

Perancangan Kendali *Fuzzy* Tipe 2 pada Model Robot *Line Follower*

M. Decky Akmal Djulfikar*, Kartono Wijayanto, Adnan Rafi Al Tahtawi

Program Studi Teknik Otomasi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga 40559, Indonesia

*dekyakma105@gmail.com

Abstrak

Pengendalian pada robot *line follower* sangatlah penting dalam beberapa aplikasi terutama pengendalian mengenai posisi laju robot dalam mengatasi beberapa gangguan. Penelitian ini dibuat untuk mengetahui seberapa handal penerapan *interval fuzzy* tipe 2 terhadap pengendalian robot *line follower*. Berlainan dengan logika *fuzzy* tipe 1, pengendali ini memiliki *Footprint of Uncertainty* (FoU) disetiap variabel linguistik. Kelebihan inilah yang menyebabkan kendali logika *fuzzy* tipe 2 memiliki karakteristik kekokohan terhadap ketidakpastian parameter sistem. Penelitian ini menggunakan simulasi pada aplikasi Matlab/Simulink dalam pembuatan model robot dan pengendali. Hasilnya penerapan *interval fuzzy* tipe 2 pada simulasi ini lebih unggul pada semua hasil pengujian di bandingkan logika *fuzzy* tipe 1 dengan nilai integral *error* terkecil yaitu 0,616.

Kata kunci: Robot *Line Follower*, *Fuzzy Logic Type 1*, *Interval Fuzzy Type 2*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan metode pengendalian seperti *fuzzy* terutama logika *fuzzy* tipe 1 sangatlah mudah untuk diterapkan di *plant* yang ingin dikendalikan, terutama pengendalian pada robot *line follower* di karenakan metode ini memiliki struktur yang sederhana. Tetapi metode ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu tidak memiliki ketahanan terhadap gangguan dan ketidakpastian *linguistic* dengan pemodelan ketidakjelasan. Namun hal tersebut menjadi terciptanya *interval fuzzy* tipe 2 dikarenakan dapat mengatasi kekurangan yang ada pada logika *fuzzy* tipe 1 seperti mampu mengatasi hambatan dalam menentukan fungsi keanggotaan yang tepat atau dalam memodelkan beragam pendapat dari individu yang berbeda.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan penerapan metode pengendalian logika *fuzzy* pada robot *line follower* telah dilakukan baik secara simulasi maupun eksperimental perangkat keras. Penerapan logika *fuzzy* pada perancangan dan realisasi pada robot *line follower* untuk mengidentifikasi tingkat kesulitan jalur dan mengatur kecepatan robot dengan PWM [1], [2], [3]. Studi komparatif juga telah dilakukan mengenai perbandingan logika *fuzzy* tipe 1 dan *interval fuzzy* tipe 2 yang menghasilkan permukaan kontrol yang

lebih halus (*smooth*) daripada logika *fuzzy* tipe 1 khususnya pada daerah yang stabil dan bekerja baik dalam menangani gangguan eksternal [4], [5]. Penelitian serupa juga telah dilakukan dengan menerapkan logika *fuzzy* pada *plant* yang berbeda – beda dengan hasil yang memuaskan [6] – [10].

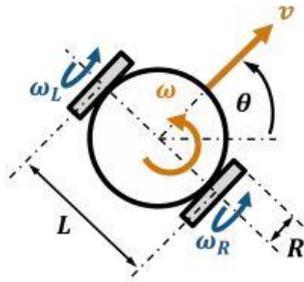
Berdasarkan beberapa penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa *interval fuzzy* tipe 2 mampu menghasilkan pengendalian yang lebih baik di bandingkan dengan pengendalian lain seperti logika *fuzzy* tipe 1 [1] – [3], [6], [9] dan [10]. Dengan demikian, pada penelitian ini pengendalian dengan menggunakan *interval fuzzy* tipe 2 akan dirancang dan di implementasikan untuk mengendalikan posisi pada robot *line follower* dengan mengatur kecepatan motor DC. Seperti pada [7], penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem dalam bentuk simulasi dimana pengendali *interval fuzzy* tipe 2 akan diimplementasikan untuk mengendalikan kecepatan motor dan tidak seperti [1] – [3], [6] dan [8] – [10] yang difokuskan pada perancangan *hardware*. Perbedaan nya terletak pada jenis sistem pengendalian yang akan diimplementasikan pada robot *line follower* yaitu menggunakan *interval fuzzy* Tipe-2 untuk membandingkan hasil pengendalian yang lebih baik di bandingkan logika *fuzzy* tipe 1. Penelitian ini merupakan keberlanjutan dari [7] dan [9] dimana pada penelitian [7] telah melakukan studi

komparatif mengenai perbandingan kinerja sistem logika *Fuzzy Tipe-1* dan *Interval fuzzy Tipe-2* pada aplikasi *Mobile Robot* sedangkan pada penelitian [9] telah melakukan simulasi penerapan logika *fuzzy tipe 1* pada robot *line follower*. Untuk pembuatan simulasi berupa model, penelitian ini melihat contoh dari [11] dan [12] berupa *modelling* motor DC dan robot *line follower*. Dengan demikian dalam penelitian ini akan di rancang sebuah simulasi pengendalian pada robot *line follower* berupa model pada aplikasi *MATLAB* dengan mengimplementasikan *interval fuzzy tipe 2*.

II. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Model Robot Line Follower

Perancangan model robot *line follower* ini mengacu kepada model kinematik *mobile robot* atau *Differential Drive Wheeled Mobile Robot (DDWMR)*, pada model kinematik tersebut ada kinematika maju dan mundur tetapi penelitian ini hanya menggunakan kinematika maju dengan sketsa ditunjukkan dapat Gambar 1.



Gambar 1 Sketsa DDWMR

Kinematika maju digunakan untuk mencari kecepatan linier robot v dan kecepatan angular robot ω dari kecepatan masing-masing putaran roda (ω_L ; ω_R) dengan R yaitu jari jari roda yang diketahui :

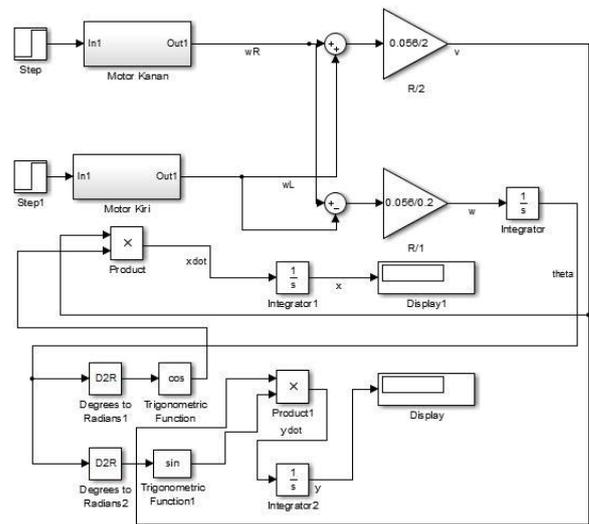
$$v = \frac{R}{2}(\omega_R + \omega_L) \quad (1)$$

$$\omega = \frac{R}{L}(\omega_R - \omega_L) \quad (2)$$

Persamaan model Kinematika DDWMR dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dengan penjelasan $\dot{x} = v \cos \theta$, $\dot{y} = v \sin \theta$ dan $\dot{\theta} = \omega$. Rangkaian model robot *line follower* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Simulink dari Pengendalian Robot Line Follower

B. Perancangan Fuzzy Set

Perancangan fuzzy set dilakukan dengan menggunakan fuzzy logic toolbox atau fuzzy logic type 2 toolbox yang terdapat pada aplikasi *MATLAB* dan jenis fuzzy yang dipilih yaitu fuzzy tipe sugeno. Pada toolbox tersebut di tentukan beberapa paramater seperti jumlah input, output, fungsi keanggotaan, jenis defuzzifikasi, rule base, dll. Perancangan fuzzy set ini mengacu pada rule base yang di jelaskan pada Tabel 1.

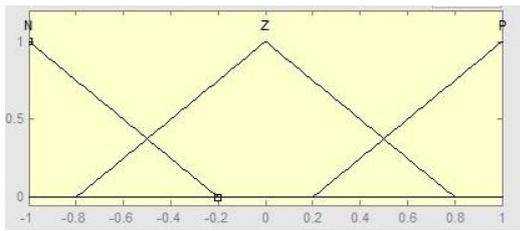
<i>Error</i>			
	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
<i>dError</i>			
<i>N</i>	<i>NH</i>	<i>NM</i>	<i>PL</i>
<i>Z</i>	<i>NM</i>	<i>Z</i>	<i>PM</i>
<i>P</i>	<i>NL</i>	<i>PM</i>	<i>PH</i>

Tabel 1 Perancangan Rule Base

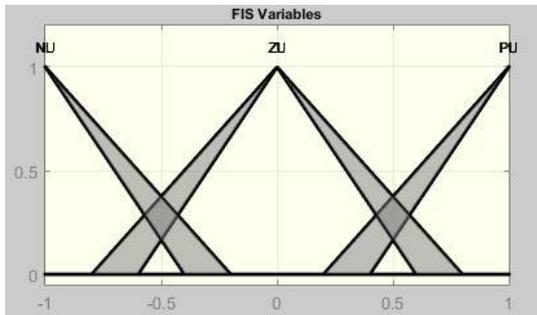
Adapun perbedaan dari perancangan *fuzzy set* yang dibuat ini yaitu menggunakan *fuzzy type 1* dan *interval fuzzy type 2*. Perbedaan dari keduanya yaitu *interval fuzzy type 2* memiliki nilai *upper* dan *lower* pada fungsi keanggotaan - nya, maka dari itu jarak antara nilai *upper* dan *lower* disebut *Footprint of Uncertainty (FoU)*. Cara menentukan berapa nilai FoU itu sendiri dengan cara mengatur 2 nilai parameter yang berada di kedua *membership function* pada *fuzzy logic type 2 toolbox*.

Pada perancangan *fuzzy set* ini, dibuat dua FoU yang berbeda, yaitu FoU 0.1 dan 0.2. Perbedaan fungsi keanggotaan antara *fuzzy type 1* dan *interval*

fuzzy type 2 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Fungsi Keanggotaan pada Fuzzy Type 1



Gambar 4 Fungsi Keanggotaan pada Interval Fuzzy Type 2

Gambar 5 berikut singkatan dari rule base yang telah dibuat.

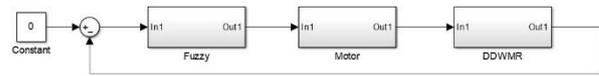
Singkatan	Kepanjangan
N	Negative
NH	Negative High
NM	Negative Medium
NL	Negative Low
Z	Zero
PL	Positive Low
PM	Positive Medium
PH	Positive High

Gambar 5 Singkatan dari Fungsi Keanggotaan Fuzzy

C. Implementasi Pengendali

Implementasi pengendali ini merupakan hasil gabungan dari perancangan *fuzzy set*, model motor DC dan model DDWMR. Berawal dari constant yang bernilai 0. Itu maksudnya diasumsikan si posisi robot awal nya berada pada 0 derajat atau posisi lurus. Lalu *if action subsystem* berfungsi untuk memberi perintah selanjutnya ke *subsystem* motor, mana yang akan dijalankan apakah motor kiri atau motor kanan.

Selanjutnya dari model motor masuk ke model DDWMR dengan *feedback* berupa theta atau posisi robot dan diberikan *noise* karena di asumsikan *noise* tersebut mengganggu jalannya laju robot yang sedang berada pada 0 derajat atau posisi lurus. Komponen integral error juga ditambahkan untuk menganalisis grafik dan membandingkan hasil pengendalian mana yang lebih unggul. Diagram blok implementasi pengendali dapat dilihat dari Gambar 6.



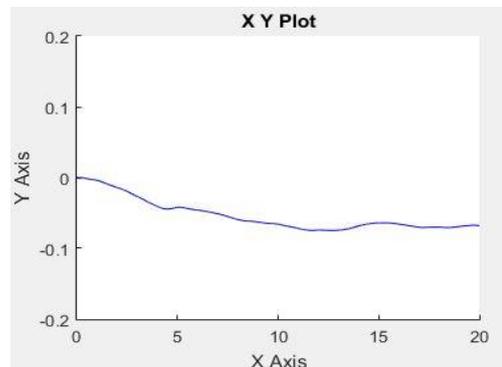
Gambar 6 Diagram Blok Implementasi Pengendali

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

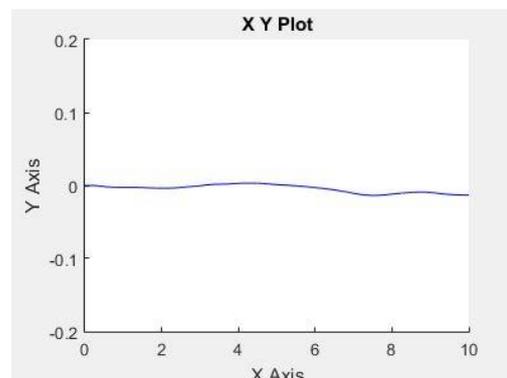
Pembahasan yang akan ditampilkan disini yaitu hasil perbandingan posisi laju robot, posisi sudut robot (θ), kecepatan motor, keluaran tegangan, dan integral of error dengan 2 skema pengujian yang berbeda yaitu dengan menggunakan tipe *fuzzy* yang berbeda dan FoU yang berbeda juga.

A. Perbandingan Posisi Laju Robot

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan hasil posisi laju robot dengan di berikan *noise* menggunakan pengendalian logika *fuzzy* tipe 1 dan *interval fuzzy* tipe 2. Spesifikasi *noise* disini yaitu dengan *noise power* sebesar 0.01 yang disimulasikan menggunakan blok *Band-Limited White Noise* pada aplikasi Matlab/Simulink. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7 Posisi Laju Robot dengan fuzzy logic type 1



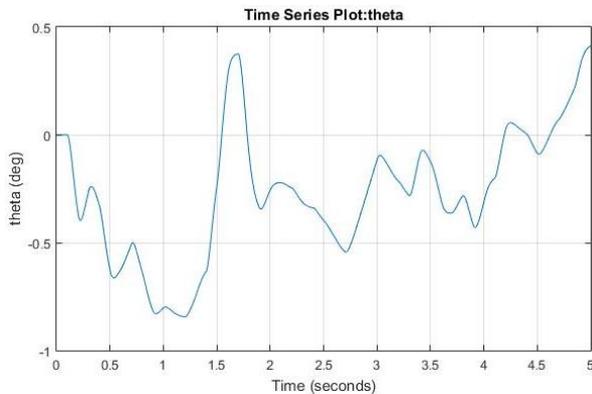
Gambar 8 Posisi Laju Robot dengan interval fuzzy type 2

Dapat dilihat pada gambar diatas bahwa pengujian yang dilakukan menggunakan *fuzzy logic type 2* menghasilkan pergerakan robot yang lebih

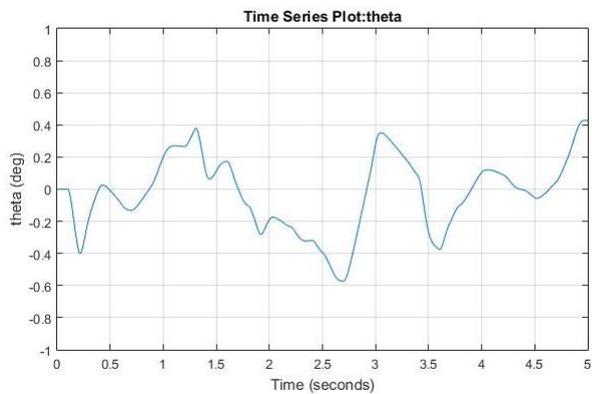
stabil dibandingkan dengan menggunakan logika *fuzzy* tipe 1, ini dibuktikan dari grafik yang menunjukkan posisi robot semakin ke bawah, tidak stabil dan menjauhi setpoint atau gerak lurus.

B. Perbandingan Posisi Robot

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil theta atau sudut posisi robot dan membandingkan hasil pengujian nya antara yang menggunakan logika *fuzzy* tipe 1 dan *fuzzy logic type 2*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Posisi Sudut (theta) Robot dengan *Fuzzy type 1*



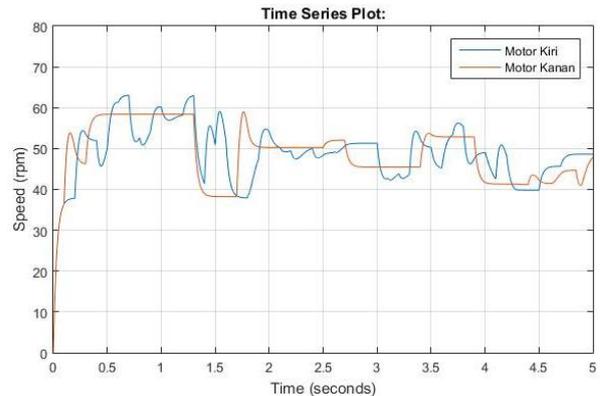
Gambar 10 Posisi Sudut (theta) Robot dengan *Interval Fuzzy Type 2*

Dari gambar dapat dijelaskan bahwa hasil yang ditunjukkan oleh pengendalian *Interval Fuzzy Type 2* menunjukkan posisi sudut robot yang lebih stabil, tidak melebihi 0,5 dan -0,5 derajat. Sedangkan hasil pengendalian logika *fuzzy* tipe 1 menunjukkan posisi sudut robot yang cenderung tidak konsisten dan tidak stabil, terlihat pada grafik yang cenderung naik turun dengan gap yang besar.

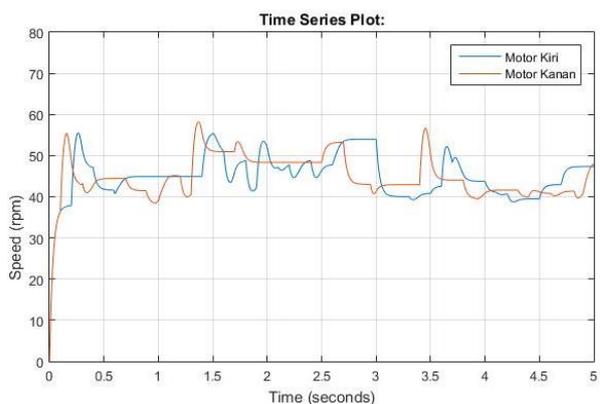
C. Perbandingan Kecepatan Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kecepatan motor dengan membandingkan antara yang menggunakan *fuzzy logic type 2* dan logika

fuzzy tipe 1. Hasil pengujian dapat di lihat pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11 Kecepatan Motor pada Pengendalian logika *fuzzy* tipe 1



Gambar 12 Kecepatan Motor pada Pengendalian *Interval Fuzzy Type 2*

Dapat dilihat pada kedua grafik tersebut bahwa hasil kecepatan motor yang menggunakan pengendalian logika *fuzzy* tipe 1 dan IT2FLC tidak jauh berbeda, hal ini dibuktikan dengan kecepatan motor rata – rata berada pada 20 – 60 rpm. Tetapi pada hasil pengujian yang menggunakan IT2FLC terlihat bahwa kecepatan motor kanan pada saat menyentuh 0,5 – 1,2 sekon mengalami peningkatan kecepatan di 62 rpm, hal ini tidak terjadi pada hasil yang menggunakan pengendalian logika *fuzzy* tipe 1. Pada hasil pengujian yang menggunakan IT2FLC juga dapat dilihat tidak ada delay tidak seperti hasil pengujian yang menggunakan logika *fuzzy* tipe 1 yang memiliki delay sebesar 0,2 sekon.

D. Pengujian Integral of Error

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil perbandingan *error* yang dihasilkan oleh kedua pengendalian yang telah di pasang *noise*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Pengendali	Integral Error			
	IAE	ITAE	ISE	ITSE
Logika Fuzzy Tipe 1	2.059	4.395	1.126	2.121
Interval fuzzy tipe 2	1.477	3.405	0.616	1.345

Tabel 2 Perbandingan *Integral of Error* pada Logika Fuzzy Tipe 1 dan *Interval fuzzy type 2*

Dari tabel tersebut terbukti bahwa hasil *integral error* dari IT2FLC lebih kecil daripada hasil *integral error* yang dihasilkan dari logika *fuzzy* tipe 1. Data ini berpengaruh pada semua hasil pengujian, dari pengujian posisi sampai pengujian tegangan pada kedua motor.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa penerapan pengendalian *interval fuzzy* tipe 2 unggul dalam perbandingan posisi laju robot, posisi sudut (theta) robot, nilai keluaran tegangan dan *integral of error*. Dengan hasil laju robot yang lebih stabil, posisi sudut robot yang lebih baik tidak melebihi 0,5 dan -0,5 derajat, nilai keluaran tegangan yang lebih konstan antara 13 – 17 Volt dan *integral error* yang lebih kecil dengan nilai IAE 1.477, ITAE 3.405, ISE 0.616 dan ITSE 1.345. Diharapkan Penelitian dapat dikembangkan di objek pengendalian yang lain.

REFERENSI

- [1] A. Mukti, O. D. Nurhayati, and E. D. Widiyanto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Robot Line Follower Menggunakan Logika Fuzzy," *J. Teknol. Dan Sist. Komput.*, vol. 3, no. 4, p. 536, Oct. 2015, doi: 10.14710/jtsiskom.3.4.2015.536-543.
- [2] H Jaya and A. Rusdinar, "Perancangan dan Realisasi Robot Line Follower Untuk Pengangkut Sampah Otomatis," *e-Proceeding of Applied Science : Vol.1, No.3 Desember 2015*.
- [3] A. Supani and A. Azwardi, "Penerapan Logika Fuzzy dan Pulse Width Modulation untuk Sistem Kendali Kecepatan Robot Line Follower," *J. INKOM*, vol. 9, no. 1, p. 1, Apr. 2015, doi: 10.14203/j.inkom.405.
- [4] M. A. Sanchez, O. Castillo, and J. R. Castro, "Generalized Type-2 Fuzzy Systems for controlling a mobile robot and a performance comparison with Interval Type-2 and Type-1 Fuzzy Systems," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 14, pp. 5904–5914, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2015.03.024.
- [5] G. F. Fitriana, S. Nurmaini, and J. R. P.-P. Km, "Robot Swarm Leader Follower Menggunakan Algoritma Logika Fuzzy Interval Tipe 2," *Prosiding Annual Research Seminar*, vol. 2, no. 1, p. 4, 2016.
- [6] D. David, "Kendali Logika Fuzzy Pada Robot Line Follower," *Creat. Inf. Technol. J.*, vol. 3, no. 1, p. 15, Jan. 2016, doi: 10.24076/citec.2015v3i1.62.

- [7] A. Meylani and A. S. Handayani, "Perbandingan Kinerja Sistem Logika Fuzzy Tipe-1 dan Interval Tipe-2 pada Aplikasi Mobile Robot," *Prosiding Annual Research Seminar*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2017.
- [8] M. W. Ardiatama and I. Abadi, "Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Metode Active Tracking Menggunakan Kontrol Fuzzy Tipe-2 Interval," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 78–83, Mar. 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.27733.
- [9] 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, Oct. 2018, doi: 10.25126/jtiik.201854747.
- [10] F. Sanofel, "Perancangan Konfigurasi Sistem Robot Line Follower Pemantau Kondisi Jalan," *EPIC J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 2, no. 2, Aug. 2019, doi: 10.32493/epic.v2i2.2964.
- [11] Á. Cservedák, "SIMULATION AND MODELING OF A DC MOTOR USED IN A MOBILE ROBOT," *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 18, no. 4, p. 8.
- [12] A. R. Al Tahtawi, "Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2," *TELKA*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, May 2021, doi: 10.15575/telka.v7n1.1-10.