat dari penginderaan dua sensor ultrasonik yang dipasang di sebelah kiri dan serong kiri robot. Sistem diuji coba dengan menjalankan robot pada sebuah arena dimana terdapat dua buah lilin sebagai target api dan satu buah *home*. Setelah sistem dievaluasi, robot berhasil dibangun dan memenuhi tujuan yang ingin dicapai, yaitu robot dapat melakukan navigasi tanpa menabrak dinding, mendeteksi api, dan berhenti di *home* dengan persentase keberhasilan 100%, serta mampu memadamkan api dengan tingkat keberhasilan 65%.

Kata Kunci—*Arduino, Logika Fuzzy, Robot Pemadam Api, Robot Wall Follower, Sensor Ultrasonik.*

DOI: 10.22441/jte.2022.v13i1.010

I. PENDAHULUAN

Teknologi berkembang sangat pesat seiring dengan berjalannya kemajuan ilmu pengetahuan. Salah satu bentuk teknologi tersebut dapat kita temui dalam peralatan-peralatan otomatis yang mampu membantu kita, dimana dalam perkembangannya peralatan-peralatan otomatis tersebut sudah berkembang dalam bentuk robot. Salah satu robot yang dikembangkan untuk melakukan pekerjaan yang rumit, berbahaya dan memerlukan ketepatan adalah robot pemadam api. Menurut data statistik jakartafire.net menyatakan bahwa terhitung semenjak tahun 2016 hingga 2020, kebakaran di Jakarta terjadi sebanyak 7.073 kali, dalam artian selama satu tahun kebakaran terjadi lebih dari 1.400 kali. Hal ini menjelaskan bahwa frekuensi terjadinya bencana tersebut di Jakarta masih sangat tinggi, dimana resiko yang ditimbulkan dapat membahayakan nyawa tim pemadam kebakaran.

Robot pemadam api merupakan robot yang mempunyai misi untuk mencari dan memadamkan api secara otomatis di dalam arena sebagai simulasi dari sebuah bangunan. Untuk

membangun robot otomatis, diperlukan sistem navigasi yang handal agar robot dapat mencari dan mencapai titik api dengan cepat dan tepat. Salah satu algoritma untuk navigasi robot yang dapat digunakan adalah pengikut dinding (*wall following*) dengan menggunakan metode logika *fuzzy*. [1][2] Pengendali berbasis logika *fuzzy* merupakan metode kendali cerdas yang dapat menirukan pengalaman manusia dalam menangani ketidakpastian dalam bentuk aturan agar dapat mengontrol sistem secara otomatis. Logika *fuzzy* mampu bekerja secara adaptif dan fleksibel sehingga dapat menyesuaikan dengan keadaan *input* yang selalu mengalami perubahan. [3] Dengan menerapkan logika *fuzzy* pada robot *wall follower* pemadam api, diharapkan robot yang memiliki kemampuan untuk bernavigasi dengan handal dapat dibangun.

II. PENELITIAN TERKAIT

Banyak peneliti telah memanfaatkan logika *fuzzy* dalam mengembangkan pengontrol untuk perilaku *wall following* pada *mobile* robot. Pada [1] menjelaskan desain dan implementasi pengendali cerdas berbasis logika *fuzzy* untuk navigasi *wall following mobile robot*. Jarak robot dari dinding dibaca dengan bantuan tiga sensor ultrasonik yang diumpankan ke pengontrol logika *fuzzy* yang menghasilkan perintah motor agar robot mengikuti dinding di sisi kirinya pada jarak yang ditentukan. Robot prototipe diuji di lingkungan dunia nyata yang berupa dinding yang memiliki lintasan lurus, melengkung dan persegi. Robot berhasil mengikuti dinding dengan mempertahankan jarak yang ditentukan (*set point*).

Dalam jurnal [2] memaparkan suatu pengembangan robot cerdas beroda dua untuk pembersihan saluran udara atau koridor. Navigasi robot didasarkan pada algoritma *wall following*. Robot dikendalikan dengan *Fuzzy Incremental Controller* (FIC) dan ditanamkan pada mikrokontroler PIC18F4550. Dua sensor ultrasonik sebagai pengindera jarak dipasang di sisi kiri robot untuk kemudian diumpankan ke FIC untuk digunakan dalam menentukan kontrol kecepatan dua motor DC. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan menunjukkan kontroler FIC memberikan *over-shoot* terendah, *settling time* terpendek dan *error* terkecil dibanding kontroler PD dan PID. Artinya, pengontrol FIC lebih cocok digunakan untuk mengendalikan robot *wall follower*.

Pada penelitian [3] dibuat suatu pengendali logika *fuzzy* mamdani untuk perilaku *wall following* robot, dengan menggunakan lima sensor ultrasonik SRF05 yang dipasang di kiri, serong kiri, depan, serong kanan dan kanan robot untuk mengikuti dinding kiri atau kanan. Rentang informasi dari sensor ultrasonik berupa *error* dan *delta error* atau selisih jarak

terhadap *set point* digunakan sebagai masukan ke pengontrol, dimana keluarannya adalah nilai *duty cycle* dari sinyal PWM untuk pengendalian kecepatan motor sehingga robot mengikuti dinding dengan mempertahankan jarak yang ditentukan. Hasil eksperimen menunjukkan validitas pengontrol untuk mengikuti dinding berbentuk lintasan lurus dan melengkung dengan respon yang halus dan cepat.

Pada jurnal [4] dihasilkan robot yang mampu mencari titik api dengan menerapkan *fuzzy logic*. Dalam penelitian ini logika *fuzzy* akan diterapkan pada kecepatan motor (*velocity*) dan motor *delay* berdasarkan jarak antara robot dengan halangan yang ada saat menelusuri arena. Dari hasil pengujian, penerapan logika *fuzzy* bekerja dengan baik dan menghasilkan nilai dari tetapan logika *fuzzy* yang membuat pergerakan robot menjadi lebih baik karena disesuaikan dengan jarak robot dengan *obstacle* di depannya.

Pada penelitian robot pemadam api beroda *four wheel drive* (4WD) berbasis kendali logika *fuzzy* [5], robot yang dihasilkan berupa sebuah robot beroda dengan menggunakan empat buah penggerak motor DC yang telah dilengkapi sensor kecepatan (*encoder*), delapan buah ultrasonik sebagai pengindera jarak, lima buah sensor api inframerah untuk mendeteksi adanya titik api, sensor suara sebagai *sound activator*, dan Arduino Due sebagai mikrokontroler. Kendali logika *fuzzy* pada robot digunakan untuk kendali otomatis kecepatan motor sebagai navigasi robot. Penelitian ini membandingkan kinerja robot yang bekerja dengan dan tanpa menggunakan metode logika *fuzzy*. Hasilnya, robot yang menerapkan logika *fuzzy* berhasil mencapai titik api dengan waktu tempuh yang lebih cepat dibandingkan robot tanpa menggunakan logika *fuzzy*.

Pada [6] menghasilkan robot pemadam api dengan menggunakan dua buah mikrokontroler yaitu ATmega8 dan ATmega32, sensor UVTron sebagai sensor api dan lima buah sensor ultrasonik sebagai sensor jarak. Algoritma yang digunakan pada pergerakan pencarian api menggunakan metode *right wall following* dan pada saat pulang ke *home* menggunakan metode *left wall following*. Algoritma *wall following* ini diterapkan menggunakan metode *fuzzy logic*. Pada percobaan controller *fuzzy* yang telah dilakukan, didapatkan persentasi *error* sebesar 0.1% pada kecepatan motor kiri, dan 0.28% pada kecepatan motor kanan. Perbedaan model lapangan dan penempatan api yang berbeda tidak akan mempengaruhi pergerakan robot selama proses pencarian api.

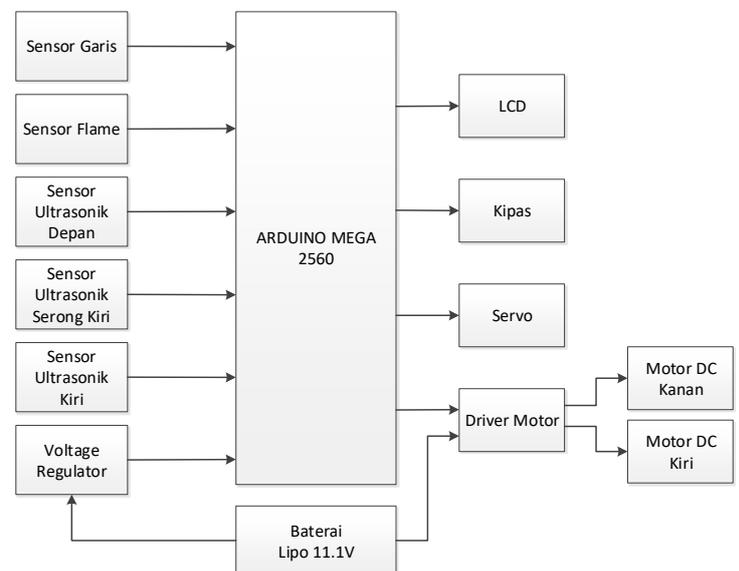
III. METODE PENELITIAN

Robot yang dirancang merupakan robot pemadam api yang mampu berjalan secara otomatis di dalam arena tertutup dengan cara menelusuri dinding kiri (*left wall following*), mendeteksi api, lalu memadamkan api tersebut, dan berhenti di tempat awal robot mulai bergerak (*home*). Robot ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler, sensor flame 5-channel sebagai sensor pendeteksi api, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai sensor jarak, sensor garis TCRT5000 sebagai pendeteksi warna hitam pada arena, serta modul kipas L9110, motor DC dan motor servo SG90S sebagai aktuator.

Metode logika fuzzy digunakan untuk pengendali kecepatan pada navigasi robot saat menelusuri dinding arena, mencapai target api, serta kembali ke *home*.

A. Perancangan Sistem Elektronik

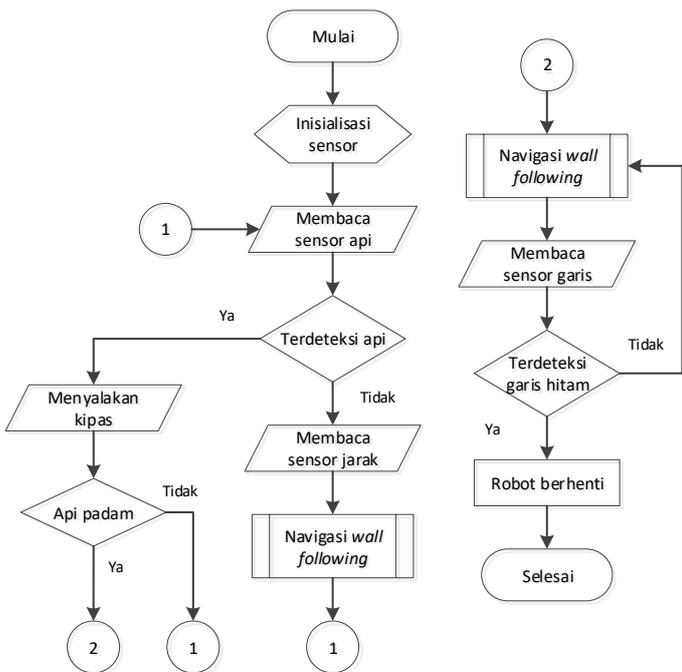
Keseluruhan perangkat yang mengatur kerja robot pemadam api yang dibuat dijelaskan dalam blok diagram sistem seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Robot pemadam api yang dibangun melakukan navigasi dengan cara menelusuri dinding kiri (*left wall following*) menggunakan logika *fuzzy*. [7] Ketika robot dinyalakan dalam suatu ruangan/arena, robot akan terlebih dahulu membaca sensor api, apabila tidak terdeteksi adanya api di dekat robot, [8] maka robot akan membaca sensor jarak untuk mulai melakukan navigasi dalam pencarian api. Ketika menelusuri dinding, robot masih terus membaca sensor api. Apabila api akhirnya terdeteksi maka robot akan memadamkannya menggunakan kipas hingga api padam. Pada saat kipas menyala, servo juga turut aktif untuk menggerakkan arah kipas ke kiri atau ke kanan agar dapat menghadap ke titik api guna memaksimalkan proses pemadaman api tersebut. Setelah api berhasil padam, robot akan menghitung jarak dengan dinding untuk kembali bernavigasi [9] mencari titik *home*. Ketika melakukan navigasi ini, robot terus membaca sensor garis. Kemudian apabila sensor garis tersebut mendeteksi *home* yang ditandai dengan adanya warna hitam pada lantai arena, maka robot akan berhenti.

Adapun navigasi *wall following* kiri yang dilakukan robot dilakukan dengan cara membaca sensor ultrasonik depan terlebih dahulu. Apabila jarak robot dengan objek di depannya kurang dari 30cm, maka robot akan belok kanan. Jika tidak, robot akan membaca sensor kiri dan serong kiri sebagai *input* untuk melakukan pergerakan *wall following* kiri. Pada proses *wall following* kiri inilah logika *fuzzy* [10][11][12] berperan dalam melakukan kendali kecepatan motor. Cara kerja dari sistem robot pemadam api seperti yang sudah dijelaskan di atas, secara berurutan dituangkan dalam *flowchart* sistem pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Flowchart Sistem

Untuk navigasi wall following kiri yang dilakukan robot ditunjukkan dalam flowchart pada gambar 3 berikut:

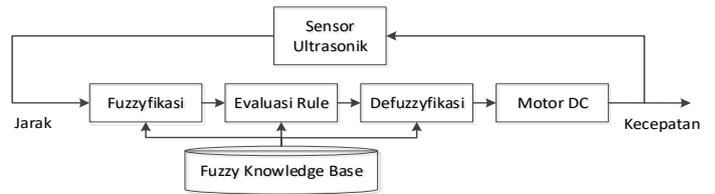


Gambar 3. Flowchart Subrutin Navigasi

B. Perancangan Logika Fuzzy

Metode logika fuzzy pada robot ini bekerja berdasarkan data input jarak dari sensor ultrasonik yang diterima kemudian diproses oleh arduino yang telah diprogram menggunakan metode logika fuzzy untuk mengontrol arah dan kecepatan motor DC pada robot. Logika fuzzy ini diterapkan pada robot ketika robot melakukan navigasi mencari api dan saat robot kembali ke home. Perancangan logika fuzzy disini menggunakan metode sugeno yang mana prosesnya dibagi menjadi tiga tahapan yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi. Robot ini menggunakan satu metode penelusuran, yaitu algoritma wall

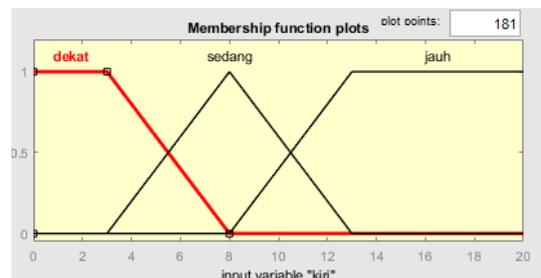
following kiri. Gambar 4 merupakan diagram blok kendali logika fuzzy pada robot.



Gambar 4. Diagram Blok Controller Fuzzy

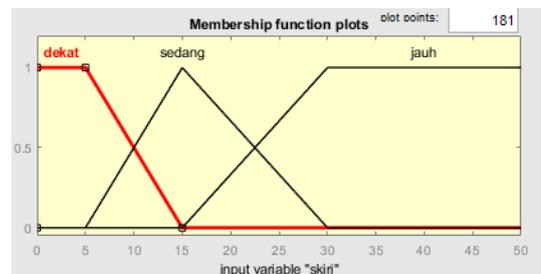
1) Fuzzifikasi

Pengendalian fuzzy yang dibuat menggunakan dua masukan yaitu input jarak dari sensor ultrasonik kiri dan serong kiri. Sehingga dibuat dua variabel yang merepresentasikan input-input tersebut dalam logika fuzzy, yaitu variabel sensor sensor kiri, dan sensor serong kiri. Fungsi keanggotaan jarak sensor kiri ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Membership input sensor kiri

Sementara fungsi keanggotaan input jarak sensor serong kiri ditunjukkan oleh gambar 6 berikut:



Gambar 6. Membership input sensor serong kiri

Fungsi keanggotaan sensor kiri dan sensor serong kiri dibuat dengan menggunakan tiga himpunan (fuzzy set) pada masing-masing variabel, yaitu dekat, sedang, dan jauh. Tabel 1 menyajikan domain pada masing-masing himpunan.

Tabel 1. Domain untuk Variabel input kiri dan serong kiri

Variabel	Himpunan	Domain
Kiri	Dekat	0 - 8
	Tepat	3 - 13
	Jauh	8 - 20
Serong Kiri	Dekat	0 - 15
	Tepat	5 - 30
	Jauh	15 - 50

Fungsi keanggotaan dari variabel sensor kiri dan serong kiri adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{KiriDEKAT}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \geq 8 \\ \frac{8-x}{5}, & 3 \leq x \leq 8 \\ 1, & x \leq 3 \end{cases} \\ \mu_{\text{KiriSEDANG}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \leq 3 \text{ atau } x \geq 13 \\ \frac{x-3}{5}, & 3 \leq x \leq 8 \\ \frac{13-x}{5}, & 8 \leq x \leq 13 \end{cases} \\ \mu_{\text{KiriJAUH}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \leq 8 \\ \frac{x-8}{5}, & 8 \leq x \leq 13 \\ 1, & x \geq 13 \end{cases} \\ \mu_{\text{SerKiriDEKAT}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \geq 15 \\ \frac{15-x}{10}, & 5 \leq x \leq 15 \\ 1, & x \leq 5 \end{cases} \\ \mu_{\text{SerKiriSEDANG}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \leq 5 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-5}{10}, & 5 \leq x \leq 15 \\ \frac{30-x}{15}, & 15 \leq x \leq 30 \end{cases} \\ \mu_{\text{SerKiriJAUH}}[x] &= \begin{cases} 0, & x \leq 15 \\ \frac{x-15}{15}, & 15 \leq x \leq 30 \\ 1, & x \geq 30 \end{cases} \end{aligned}$$

2) *Evaluasi Rule*

Pada tahap ini tiap-tiap keluaran dari tahap fuzzifikasi yang berupa derajat keanggotaan dan variabel linguistik baik dari sensor kiri dan serong kiri akan digabung dengan menggunakan evaluasi *rule*. Berdasarkan jumlah *input* dan jumlah *output* beserta masing-masing *fuzzy set*, maka dibuat 9 aturan yang mengatur tiap hubungan *antecedent* atau derajatnya, yang disajikan oleh tabel 2 berikut:

Tabel 2. *Rule Base*

No.	Input Fuzzy (Jarak)		Output Fuzzy (PWM)	
	Kiri	Serong Kiri	Motor Kiri	Motor Kanan
1	Dekat	Dekat	Lambat	Sangat Lambat
2	Dekat	Sedang	Sedang	Lambat
3	Dekat	Jauh	Sedang	Sedang
4	Sedang	Dekat	Cepat	Lambat
5	Sedang	Sedang	Sedang	Lambat
6	Sedang	Jauh	Sedang	Sedang
7	Jauh	Dekat	Cepat	Lambat
8	Jauh	Sedang	Cepat	Sedang
9	Jauh	Jauh	Lambat	Sedang

3) *Defuzzifikasi*

Untuk mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp output* diperlukan proses defuzzifikasi, dimana nilai yang dihasilkan dari proses ini merupakan nilai PWM yang akan menentukan

kecepatan motor. Tahap defuzzifikasi dimulai dengan mencari α -predikat pada masing-masing 9 aturan metode *wall following* dengan menggunakan fungsi AND atau mengambil nilai terkecil dari derajat keanggotaan *input*-nya, kemudian dikalikan dengan singleton masing-masing aksi pada tiap aturan. Selanjutnya nilai Z akan diperoleh dengan cara menjumlahkan semua hasil tersebut dan dicari rata-ratanya. Nilai Z ini merupakan nilai tegas (*crisp*) yang digunakan sebagai kecepatan motor kiri dan kanan.

$$z = \frac{\sum \alpha_i \times z_i}{\sum \alpha_i} = \frac{\alpha_1 \times z_1 + \alpha_2 \times z_2 + \dots + \alpha_9 \times z_9}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_9} \quad (1)$$

Pada fungsi keanggotaan kecepatan motor kiri dan kecepatan motor kanan terdapat empat variabel linguistik yaitu sangat pelan, pelan, sedang, dan cepat. Nilai domain pada masing-masing variabel didasarkan pada besaran pulsa PWM yang mengatur kecepatan motor DC, di mana pulsa minimum yang bisa diberikan adalah 0 dan maksimum 255. Domain pada masing-masing himpunan ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Domain untuk variabel *output* motor kiri dan motor kanan

Himpunan	Domain	Duty Cycle (%)
Sangat pelan	0	0
Pelan	38	14,9
Sedang	48	18,82
Cepat	58	22,74

C. *Perancangan Sistem Mekanik*

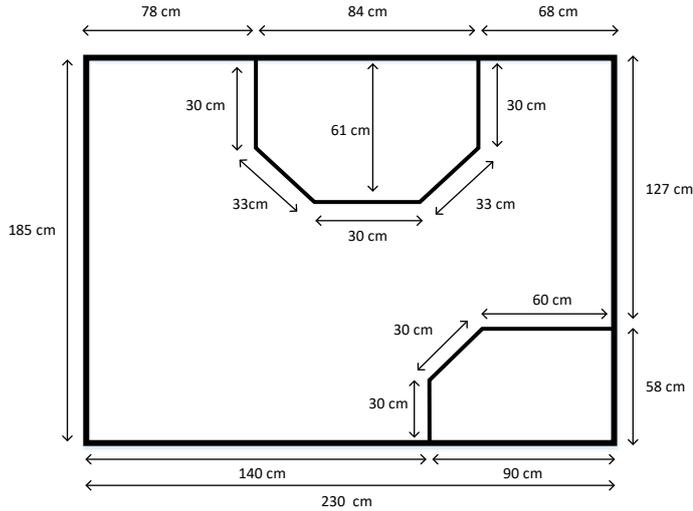
Robot yang dibuat merupakan robot beroda dua dengan kerangka (*chassis*) robot berbentuk lingkaran yang berukuran diameter 13,5cm dan terbuat dari bahan akrilik bening dengan tebal 3mm. Akrilik dipilih karena beratnya yang ringan serta harganya yang relatif terjangkau. *Chassis* robot ini terdiri dari dua layer yang berfungsi untuk meletakkan komponen-komponen dengan pembagian penempatan sebagai berikut:

- Layer 1 digunakan untuk tempat meletakkan sensor garis dan motor driver di bagian atas, serta dua buah motor DC beserta rodanya, dan dua buah roda bebas di bagian bawah.
- Layer 2 yang merupakan layer utama berfungsi untuk menaruh komponen dan modul inti rangkaian, antara lain mikrokontroler, sensor ultrasonik depan dan kiri pada bagian bawah layer 2. Sementara *voltage regulator*, sensor *flame*, sensor ultrasonik serong kiri, LCD, modul kipas, servo dan baterai diletakkan pada bagian atas.

D. *Perancangan Arena*

Arena yang digunakan untuk uji coba robot berbentuk miniatur ruangan persegi panjang dengan ukuran 230cm x 180cm yang terbuat dari bahan dus setebal 5mm. Dua buah lilin berukuran panjang sekitar 10cm-13cm yang digunakan sebagai target api diletakkan di berbagai sudut ruangan secara acak. Sedangkan titik *home* yang digunakan sebagai titik *start* robot ketika pertama kali dinyalakan, terbuat dari karton berwarna hitam dan berbentuk lingkaran berdiameter 22,5cm. Sama halnya dengan lilin, titik *home* ini juga diletakkan secara acak

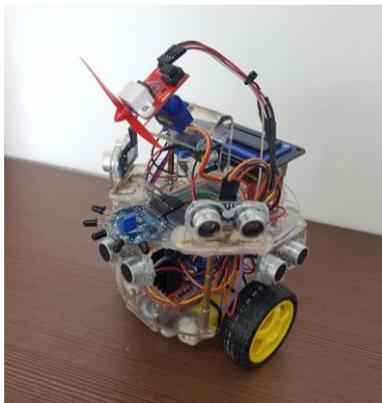
dalam arena robot. Arena juga terdapat objek sebagai halangan (*obstacle*) yang disusun seperti pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Arena Robot

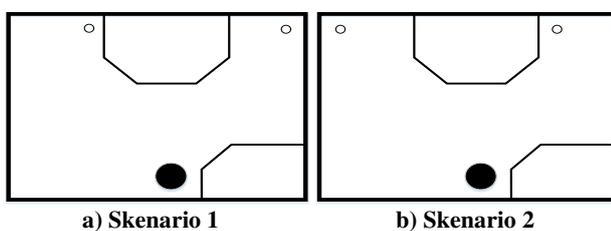
IV. HASIL DAN ANALISA

Realisasi sistem robot pemadam api yang telah dibuat ditunjukkan oleh gambar 8.



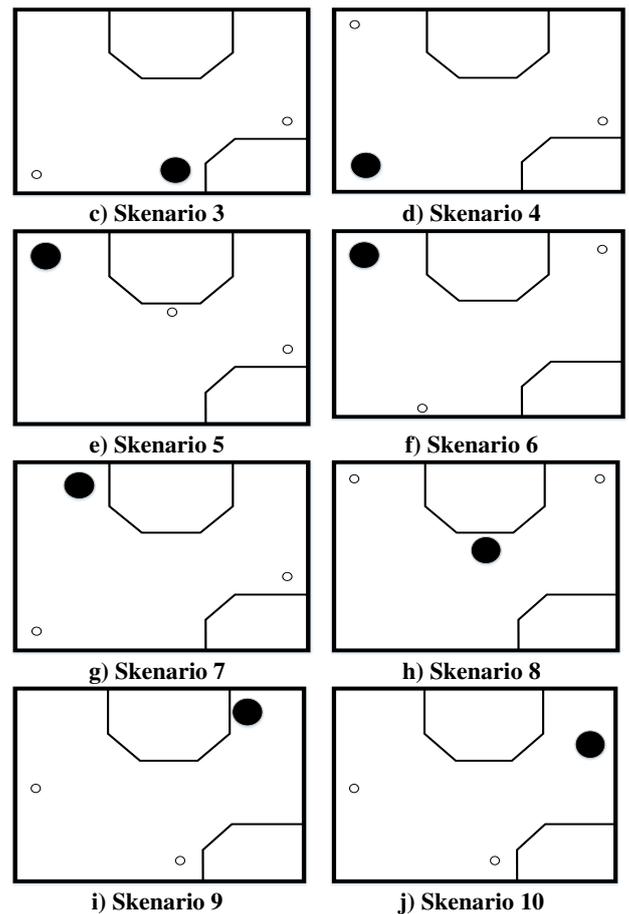
Gambar 8. Realisasi Robot Pemadam Api

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk menguji kehandalan sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan menjalankan robot pada arena dimana di dalam arena tersebut terdapat 2 buah lilin sebagai titik api dan 1 buah *home* sebagai tempat awal robot bergerak yang diletakkan secara acak dengan 10 skenario pengujian. Skenario yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan oleh gambar 9.



a) Skenario 1

b) Skenario 2



c) Skenario 3

d) Skenario 4

e) Skenario 5

f) Skenario 6

g) Skenario 7

h) Skenario 8

i) Skenario 9

j) Skenario 10

Gambar 9. Skenario Pengujian

Adapun hasil pengujian sistem keseluruhan disajikan oleh tabel 4. Berdasarkan data pada tabel 4 tersebut, setelah performa sistem secara keseluruhan diuji, tingkat keberhasilan untuk bernavigasi adalah 100%. Yang dimaksud berhasil bernavigasi di sini adalah ketika robot tidak menabrak dinding ketika pengujian. Dalam mendeteksi api dan berhenti di *home*, tingkat keberhasilan sistem pun mencapai 100%, dalam artian tidak ada kegagalan yang terjadi ketika mendeteksi api dan mengenali *home*. Sementara dalam mematikan api, terjadi beberapa kali kegagalan sehingga persentase sukses hanya mampu mencapai 70% pada titik api pertama dan 60% pada titik api ke-2, dengan kata lain rata-rata keberhasilan hanya 65%.

Kegagalan dalam mematikan api ini diakibatkan oleh modul kipas yang kurang kuat serta posisi kipas dengan titik api yang tidak tepat, sehingga api tidak dapat padam dengan cepat. Hal ini telah disiasati oleh penulis dengan menambahkan *delay* pada saat modul kipas menyala, namun robot masih tetap tidak mampu mematikan api dengan cepat, bahkan tidak menghindari terjadi beberapa kegagalan dalam mematikan api. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk menggunakan motor *brushless* agar kipas menyala lebih kuat, atau bisa juga mengganti aktuator dengan semprotan air agar lebih efektif dalam proses pemadaman api.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

No	Skenario	Menabrak Dinding	Mendeteksi Api		Mematikan Api		Berhenti di Home
			Api 1	Api 2	Api 1	Api 2	
1	1	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	2	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
3	3	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya
4	4	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak	Ya
5	5	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
6	6	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
7	7	Tidak	Ya	Ya	Ya	Tidak	Ya
8	8	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Ya	Ya
9	9	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
10	10	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Jumlah Sukses		10	10	10	7	6	10
Jumlah Gagal		0	0	0	3	4	0
Persentase Sukses		100%	100%	100%	70%	60%	100%

V. KESIMPULAN

Robot pemadam api telah dibangun dan memenuhi tujuan yang ingin dicapai, yaitu robot mampu untuk melakukan navigasi, mencapai dan memadamkan api, menghindari halangan, serta berhenti di *home* secara otomatis di dalam sebuah ruangan/arena robot. Setelah melakukan perancangan, pengujian dan analisa pada sistem, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Implementasi logika *fuzzy* sugeno telah berhasil direalisasikan pada sistem navigasi robot, dimana robot bernavigasi menggunakan metode *wall following* kiri, dengan pergerakan yang baik tanpa menabrak dinding dengan tingkat keberhasilan 100%.
- Robot mampu mendeteksi nyala api pada ruangan tertutup dengan persentase sukses 100%, namun apabila ruangan/arena robot terkena cahaya matahari akan mempengaruhi pembacaan sensor *flame*. Oleh karena itu settingan *threshold* api pada program Arduino perlu disesuaikan tergantung dari ada atau tidaknya cahaya matahari ketika robot dijalankan dalam arena.
- Dalam mematikan api terjadi beberapa kegagalan sehingga rata-rata keberhasilan hanya 65%. Hal ini diakibatkan karena angin yang dihasilkan modul kipas kurang kuat sehingga api tidak dapat padam dengan cepat.
- Robot mampu berhenti di *home* dengan tingkat kesuksesan 100%, dimana robot akan berhenti jika sudah mematikan api. Apabila belum mematikan api, robot akan terus mencari api dan tidak akan berhenti di *home*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada dosen dan staff Universitas Mercu Buana, juga rekan-rekan dari unit *General Electronic Facility Non Terminal* dan unit *Safety and Security Facility Non Terminal* PT. Angkasa Pura II, beserta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan jurnal ini. Serta kepada tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Farooq, K. M. Hasan, M. U. Asad and S. O. Saleh, "Fuzzy logic based wall tracking controller for mobile robot navigation," *2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2012, pp. 2102-2105, doi: 10.1109/ICIEA.2012.6361077.
- [2] Fahmizal and C. Kuo, "Development of a fuzzy logic wall following controller for steering mobile robots," *2013 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY)*, 2013, pp. 7-12, doi: 10.1109/iFuzzy.2013.6825401.
- [3] D. Hanafi, Y. M. Abueejela, and M. F. Zakaria, "Wall Follower Autonomous Robot Development Applying Fuzzy Incremental Controller," *Intelligent Control and Automation*, vol. 04, no. 01, pp. 18-25, 2013, doi: 10.4236/ica.2013.41003.
- [4] F. Maspiyanti and N. Hadiyanti, "Robot Pemadam Api Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 3, no. 2, Dec. 2017, doi: 10.54914/jt.v3i2.77.
- [5] M. Yasyfi, "Rancang Bangun Robot Pemadam Api Beroda Four Wheel Drive (4WD) Berbasis Kendali Logika Fuzzy," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2017, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/22620>.
- [6] M. Wasil, "Kontrol Ultrasonicefinder Dan Pergerakan Robot Pemadam Api Menggunakan Fuzzy Logic," *Jurnal Mikrotek*, vol. 1, no. 3, pp. 125-134, 2014, Accessed: Feb. 07, 2022. [Online]. Available: <https://journal.trunojoyo.ac.id/jim/article/view/1644>.
- [7] I. M. Sidiq, E. Ihsanto, and Y. Yuliza, "Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Hexapod 3 DOF di Ruangan Labirin Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno Berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 3, p. 133, Oct. 2020, doi: 10.22441/jte.2020.v11i3.004.
- [8] Y. Wisnuputra, E. Ihsanto, and M. H. Ibnu Hajar, "Robot Pemadam Kebakaran Berbasis Wemos," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 10, no. 2, p. 129, Dec. 2019, doi: 10.22441/jte.v10i2.007.
- [9] A. Adriansyah, E. Ihsanto, Y. Gunardi, H. Suwoyo, J. Andika and A. U. Shamsudin, "Design a Simulation Tools for Goal Seeking Behavior of a Mobile Robot," *2021 International Conference on Computer System, Information Technology, and Electrical Engineering (COSITE)*, 2021, pp. 91-95, doi: 10.1109/COSITE52651.2021.9649463.
- [10] S. Kusumadewi and H. Purnomo, Aplikasi logika fuzzy untuk pendukung keputusan. *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 2004
- [11] M. Dahria, "Kecerdasan buatan (artificial intelligence)," *Jurnal Saindikom*, 5(2), 185-196, 2008.
- [12] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, "Logika Fuzzy Dengan Matlab (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)," *Jayapangus Press Books*, pp. i-217, 2018