

Penerapan Pembelajaran Logika Fuzzy pada Robot Penghindar Rintangan

Renny Maulidda¹⁾, Selamat Muslimin¹⁾, Hidayati Ami²⁾
^{1,2*)} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya,
^{3*)} Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya,
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan 30139

e-mail: *rennymaulidda@polsri.ac.id

Abstrak

Perancangan prototype robot penghindar rintangan menggunakan metode pengendali logika fuzzy dibuat untuk sarana pembelajaran dan pengimplementasian sistem cerdas. Robot penghindar rintangan ini bisa diaplikasikan pada sistem keamanan kendaraan, yang efektif untuk memberikan keselamatan bagi pengemudi dan penumpang kendaraan bermotor, karena robot ini dirancang untuk menghindari segala rintangan yang ada pada lintasannya. Robot penghindar rintangan ini dirancang dengan berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan navigasi menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang ditempelkan pada sebuah motor servo. Aktuator yang digunakan adalah 2 buah motor DC serta pemrograman menggunakan perangkat lunak Arduino dengan mengimplementasikan pengendali logika fuzzy untuk pengukuran jarak yang dibaca oleh sensor dan robot dapat menentukan arah pergerakan selanjutnya. Sehingga setelah diuji coba, diperoleh hasil bahwa robot dapat diimplementasikan sebagaimana yang diharapkan.

Kata kunci—logika fuzzy, robot, sistem cerdas

Abstract

The design of the obstacle avoidance robot prototype uses the fuzzy logic control method which is made for learning facilities and implementing intelligent systems. This obstacle avoidance robot can be applied to a security system, which is effective in providing safety for drivers and passengers of motorized vehicles, because this robot is designed to avoid all obstacles in its path. This obstacle avoidance robot is designed based on an Arduino Uno microcontroller with navigation using an ultrasonic sensor HC-SR04 attached to a servo motor. The actuators used are 2 DC motors and programming using Arduino software by implementing fuzzy logic control to measure the distance read by the sensor and the robot can determine the direction of the next movement. So that after testing, the results obtained that the robot can be implemented as expected.

Keywords—fuzzy logic, robot, intelligent system

1. PENDAHULUAN

Kemajuan dan perkembangan otomasi telah mendorong berbagai pihak untuk meningkatkan kemampuan dibidang teknologi, salah satunya robotika. Saat ini hampir semua industri manufaktur menggunakan robot sebagai perangkat yang dapat diprogram untuk melakukan pekerjaan yang memerlukan keyahanan fisik, ketelitian tinggi, berbahaya, nerulang-ulang dan sebagainya [1]. Awalnya, robot hanya digunakan untuk melakukan fungsi spesifik yang tidak memerlukan perpindahan tempat yang dikenal dengan robot manipulator. Namun,

seiring perkembangan, telah banyak penelitian robot yang dapat berpindah tempat yang disebut dengan mobile robot yang dapat digunakan dalam rumah tangga maupun industri [2].

Salah satu mobile robot yang telah banyak dilakukan penelitian yaitu robot penghindar rintangan (avoider obstacle robot). Robot ini menggunakan sensor ultrasonik sebagai masukan untuk diproses oleh pengendali dan akan menghasilkan keluaran berupa pergerakan aktuator. Aktuator adalah roda yang digerakkan oleh komponen motor DC yang ada pada mobile robot sebagai penggerak badan robot agar dapat berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain [3].

Kendali cerdas pada robot diperlukan agar robot dapat berpikir atau bertindak secara otomatis layaknya makhluk hidup. Ada banyak metode kendali cerdas, salah satunya adalah logika fuzzy. Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem kendali dapat dibangun dengan lebih mudah, sederhana dan fleksibel untuk menangani sistem tanpa harus membangun model matematis [4]. Berbagai penelitian tentang penerapan logika fuzzy pada robot penghindar rintangan ini antara lain pembuatan prototype untuk menjaga jarak dikarenakan mewabahnya virus covid-19 [5]. kemudian logika fuzzy juga diaplikasikan juga pada robot pemadam api [6], robot navigasi [7], robot roda dua [8] dan sistem peringatan jarak aman sepeda motor [9]. Selain itu, logika fuzzy juga bisa diterapkan untuk pemilihan mahasiswa terbaik [10] dan prediksi atau peramalan cuaca juga bisa diaplikasikan menggunakan logika fuzzy [11]. Beberapa metode sistem inferensi fuzzy seperti metode Mamdani dan Sugeno juga telah dilakukan penelitian yang diimplementasikan pada teknik sistem cerdas untuk navigasi robot [12] dan seleksi mahasiswa berprestasi [13]

Penelitian ini ditujukan untuk kegiatan pembelajaran tentang sistem cerdas dimana robot penghindar rintangan ini dapat mengatur pembacaan jarak antara sensor dan rintangan yang kemudian akan memberikan perintah kepada robot untuk melakukan pergerakan berdasarkan pengetahuan atau program yang telah dibuat. Dengan menggunakan metode logika fuzzy, robot dapat mengambil keputusan untuk menentukan arah pergerakan robot berdasarkan pembacaan jarak dari sensor. Pengujian terhadap sensor ultrasonik dilakukan untuk mengukur keakuratan pembacaan jarak. Selain itu, pengujian beban terhadap ketahanan baterai juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besarnya beban yang dihasilkan oleh robot penghindar rintangan dalam kurun waktu tertentu.

2. METODE PENELITIAN

Beberapa tahapan dilakukan dalam penelitian ini antara lain studi kepustakaan, perancangan dan implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, dan pengujian dan evaluasi yang dijelaskan dalam subbab berikut.

2.1 Tahapan Studi Kepustakaan

Tahapan ini dilakukan dengan cara mengumpulkan jurnal-jurnal dan referensi terpercaya lain yang relevan dan mendukung penelitian tentang membangun sistem cerdas pengendali logika fuzzy pada robot penghindar rintangan. Pada tahapan ini dijelaskan tentang pengendali logika fuzzy dan komponen-komponen pendukung rancang bangun robot penghindar rintangan.

2.1.1 Pengendali Logika Fuzzy

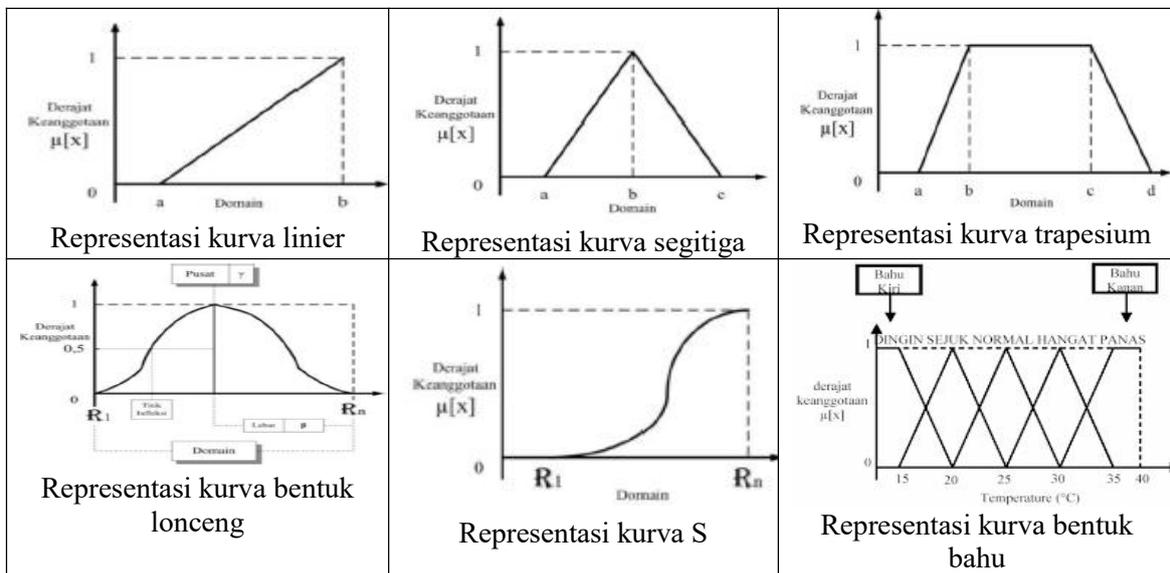
Sistem cerdas saat ini sudah berkembang dalam sistem komputasi salah satu penerapannya adalah Logika fuzzy yang pertama kali dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh pada 1965 tentang teori himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy adalah satu kelompok yang mewakili keadaan tertentu dalam variabel fuzzy. Himpunan fuzzy memiliki 2 atribut yaitu linguistik dan numerik: [13]

1. Atribut linguistik (himpunan fuzzy) adalah penamaan untuk suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan yang menggunakan bahasa manusia pada umumnya, seperti: muda, parobaya dan tua.

- Atribut numerik (himpunan non fuzzy) adalah suatu angka yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel fuzzy, seperti: 40, 25, 50. Variabel fuzzy merupakan variabel yang dibahas, misalnya jarak, usia, suhu dan lainnya.

Logika fuzzy diaplikasikan pada hal-hal yang mengandung unsur ketidakpastian dan samar yang bernilai abu-abu antara hitam dan putih atau 0 dan 1. Teori himpunan fuzzy dapat digunakan untuk menangani masalah tersebut. Dalam praktiknya sehari-hari, proses pengambilan keputusan dan logika pemikiran manusia pada umumnya menggunakan variabel linguistik sehingga dengan berkembangnya sistem cerdas menggunakan logika fuzzy ini, dapat menjembatani bahasa mesin yang serba tepat dengan bahasa manusia yang cenderung tidak signifikan [14].

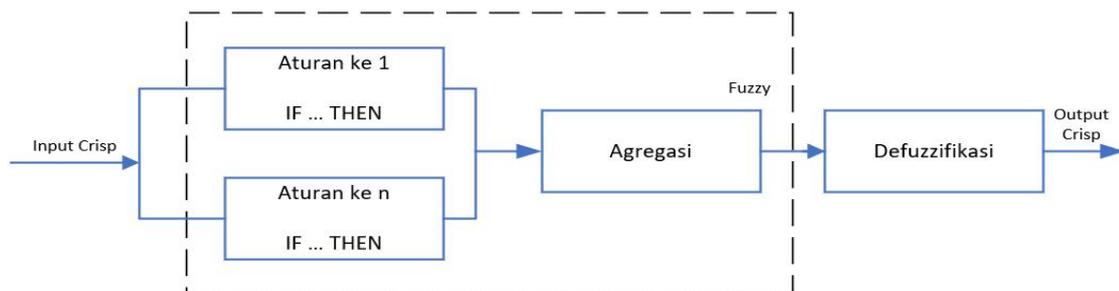
Fungsi keanggotaan (membership function) adalah adalah kurva yang menunjukkan definisi titik-titik data masukan ke dalam nilai keanggotaannya atau sering disebut juga derajat keanggotaan yang memiliki rentang antara 0 sampai 1. Ada beberapa representasi fungsi keanggotaan yang bisa digunakan antara lain representasi kurva linier, segitiga, trapesium, bentuk lonceng, kurva S dan kurva bahu yang ditunjukkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Representasi kurva keanggotaan

2.1.2 Pengendali Logika Fuzzy

Sistem inferensi fuzzy (Fuzzy Inference System (FIS)) merupakan kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan bentuk IF THEN dan penalaran fuzzy. Sistem inferensi fuzzy menerima masukan crisp. Masukan ini kemudian dilanjutkan ke basis aturan dalam bentuk IF THEN. Akan tetapi keluaran masih dalam bentuk fuzzy. Untuk mendapatkan keluaran crisp dapat dilakukan dengan metode defuzzifikasi [15].



Gambar 2. Diagram blok sistem inferensi fuzzy

Terdapat beberapa model sistem inferensi fuzzy, antara lain:

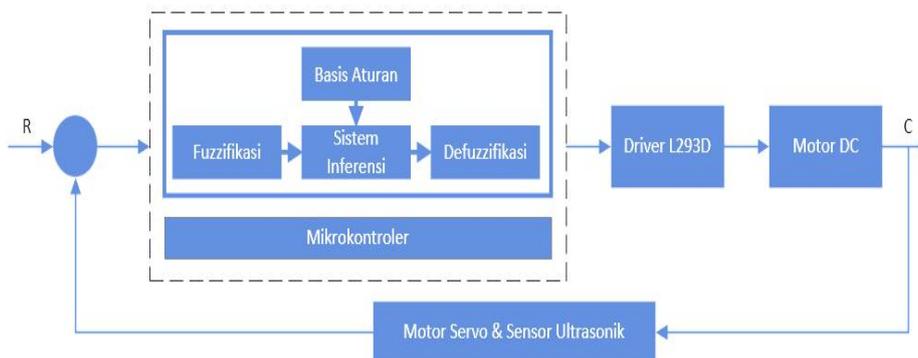
1. Metode Tsukamoto
Setiap konsekuen atau keluaran pada aturan yang berbentuk IF THEN harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Sebagai hasilnya, keluaran hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (crisp) berdasarkan alfa predikat. Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata tersebut.
2. Metode Mamdani
Metode Mamdani dikenal juga dengan nama Metode Max-Min. Pada metode mamdani terdapat 6 tahapan yaitu pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan defuzzifikasi.
3. Metode Sugeno
Penalaran dengan metode sugeno hampir sama dengan penalaran Mamdani hanya saja keluaran sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linier.

2.2 Tahapan Perancangan Sistem

Tahapan ini menjelaskan tentang perancangan sistem yang akan dibangun, baik berupa perancangan perangkat keras (perancangan mekanik dan elektronik) maupun perangkat lunak (algoritma). Perancangan merupakan tahap terpenting dari keseluruhan sistem karena pemilihan komponen berdasarkan spesifikasi dan karakterisknya harus tepat dan sesuai dengan sistem yang akan dibangun dan diintegrasikan serta diimplementasikan dengan algoritma yang dirancang sehingga dapat mempermudah pengerjaan dan meminimalisir atau menghindari kerusakan pada komponen.

2.2.1 Blok Diagram

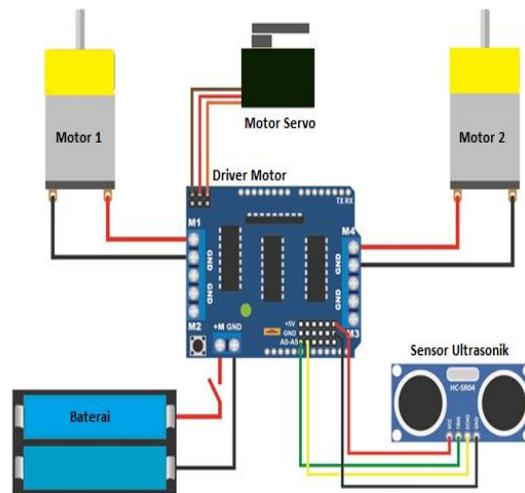
Blok diagram merupakan salah satu bagian terpenting dalam perancangan, karena akan diketahui cara kerja dari rangkaian keseluruhan yang digunakan. Sehingga keseluruhan blok diagram rangkaian tersebut akan menghasilkan suatu sistem yang dapat difungsikan atau dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Berikut adalah blok diagram dari rancang bangun robot penghindar rintangan dengan pengendali logika fuzzy:



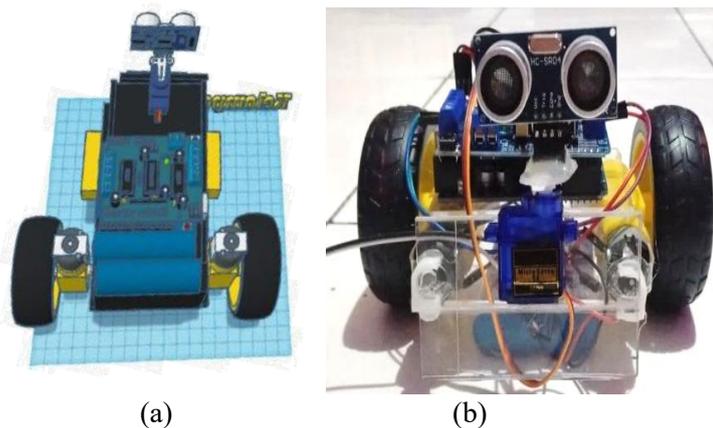
Gambar 3. Blok diagram sistem kendali robot

Struktur dasar dari pengendali logika fuzzy terdiri dari 3 tahapan, yaitu fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Langkah pertama yang dilakukan untuk sistem pengendali logika fuzzy yaitu fuzzifikasi yaitu adalah proses pemetaan nilai crisp (numerik) ke dalam himpunan fuzzy dan menentukan derajat keanggotaan. Selanjutnya adalah inferensi yaitu mengaplikasikan dan mengevaluasi rule base dengan masukan yang diperoleh dari proses fuzzifikasi. Yang ketiga adalah defuzzifikasi yaitu proses oengubahan data-data fuzzy (linguistik) menjadi data non-

fuzzy (numerik) yang dihasilkan dari proses inferensi dan akan diambil oleh perangkat sistem pengendali. Berikut merupakan gambar skematik dan desain perancangan hardware:



Gambar 4. Diagram skematik robot



Gambar 5. a. Desain robot , Gambar 5. b. Robot penghindar rintangan dengan logika fuzzy

Robot penghindar rintangan yang dibuat ini menggunakan dua buah roda yang digerakkan oleh motor DC. Pergerakan robot memanfaatkan pengaturan kecepatan putar roda kanan dan kiri yang berbeda sehingga melalui pengaturan ini posisi dan orientasi robot dapat diatur dengan mudah. Serta nilai masukan yang didapatkan dari sensor ultrasonic akan mengatur gerakan dari motor servo dan motor DC sebagai penggerak robot.

2.2.2 Simulasi Pengendali Logika Fuzzy dengan Scilab

Pengendali logika fuzzy yang digunakan adalah untuk membuat robot dapat bernavigasi. Proses Pengendali logika fuzzy ini dapat dilihat pada gambar 7. Proses dimulai dengan data jarak, ketika sensor depan mendeteksi hambatan, maka robot akan berhenti dan motor servo akan bergerak otomatis untuk mendeteksi halangan yang terdapat pada sisi kiri dan kanan robot. Semua data tersebut akan diproses sesuai peraturan pada aturan dasar untuk kemudian menentukan gerakan yang akan dilakukan oleh robot. Aturan dasar untuk sistem ini didasarkan pada teori yang dikembangkan oleh Mamdani. Metode untuk menghitung keluaran dari pengendali dengan tipe Mamdani; Min-Maks dengan *Center of Area* defuzzifikasi.



Gambar 7. Alur Pengendali Logika Fuzzy

Aturan yang digunakan ditampilkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Aturan Fuzzy

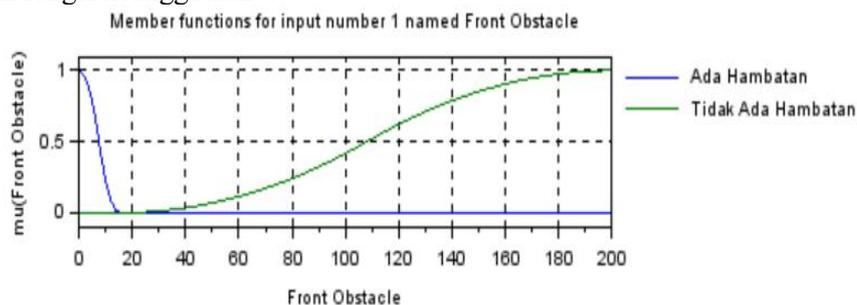
Input			Output	
Front Obstacle	Left Obstacle	Right Obstacle	Motor Kiri	Motor Kanan
Ada hambatan	-	-	Stop	Stop
Ada hambatan	Dekat	Dekat	Mundur	Mundur
Ada hambatan	Dekat	Sedang	Maju	Mundur
Ada hambatan	Dekat	Jauh	Maju	Mundur
Ada hambatan	Sedang	Dekat	Mundur	Maju
Ada hambatan	Sedang	Sedang	Maju	Mundur
Ada hambatan	Sedang	Jauh	Maju	Mundur
Ada hambatan	Jauh	Dekat	Mundur	Maju
Ada hambatan	Jauh	Sedang	Mundur	Maju
Ada hambatan	Jauh	Jauh	Maju	Mundur
Tidak ada hambatan	-	-	Maju	Maju

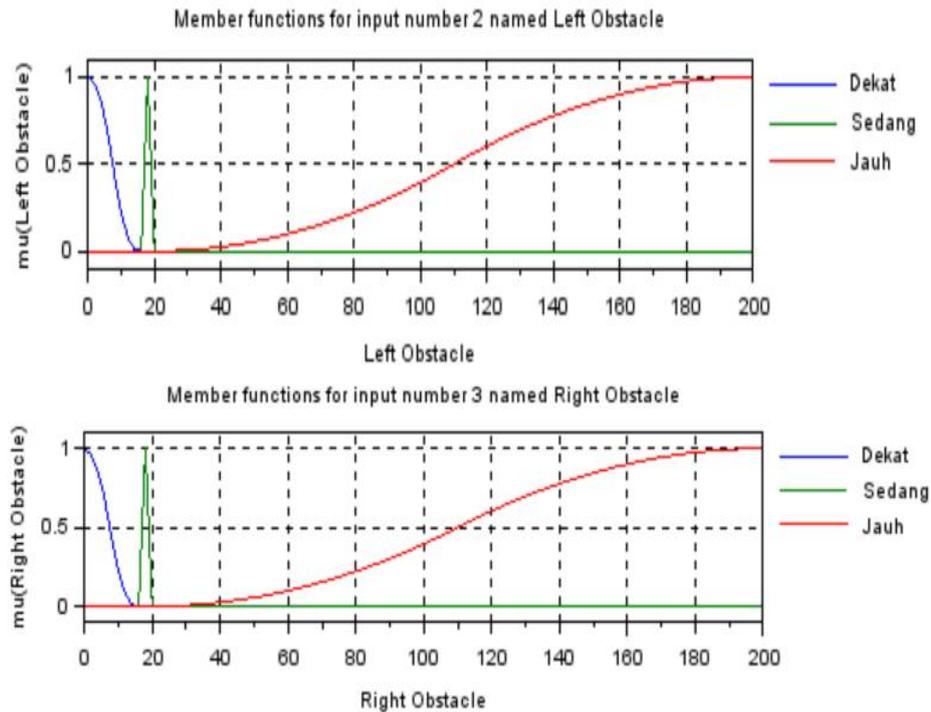
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan evaluasi dilakukan pada sistem secara keseluruhan untuk mengetahui apakah sistem yang dibangun telah memenuhi kinerja yang diinginkan. Pengujian dan evaluasi yang dilakukan antara lain aturan dasar pada logika fuzzy, pengujian sensor ultrasonik dan pengujian beban terhadap ketahanan baterai.

3.1 Logika Fuzzy

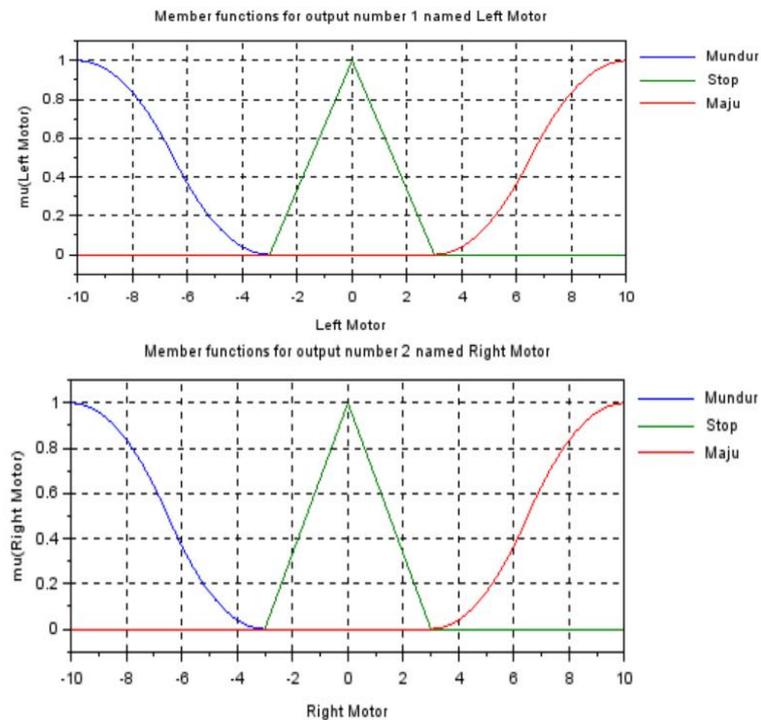
Menentukan fungsi keanggotaan





Gambar 8. Fungsi keanggotaan masukan

Pada gambar 8 ditampilkan membership function input dimana robot hanya memiliki satu sensor, tetapi ketika robot mendeteksi adanya hambatan dan berhenti, maka motor servo secara otomatis akan bergerak ke kanan dan ke kiri untuk mendeteksi jarak hambatan yang terdapat di sisi kanan dan kiri robot. Sehingga didapatkan 3 input, yaitu (a) front obstacle, (b) left obstacle dan (c) right obstacle, dimana jarak maksimal yang dapat dideteksi oleh sensor adalah sejauh 200 cm.



Gambar 9. Fungsi keanggotaan keluaran

Pada gambar 9 ditampilkan membership function output yaitu motor kiri dan motor kanan. Output yang akan dieksekusi oleh robot adalah hasil defuzzifikasi dari rulebase berdasarkan hasil membership function input. Dengan garis besar defuzzifikasi adalah ketika terdapat hambatan di depan robot, maka robot akan berhenti dan secara otomatis mendeteksi jarak hambatan di sisi kiri dan kanan robot. Kemudian, robot akan menentukan arah sesuai dengan jarak sisi yang lebih luas dan kemudian terus berlanjut untuk bergerak.

3.2 Sensor Ultrasonik

Pengujian terhadap sensor ultrasonik dilakukan untuk mengukur keakuratan pembacaan jarak. Berikut hasil pengujian pembacaan jarak dari sensor ultrasonik:

Tabel 2. Pengujian Jarak Sensor Ultrasonik

No	Jarak Sebenarnya (cm)	Jarak Aktual (cm)	Kesalahan (%)
1	10	10	0
2	20	20	0
3	30	30	0
4	40	40	0
5	50	50	1.25
6	60	60	1.25
7	70	70	1.25
8	80	80	1.25
9	90	90	1.25
10	100	100	1.25

Dari data yang telah didapat menunjukkan keakuratan pengukuran dari sensor ultrasonik HC-SR04. Dari 10 percobaan pengukuran jarak hanya terdapat 5 kesalahan pengukuran. Masing-masing pengukuran memiliki kesalahan 1.25%. Selain itu data tersebut juga menunjukkan bahwa semakin jauh jarak obyek pengukuran maka akurasi pengukurannya cenderung menurun.

3.3 Beban Alat terhadap Baterai

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besarnya beban yang dihasilkan oleh robot penghindar rintangan dalam kurun waktu tertentu. Beban yang telah diketahui dapat menjadi acuan bagi penulis untuk mengetahui tingkat efisiensi dan efektifitas penggunaan robot penghindar rintangan dalam pengaplikasian di kehidupan sehari – hari. Berikut adalah tabel hasil pengujian beban alat terhadap baterai.

Tabel 3 Tabel Hasil Pengujian Beban Alat terhadap Baterai

No	Waktu (s)	Tegangan Baterai (V)	Tegangan Masukan (V)	Tegangan Keluaran (V)	
				Motor 1	Motor 2
1	15	15	10	8	8
2	30	15	10	7	6.8
3	45	15	8	5.8	5.8
4	60	11	6	4	4
5	120	9	4	1.6	1.6

Dapat diperhatikan dari tabel hasil pengujian diatas, semakin lama waktu penggunaan dari robot penghindar rintangan akan berdampak terhadap berkurangnya tegangan yang dihasilkan oleh catu dayanya yaitu baterai. Nilai tegangan baterai adalah nilai tegangan yang didapatkan dari konsumsi pemakaian mikrokontroler (arduino uno) serta sensor ultrasonic dan motor servo. Sedangkan tegangan masukan adalah nilai tegangan yang didapatkan saat baterai dihubungkan dengan motor driver. Hasil keluaran dari motor DC memiliki selisih yang lebih sedikit dengan tegangan masukan dibandingkan dengan tegangan baterai. Hal ini dikarenakan tegangan masukan langsung terhubung dengan motor driver yang merupakan penghubung antara arduino uno dengan motor DC.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap sistem rancang bangun robot penghindar rintangan ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa robot penghindar rintangan dapat menghindari halangan yang ada didepan, kanan dan kiri dengan baik berdasarkan aturan dasar logika fuzzy yang diterapkan, hasil dari pengujian dan evaluasi baik dari perangkat keras dan perangkat lunak dapat terintegrasi dan berkomunikasi sebagaimana yang diharapkan, kemudian hasil pengiriman data dari sensor ultrasonik ke mikrokontroler, mikrokontroler ke motor servo, dan motor DC sesuai dengan batasan yang telah ditentukan.

5. SARAN

Penelitian ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut mengingat bahwa banyak sekali pengaplikasian dari mobile robot dan pengendali logika fuzzy itu sendiri. Banyak metode pada pengendali logika fuzzy yang masih harus diteliti lagi agar mendapatkan hasil yang bervariasi dan lebih kompleks dan terutama sebagai sarana pembelajaran yang bisa dikembangkan lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang berkontribusi atas penelitian ini. Selain itu, terima kasih juga kepada Jurnal Penelitian Ilmu dan Teknologi Komputer (JUPITER) Politeknik Negeri Sriwijaya yang bersedia menerbitkan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Najmurokhman, K. U. Kuenandar, Sumabroto, E. C. Djamal and F. Taufik, "Speed Control and Obstacle Avoidance of A Hexapod Mobile Robot using Mamdani type Fuzzy Logic Controller," in *International Conference on Instrumentation, Control and Automation*, Bandung, Indonesia, 2019.
- [2] Zulkifli, B. W. Sanjaya and H. Priyaman, "Implementasi Logika Fuzzy pada Robot Beroda Penghindar Halangan Berbasis Arduino Uno R3," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2017.
- [3] R. Y. Endra, Y. Aprilinda, A. Cucus, F. Ariani, Erlangga and D. Kurniawan, "Otomatisasi Navigasi Penghindar Obstacle pada Mobile Robot dengan Metode Fuzzy Sugeno dan Mikrokontroler Arduino," *Jurnal Sistem Informasi dan Telematika (Telekomunikasi, Multimedia dan Informatika)*, vol. 11, no. 2, pp. 110-117, Desember 2020.

- [4] A. Wajiansyah, A. Bramanto, Supriadi and S. Nur, "Implementasi Fuzzy Logic pada Robot Line Follower," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 395-402, September 2018.
- [5] M. Amin and M. S. Novelan, "Sistem Kendali Obstacle Avoidance Robot Sebagai Prototype Social Distancing Menggunakan Sensor Ultrasonic dan Arduino," *Jurnal Nasional Informatika dan teknologi Jaringan*, vol. 5, no. 1, pp. 148-153, 2020.
- [6] F. Maspiyanti and N. Hadiyanti, "Robot Pemadam Api Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 3, no. 2, pp. 1-10, 2017.
- [7] H. Omrane, M. S. Masmoudi and M. Masmoudi, "Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile Robot Navigation," *Computational Intelligent nad Neoruscience*, vol. 2016, pp. 1-10, 2016.
- [8] A. Aouf, L. Boussaid and A. Sakly, "Same Fuzzy Logic Controler for Two-Wheeled Mobile Robot Navigation in Strange Environment," *Journal of Robotics*, vol. 2019, pp. 1-11, 2019.
- [9] Samsudin, M. Ikhsan and M. J. Ritonga, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Peringatan Jarak Aman Sepeda Motor Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Rekayasa Sistem Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 114-119, Oktober 2010.
- [10] A. Wantoro, "Komparasi Metode Perhitungan Klasik dengan Logika Fuzzy (Mamdani dan Sugeno) pada Perhitungan pemilihan mahasiswa terbaik," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 15, no. 1, pp. 42-50, 2018.
- [11] B. Siswoyo and A. Zaenal, "Model Peramalan Fuzzy Logic," *Jurnal Manajemen Informatika*, vol. 8, no. 1, pp. 1-13, 2018.
- [12] H. Rawat, D. R. Parhi, P. B. Kumar, K. K. Pandey and A. K. Behera, "Analysis and Investigation of Mamdani Fuzzy for Control and Navigation of Mobile Robot and Exploration of Different AI Technique Pertaining to Robot Navigation," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 9, no. 4, pp. 158-170, April 2018.
- [13] A. Yunan and M. Ali, "Studying and Implementation of the Fuzzy Mamdani and Sygeno Methods in Decision Making on Selection of Outstanding Students at the South Aceh Polytechnic," *Jurnal Inovasi Teknologi dan Rekayasa*, vol. 5, no. 2, pp. 152-164, Desember 2020.
- [14] S. Kusumadewi, *Artificial Intelligent (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- [15] A. Setiawan, B. Yanto and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy dengan Matlab*, Bali: Jayapangus Press, 2018.
- [16] S. Hartati and S. Kusumadewi, *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.