

PENGEMBANGAN ALGORITME GERAK ROBOT HEXAPOD MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Syutriadi Sukardi¹, Satria Gunawan Zain²

¹dandi.syutriadi@gmail.com, ²sg.zain@gmail.com

^{1,2}Universitas Negeri Makassar

Received: 16 Apr 2021
Accepted: 14 May 2021
Published: 15 May 2021

Abstract

The research aims to develop the hexapod robot motion algorithm and increase the optimal speed of the robot by using fuzzy logic. The research was carried out using the experimental method then the research result was a robot development. The method that has been applied to the previous robot uses the wall following algorithm. However, an additional algorithm is needed to develop the motion capability of the hexapod robot, namely applying the fuzzy logic method. This research is the movement ability of the hexapod robot using fuzzy logic built using the Arduino microcontroller and the ESP-32S as the control system. The implementation of Fuzzy Logic is designed so that it can be used on a hexapod robot to pass obstacles. The hexapod robot motion test results were obtained from the US-100 ultrasonic sensor distance reading. The US-100 ultrasonic sensor readings as input are sent to the ESP 32S as a place for the fuzzy logic process. The distance data from the sensor is used as the determination of fuzzy sets and the basis for making a rule base. The final output of the fuzzy process is a center of gravity value which is divided into several sets of outputs, namely forward, right forward, left forward, right turn, and left turn. The optimal speed of the robot is obtained by adjusting the speed and delay of 50 ms. The ability to select movements based on the environment around the robot is very good with the success rate of the action equal to 100% of the several experiments that have been carried out. The robot can enter the room with an average travel time of 21.8 seconds with a distance of approximately 2 meters from the robot's initial position to enter the room.

Keywords: Hexapod Robot, Fuzzy Logic, Arduino, ESP 32S and US-100

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan algoritma gerak robot hexapod dan meningkatkan kecepatan optimal robot dengan menggunakan logika fuzzy. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen kemudian hasil penelitian berupa pengembangan robot. Metode yang telah diterapkan pada robot sebelumnya menggunakan algoritma wall following. Namun, diperlukan algoritma tambahan untuk mengembangkan kemampuan gerak robot hexapod, yaitu dengan menerapkan metode logika fuzzy. Hasil penelitian ini menunjukkan kemampuan pergerakan robot hexapod menggunakan logika fuzzy yang dibangun menggunakan mikrokontroler Arduino dan ESP-32S sebagai sistem kontrolnya. Implementasi Fuzzy Logic dirancang sedemikian rupa sehingga dapat digunakan pada robot hexapod untuk melewati rintangan. Hasil uji gerak robot hexapod diperoleh dari pembacaan jarak sensor ultrasonik US-100. Hasil pembacaan sensor ultrasonik US-100 sebagai input dikirim ke ESP 32S sebagai tempat proses logika fuzzy. Data jarak dari sensor digunakan sebagai penentuan himpunan fuzzy dan dasar pembuatan rule base. Keluaran akhir dari proses fuzzy adalah nilai pusat gravitasi yang terbagi menjadi beberapa rangkaian keluaran yaitu maju, maju kanan, maju kiri, belok kanan, dan belok kiri. Kecepatan optimal robot diperoleh dengan mengatur kecepatan dan delay sebesar 50 ms. Kemampuan memilih gerakan berdasarkan lingkungan sekitar robot sangat baik dengan tingkat keberhasilan tindakan sebesar 100% dari beberapa percobaan yang telah dilakukan. Robot dapat memasuki ruangan dengan waktu tempuh rata-rata 21,8 detik dengan jarak kurang lebih 2 meter dari posisi awal robot untuk memasuki ruangan.

Kata kunci: Robot Hexapod, Fuzzy Logic, Arduino, ESP 32S dan US-100

*This is an open access article under the
CC BY-SA license*



1. Pendahuluan

Robot adalah sebuah alat yang digunakan untuk melakukan pekerjaan yang biasanya dilakukan oleh manusia atau operator yang mendefinisikan suatu program yang telah dimasukkan terlebih dahulu (kecerdasan buatan). Pengembangan robot di era sekarang sangat diperlukan untuk menyesuaikan dengan tugas baru yang diberikan guna membantu pekerjaan manusia.

Mengembangkan robot jenis berkaki yang dapat melewati medan yang tidak rata atau tidak mulus seperti daerah yang berbatu merupakan suatu kelebihan yang dapat mengatasi masalah tersebut. Robot hexapod atau robot berkaki enam mampu melakukan pergerakan (*mobile*) pada permukaan tanah yang tidak rata dan dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi rintangan berupa tembok akan menambah kemampuan robot berjalan secara otomatis, demikian harapan dari pengembangan sebuah robot hexapod dapat tercapai [2].

Algoritme yang menjadi usulan atas masalah robot hexapod dalam menelusuri suatu ruangan salah satunya adalah *wall following*. Menggunakan metode *wall following* pada robot hexapod telah menjadi pilihan pertama dalam meningkatkan kemampuan robot menelusuri suatu lorong, akan tetapi diperlukan algoritme tambahan untuk mengatasi masalah pengolahan data sensor *input* yang mana menjadi alasan pemilihan dan penentuan arah gerak robot menelusuri lorong. Data sensor yang dibaca oleh robot menggunakan sensor ultrasonik dipastikan merupakan data yang tidak tepat atau nilai-nilai yang dianggap buram.

Solusi dari permasalahan tersebut adalah menggunakan metode logika fuzzy yang menggunakan konsep matematis yang mendasari penalaran logika. Data-data yang belum tepat tidak akan langsung dinilai, namun dianalisis lebih mendalam dengan batas toleransi tertentu, sehingga dinilai lebih fleksibel.

2. Metode

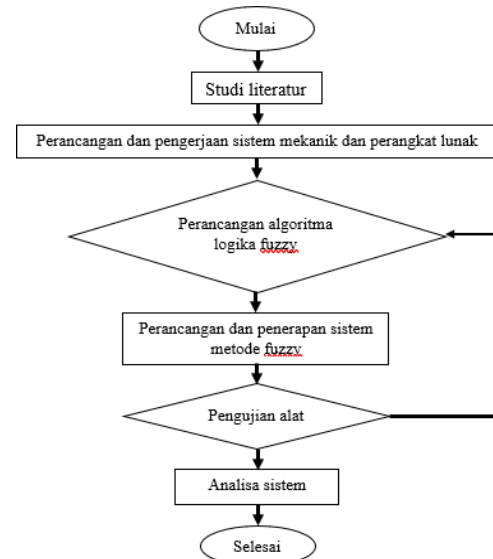
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen dimana penelitian dilakukan terhadap variabel yang data-datanya belum ada sehingga perlu dilakukan proses manipulasi melalui pemberian perlakuan tertentu, kemudian diamati/diukur dampaknya dari subjek yang diteliti [7].

a. Studi literatur

Tahap ini merupakan awal dari proses keseluruhan penelitian, diharapkan dengan

menemukan literatur dari penelitian sebelumnya dapat memberikan keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dan memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian. Studi literatur pada penelitian ini meliputi pemahaman mengenai rekaan robot, mekanik robot yang sesuai dan gerakan robot saat berjalan.

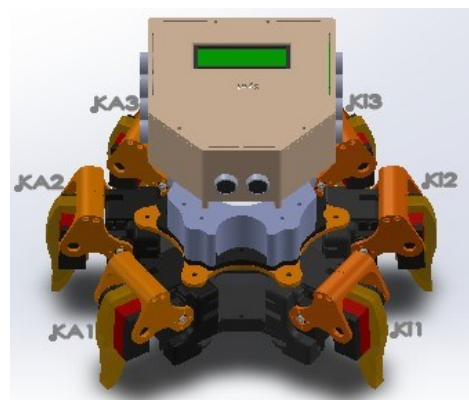
Prosedur dalam penelitian ini yaitu:



Gambar 1 Diagram alir prosedur penelitian

Dalam penelitian ini dibutuhkan langkah-langkah dalam pengujian robot hexapod sebagai berikut:

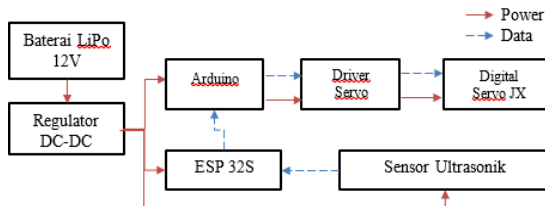
- b. Perancangan dan pengerjaan sistem mekanik dan perangkat lunak



Gambar 2 Tampilan robot

Robot dirancang dan dirakit secara simetris agar dalam pembuatan gerakan dapat lebih mudah karena menyesuaikan kaki kanan dan kiri hanya dengan membalikkan arah dari salah satu gerakan kaki yang pertama kali dibuat. Pada bagian kepala

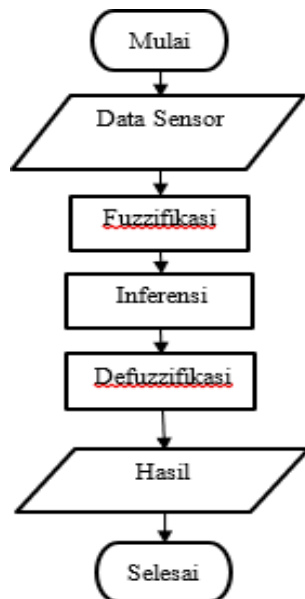
ditambahkan komponen LCD 16 x 2 untuk menampilkan data jarak dari seluruh sensor yang dipakai. Selain itu, ditampilkan pula aksi actual dari robot. Penambahan komponen tersebut guna mempermudah dalam penelitian dan pengujian robot.



Gambar 3 Skematik sistem perangkat keras

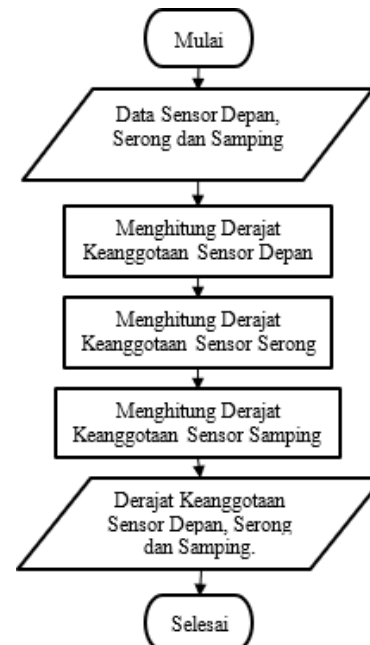
Pada Gbr 3, garis merah merupakan jalur sumber tegangan dari sistem, terlihat setiap komponen memerlukan tegangan sebesar 5V yang telah diturunkan dari 12V DC menjadi 5V DC oleh regulator. Garis biru pada skematik menandakan jalur data pada sistem. Jalur data dimulai pada Sensor Ultrasonik, kemudian dihitung pada pemrograman yang telah dibuat di ESP 32S sekaligus melakukan proses logika fuzzy, output dari logika fuzzy akan dikirim ke Arduino Nano menggunakan komunikasi serial, kemudian Arduino Nano akan melakukan komunikasi serial dengan Driver Servo sehingga proses pengiriman data gerak robot akan lebih baik. ESP 32S kembali melakukan proses logika fuzzy setelah menerima data dari sensor lagi.

c. Perancangan algoritme logika fuzzy



Gambar 4 Diagram alir fuzzy

Diagram alir fuzzy ditunjukkan pada Gbr. 4, yang menggambarkan proses fuzzy. Terdapat tiga tahap pada proses fuzzy, yaitu proses fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Tahap pertama yaitu proses fuzzifikasi yang ditunjukkan pada diagram alir pada Gbr. 5.



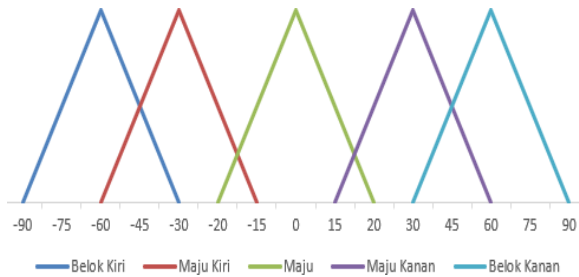
Gambar 5 Diagram alir fuzzifikasi

Tahap fuzzifikasi akan memproses nilai dari input sensor ultrasonik. Terdapat tiga posisi sensor pada robot hexapod, yang menghasilkan 3 fungsi keanggotaan yaitu fungsi keanggotaan sensor depan, fungsi keanggotaan sensor serong dan fungsi keanggotaan sensor samping.



Gambar 6 Diagram alir inferensi

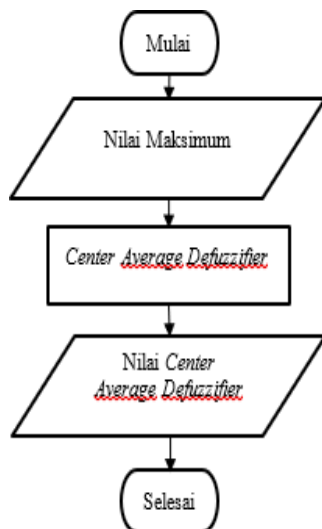
Tahap inferensi merupakan proses implikasi untuk menalar nilai input kemudian akan menentukan nilai output sebagai pengambilan keputusan berdasarkan dari rules yang telah dibuat. Nilai output akan disesuaikan dengan fungsi keanggotaan gerak (output) yang memiliki 5 derajat keanggotaan, yaitu belok kiri, maju kiri, maju, maju kanan dan belok kanan yang ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 7 Fungsi keanggotaan gerakan (output)

Setelah tahap inferensi selanjutnya proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke dalam himpunan tegas (*crisp*) dengan mencari nilai maksimum atau titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan (inferensi) yang mana proses ini disebut tahap defuzzifikasi. Tahap inferensi dan tahap defuzzifikasi digambarkan pada diagram alir pada Gbr. 6 dan Gbr. 8.

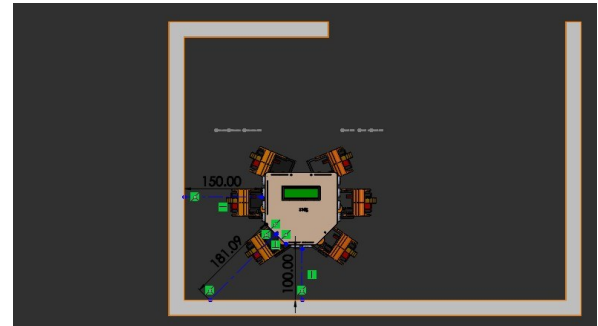
Setelah tahap inferensi, nilai maksimum yang telah didapat kemudian digabungkan dan dihitung rata-rata dari nilai tersebut sehingga mendapatkan nilai Center Average Defuzzifier, nilai ini juga senilai dengan Center of Gravity (COG).



Gambar 8 Diagram alir defuzzifikasi

2. Hasil dan Pembahasan

Robot diletakkan pada sebuah ruangan dengan keadaan diam bertujuan untuk menganalisis penentuan himpunan fuzzy dan rule base yang digunakan untuk menerapkan logika fuzzy pada robot. Letak robot ditampilkan pada Gbr. 9 dengan jarak depan robot dari tembok 10 cm dan jarak samping kanan robot dari tembok 15 cm.



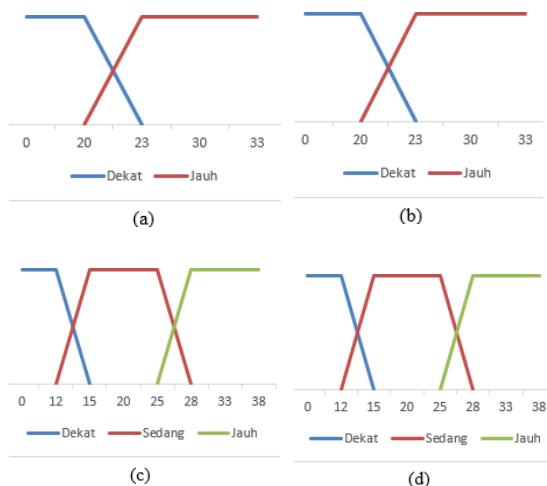
Gambar 9 Ilustrasi robot pada ruangan

Analisis derajat keanggotaan dilakukan dengan meletakkan dan menggerakkan robot pada posisi tertentu. Posisi tersebut menjelaskan derajat keanggotaan pada masing-masing fungsi keanggotaan. Empat fungsi keanggotaan memiliki derajat kebebasan yang telah ditentukan dalam sebuah pengamatan sesuai dengan posisi dan letak sensor robot sebagai input atau masukan pada proses fuzzy. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk menampilkan posisi robot, penentuan nilai batasan derajat keanggotaan dan mendeskripsikan derajat keanggotaan itu sendiri. Hal ini dilakukan dengan pengamatan derajat keanggotaan sensor depan sebagai acuan derajat keanggotaan sensor lainnya. Sebelum melangkah ke tahap tersebut, peneliti melakukan observasi pengamatan awal nilai batasan derajat keanggotaan sensor depan yang memungkinkan robot dapat berhasil melakukan manuver atau pergerakan menghindari dinding.

Tabel 1 Pengamatan nilai batasan derajat keanggotaan sensor depan

No.	Nilai Derajat Keanggotaan Sensor Depan				Hasil Pergerakan
	a	b	c	d	
1	18	21	28	31	Menabrak
2	19	22	29	32	Menabrak
3	20	23	30	33	Berhasil Belok
4	21	24	31	34	Berhasil Belok
5	22	25	32	35	Berhasil Belok

Batasan nilai derajat keanggotaan sensor depan pada lima pengamatan yang telah dilakukan menunjukkan batasan nilai derajat yang akan digunakan adalah point ke-3 dengan batasan nilai a antara 20 cm – 22 cm dan b antara 23 cm – 25 cm. Nilai pada angka di bawah 20 memiliki kemungkinan robot menabrak dinding lebih besar karena ketika sensor depan mendeteksi jarak lebih kecil dari nilai tersebut berdasarkan pengamatan yang dilakukan, kaki robot menabrak dinding karena jarak antara letak sensor dan kaki dengan dinding berbeda. Nilai batasan yang telah ditentukan akan diimplementasikan pada Gbr. 10 bagian (a) menghasilkan rancangan fungsi keanggotaan pada Gbr. 10.



Gambar 10 Fungsi keanggotaan empat sensor: (a) Sensor depan, (b) Sensor serong, (c) Sensor samping 1 dan (d) Sensor samping 2

Fungsi keanggotaan sensor depan (a) dan serong (b) memiliki dua derajat keanggotaan yaitu dekat dan jauh dimana diberikan nilai batasan dekat pada range 0 – 23 cm sedangkan nilai dari 20 cm ke atas dikatakan jauh. Fungsi Keanggotaan sensor samping 1 dan samping 2 memiliki tiga derajat keanggotaan yaitu dekat, sedang, dan jauh. Range mulai dari 0 – 15 cm disebut dekat, pada jarak 12 – 28 cm disebut sedang dan pada jarak 25 ke atas disebut jauh. Klasifikasi tersebut menjadi input atau masukan pada proses fuzzy dan pembentukan rule bases berdasarkan seluruh fungsi keanggotaan.

Perancangan pengembangan robot hexapod menggunakan logika fuzzy pada awalnya hanya menggunakan 3 buah sensor atau 3 fungsi keanggotaan sebagai masukan proses fuzzy. Tetapi, pada saat pengamatan dan percobaan meletakkan robot pada posisi tertentu, robot mendeteksi masukan

yang sama pada lingkungan atau posisi dinding terhadap robot lebih dari satu sehingga kemungkinan besar terjadi kesalahan bergerak dan tabrakan dengan dinding. Sehingga peneliti menambahkan satu sensor pada posisi serong pada bagian tubuh/badan robot sesuai yang telah dijelaskan pada analisis sensor ultrasonik pada bagian letak sensor ultrasonik.

Berdasarkan pengalaman, peneliti mengilustrasikan robot pada Gbr. 9 menampilkan posisi robot pada beberapa area sebagai penentuan aturan logika fuzzy. Semua kemungkinan yang terjadi dengan menggunakan rule base 4 masukan ditampilkan pada tabel berikut, namun hanya beberapa aturan yang peneliti masukkan pada rule base algoritme fuzzy yang diterapkan pada robot karena 2 alasan. Alasan pertama, aturan tersebut muncul pada kondisi robot harus melakukan pergerakan/manuver berbelok atau maju belok, dan alasan kedua yaitu aturan tersebut memiliki peluang yang sangat kecil untuk muncul pada lingkungan robot berjalan.

1. Analisis hasil penerapan logika fuzzy pada robot

Robot diletakkan pada kondisi tertentu kemudian jarak yang terbaca pada sensor depan, serong, samping 1 dan samping 2 dicatat. Gerakan referensi adalah gerakan yang diputuskan oleh peneliti berdasarkan pengamatan posisi robot berada. Gerakan logika fuzzy didapat dari perhitungan aplikasi Matlab dengan memasukkan input atau jarak yang terbaca dari keempat sensor. Gerakan Aktual adalah gerakan yang dilakukan oleh robot setelah menggunakan algoritme logika fuzzy.

Tabel 2 Hasil pengujian fuzzy yang diterapkan pada robot

No.	Nilai Sensor / Input				Gerakan Referensi	Gerak Logika Fuzzy	Gerak Aktual
	Depan	Serong	Samping 1	Samping 2			
1.	41	26	16	16	Maju	Maju	Maju
2.	14	28	92	92	Belok Kanan	Belok Kanan	Belok Kanan
3.	12	18	10	9	Belok Kiri	Belok Kiri	Belok Kiri
4.	38	26	13	12	Maju	Maju Kanan	Maju Kanan

					Kan an		
5.	79	11	11	12	Maj u Kiri	Maju Kiri	Maju Kiri
6.	54	11 43	16	16	Maj u	Maju	Maju
7.	13	11 43	17 5	11 45	Bel ok Kan an	Belok Kanan	Belok Kanan
8.	17 1	11 43	18	26	Maj u	Maju	Maju
9.	42	26	16	16	Maj u	Maju	Maju
10.	14	17	11	10	Bel ok Kiri	Belok Kiri	Belok Kiri

Berdasarkan data tabel di atas, dilakukan analisis dengan menggunakan rumus berikut.

$$Ka = \frac{\sum Aksi}{\sum n Aksi} \times 100\%$$

$$Ka = \frac{10}{10} \times 100\%$$

$$Ka = 100\%$$

Besar keberhasilan dari penerapan algoritme logika fuzzy pada gerak robot hexapod sama dengan 100% dengan seluruh percobaan berhasil dilakukan.

2. Analisis kecepatan optimal pada robot

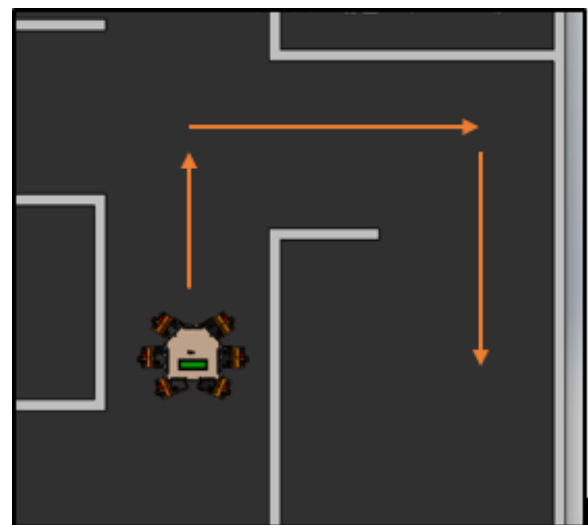
Analisis ini dilakukan dengan tujuan menentukan kecepatan optimal robot saat berjalan dengan mengatur speed (T) dan delay (D) pada aplikasi RTrobot servo controller ketika pembuatan gerakan. Speed memiliki fungsi sebagai lama perpindahan servo sampai pada derajat yang diprogram, sedangkan delay yaitu lama waktu servo akan menunggu dalam keadaan diam ketika telah berpindah derajat. Analisis dilakukan dengan meletakkan robot pada suatu lintasan, kemudian robot akan berjalan pada jarak yang sama yaitu 1 meter. Setiap percobaan berjalan maju, speed dan delay akan diatur kemudian percobaan akan dianalisis untuk menentukan pengaturan speed dan delay yang tepat sehingga robot dapat berjalan optimal.

Tabel 3 Pengukuran waktu tempuh robot berjalan berdasarkan speed dan delay

No	Speed (T) dalam satuan ms	Delay (D) dalam satuan ms	Waktu dalam satuan s
1	100	100	20,64
2	90	90	19,80
3	80	80	18,97
4	70	70	15,10
5	60	60	13,65
6	50	50	12,65
7	40	40	15,10

Berdasarkan Tabel 3, pengaturan speed dan delay yang tepat pada nilai 50 ms, robot berjalan pada lintasan 1 meter selama 12,65 detik. Sedangkan ketika speed dan delay diatur pada nilai 40 ms, pergerakan robot terlalu cepat sehingga gerakan robot acak-acakan dan mengakibatkan pergerakan tidak terlalu efektif (robot berjalan tetapi terlalu bergetar sehingga mengganggu arah pergerakan), robot berjalan tetapi kadang ke samping dan ke belakang.

3. Uji coba robot berjalan masuk ruangan



Gambar 11 Jalur gerak robot memasuki ruangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon robot terhadap setiap kondisi yang dilewati robot berdasarkan pengamatan actual (peneliti) dan

mengukur rata-rata waktu tempuh robot berjalan masuk ke dalam ruangan. Robot apabila melewati garis pintu, maka robot dinyatakan telah melewati pintu. Pengukuran waktu dimulai pada saat robot mulai bergerak hingga seluruh badan robot hingga kaki melewati garis pintu ruangan. Pengujian dilakukan secara berulang dan diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 4 Pengukuran waktu robot berjalan masuk ruangan

No.	Waktu (s)
1	21
2	21
3	22
4	21
5	22
6	22
7	23
8	21
9	23
10	22
Rata-rata	21,8

Setelah dilakukan beberapa kali percobaan dan berdasarkan Tabel 4, rata-rata waktu yang ditempuh robot masuk ke dalam ruangan sebesar 21,8 detik berdasarkan beberapa kali pengulangan gerakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Implementasi logika fuzzy pada robot hexapod dilakukan dengan menentukan input, proses dan output pada robot hexapod. Robot memiliki sensor ultrasonik sebagai input dan data jarak yang didapat digunakan untuk menentukan nilai derajat keanggotan dari setiap himpunan fuzzy dan rule base yang dimana data tersebut akan digunakan pada tahap proses dengan menggunakan komponen ESP 32S.
- Hasil pengujian algoritme gerak robot hexapod menggunakan logika fuzzy memiliki keberhasilan yang sangat baik dalam pemilihan gerakan berdasarkan lingkungan dari robot. Berdasarkan 10 percobaan yang dilakukan

didapatkan seluruh aksi yang dilakukan robot sesuai dengan aksi referensi atau pengamatan peneliti dari lokasi robot berada.

- Speed memiliki fungsi sebagai lama perpindahan servo sampai pada derajat yang diprogram, sedangkan delay yaitu lama waktu servo akan menunggu dalam keadaan diam ketika telah berpindah derajat. Kecepatan gerak robot yang paling optimal pada pengaturan speed dan delay sebesar 50 ms.

5. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran terkait penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pengembangan yang dilakukan hanya sebatas robot dapat melewati dinding, robot masih belum bisa melakukan navigasi kembali ke titik start atau awal ketika telah masuk dari ruangan, sehingga perlu penambahan algoritme baru untuk mengatasi masalah tersebut.
- Kecepatan robot masih mungkin ditingkatkan dengan mengganti komponen motor servo JX digital dengan menggunakan servo Dynamixel yang memiliki kemampuan yang lebih daripada motor servo yang digunakan pada penelitian ini.
- Robot dapat dikembangkan pada tugas-tugas tertentu, seperti memadamkan api pada suatu ruangan. Pengembangan dilakukan dengan menambahkan sensor api seperti UVTron sebagai pendeteksi api dengan tingkat akurasi tinggi dan jangkauan yang luas.
- Pergerakan atau Output robot juga dapat ditambahkan disesuaikan dengan lintasan robot, seperti menaiki tangga atau menaiki papan.

Daftar Pustaka

- Anggoro, B., & Munadi, D. (2013). *Desain Pemodelan Kinematik dan Dinamik Humanoid Robot*. Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University.
- Avrilyantama, H. (2015). *Pengembangan Robot Hexapod untuk Melacak Sumber Gas*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Awal, H. (2016). *Algoritma Fuzzy Logic dan Wallfollower pada Sistem Navigasi Robot Hexapod Berbasis Mikrokontroler Avr*. Komputer Teknologi Informasi, 2(1).
- Fahmizal, F., Arrofiq, M., & Mayub, A. (2018). *Identifikasi Pemodelan Matematis Robot Wall Following*. Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan

- Teknologi Informasi (JNTETI), 7(1), 79–88.
- [5] Hasyim, Y. (2017). *Implementasi Sistem Navigasi Robot Wall Following dengan Metode Fuzzy Logic untuk Robot Pemadam Api Divisi Berkaki Onix II pada KRPAI Tahun 2017*. Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika, 2(1), 224409.
- [6] Hidayat, M. Y., & Wijaya Kurniawan, R. M. (2018). *Implementasi Algoritma Wall Following pada Manuver Robot KRPAI Quadruped Omni Direction Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno*. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer E-ISSN, 2548, 964X.
- [7] Jaedun, A. (2011). *Metodologi Penelitian Eksperimen*. Fakultas Teknik UNY, 12.
- [8] Munir, R. (2011). *Sistem Inferensi Fuzzy*. Teknik Informatika-STEI ITB, Bandung.
- [9] Rahmat, B., & Nugroho, B. (2019). *Pemrograman Fuzzy dan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Sistem Kendali Cerdas*. Indomedia Pustaka.
- [10] Ramadhan, M. F. (2017). *Perancangan Kontrol Stabilitas Hexapod Robot Menggunakan Metode Neuro-Fuzzy*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Richey, R. C., Klein, J. D., & Nelson, W. A. (2009). *Development Research: Studies of Instructional Design and Development*.
- [12] Salman, A. G. (2012). *Pemodelan Dasar Sistem Fuzzy*. Binus University School of Computer Science.
<https://socs.binus.ac.id/2012/03/02/pemodelan-dasar-sistem-fuzzy/>
- [13] Sitorus, L. (2015). *Algoritma dan Pemrograman*. Penerbit Andi.
[https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=MRHwCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA149&dq=Sitorus,+L.++\(2015\).+Algoritme+dan+Pemrograman.+Penerbit+Andi.&ots=02calYM-R0&sig=EpkDeron66szyUdW3VOeva7psQo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=MRHwCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA149&dq=Sitorus,+L.++(2015).+Algoritme+dan+Pemrograman.+Penerbit+Andi.&ots=02calYM-R0&sig=EpkDeron66szyUdW3VOeva7psQo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [14] Suratno, S., Sudjadi, S., & Triwiyatno, A. (2011). *Pengaruh Perbedaan Tipe Fungsi Keanggotaan pada Pengendali Logika Fuzzy terhadap Tanggapan Waktu Sistem Orde Dua Secara Umum*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip.
- [15] Timur, M. B. B., Gaffar, A. F. O., & Wajiansyah, A. (2017). *Desain dan Implementasi Kendali Cerdas untuk Robot Quadpod (Berkaki Empat)–Studi Kasus Robot Pemadam Api (RPA)*. JTT (Jurnal Teknologi Terpadu), 5(2), 140–145.
- [16] Wahyudi, R. (2015). *Kontrol Kecepatan Robot Hexapod Pemadam Api Menggunakan Metoda Logika Fuzzy*. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 4(2), 227–234.
- [17] Wardani, A. R., Nasution, Y. N., & Amijaya, F. D. T. (2017). *Aplikasi Logika Fuzzy dalam Mengoptimalkan Produksi Minyak Kelapa Sawit Di PT. Waru Kaltim Plantation Menggunakan Metode Mamdani*. Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer, 12(2), 94.
<https://doi.org/10.30872/jim.v12i2.651>
- [18] Wasil, M. (2014). *Kontrol Ultrasonic Range Finder dan Pergerakan Robot Pemadam Api Menggunakan Fuzzy Logic*. Jurnal Mikrotek, 1(3), 125–134.