

PERANCANGAN & IMPLEMENTASI ROBOT *LINE FOLLOWER* BERBASIS ESP32-CAM DENGAN FUZZY LOGIC UNTUK NAVIGASI CERDAS

Ardhana Dzaki Manggali¹, Ramdhan Javas Dintarisanto², Muhammad Athaozih³, Ahmad Ilman Nadziron⁴, Ardy Seto Priambodo⁵

^{1,2,3,4,5,6} Universitas Negeri Yogyakarta; Jl.Mandung, Serut, Pengasih, Kec.Wates, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta , 55651; Telp. (0274) 586168

Keywords:

Robotics;
ESP32;
Fuzzy Logic.

Correspondent Email:

muhammadathaozih.2023@student.uny.ac.id



JITET is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan robot line follower berbasis ESP32-CAM dengan algoritma fuzzy logic untuk navigasi cerdas. Proyek ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan robot mobile yang mampu mengikuti garis secara otomatis dengan adaptif terhadap bentuk lintasan dan pencahayaan sekitar. Sistem terdiri dari dua mikrokontroler, yaitu ESP32 sebagai pengendali aktuator dan ESP32-CAM sebagai sensor visual untuk mendeteksi garis. Deteksi garis dilakukan melalui pemrosesan citra grayscale menggunakan kamera OV2640, lalu diekstraksi posisi garis berdasarkan pusat gravitasi dari piksel gelap. Nilai posisi garis dikirim ke ESP32 melalui komunikasi UART dan diolah menggunakan fuzzy logic untuk menentukan kecepatan kanan dan kiri motor DC agar robot tetap berada pada jalur. Pengujian dilakukan pada lintasan dengan bentuk lurus, tikungan, dan percabangan. Hasilnya, robot mampu mengikuti garis dengan stabil dan mampu menyesuaikan kecepatan secara otomatis. Penggunaan kamera sebagai sensor garis memberikan fleksibilitas lebih tinggi dibanding sensor IR biasa. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi ESP32-CAM dan fuzzy logic dapat digunakan secara efektif dalam sistem robotik berbasis pengolahan citra untuk navigasi mandiri yang cerdas dan efisien.

Abstract. This research aims to design and implement a line follower robot based on the ESP32-CAM using a fuzzy logic algorithm for intelligent navigation. The project is motivated by the need for a mobile robot capable of autonomously following a track line while adapting to variations in path shape and ambient lighting. The system consists of two microcontrollers: an ESP32 as the actuator controller and an ESP32-CAM as a visual sensor to detect the line. Line detection is performed through grayscale image processing using the OV2640 camera, extracting the line's position based on the centroid of dark pixels. The detected line position is transmitted to the ESP32 via UART communication and processed using fuzzy logic to adjust the left and right DC motor speeds, enabling the robot to stay aligned with the track. Testing was conducted on tracks with straight segments, curves, and junctions. The results show that the robot can follow the line stably and adjust its speed automatically. Using a camera as the line sensor offers greater flexibility compared to traditional IR sensors. This study demonstrates that combining ESP32-CAM and fuzzy logic provides an effective approach for image-processing-based robotic systems in achieving autonomous and intelligent navigation.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi robotika telah mengalami kemajuan yang pesat, terutama dalam bidang sistem kendali robot. Salah satu aplikasi yang populer adalah robot line follower. Robot ini umumnya digunakan dalam berbagai kompetisi dan aplikasi industri untuk melakukan navigasi otomatis dengan mengikuti jalur yang telah ditentukan [1]. Berbagai pendekatan telah diimplementasikan untuk meningkatkan kinerja robot line follower, termasuk penggunaan sensor inframerah (IR) dan kamera [2]. Teknologi kamera menawarkan keunggulan dibandingkan sensor IR biasa, karena memberikan fleksibilitas dan detail informasi visual yang lebih tinggi untuk deteksi garis [3].

Algoritma dan metode kendali untuk robot line follower telah banyak dikembangkan. Salah satu yang umum digunakan adalah algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) yang dikenal sederhana dan efisien dalam mengoreksi deviasi dari jalur yang diinginkan. Selain PID, Fuzzy Logic Controller (FLC) juga banyak diterapkan karena kemampuannya dalam menangani ketidakpastian dan non-linearitas yang sering terjadi di lingkungan nyata. FLC memungkinkan robot untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi lintasan dan pencahayaan, menjadikannya pilihan yang adaptif untuk navigasi cerdas [4].

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan berbagai sensor dan algoritma untuk robot *line follower*. Implementasi *fuzzy logic* pada robot *line follower* dan menunjukkan kemampuannya dalam navigasi [5]. Selain itu, dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan array sensor dapat membuat robot mengikuti garis dengan stabil [6]. Dalam konteks penggunaan sensor visual, mengimplementasikan *fuzzy logic* dengan sistem visual kamera pada robot sebagai line follower, menunjukkan potensi kamera dalam meningkatkan akurasi deteksi [7][8].

Meskipun demikian, terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang perlu ditangani.

Beberapa penelitian sebelumnya, meskipun menggunakan kamera, belum secara rinci menjelaskan proses ekstraksi posisi garis dari citra kamera secara real-time dan bagaimana informasi tersebut diintegrasikan secara efektif ke dalam sistem kendali fuzzy [3]. Selain itu, implementasi pada mikrokontroler dengan sumber daya terbatas seperti ESP32-CAM masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut untuk optimasi kinerja. Implementasi sistem dengan dua mikrokontroler (ESP32 sebagai pengendali aktuator dan ESP32-CAM sebagai sensor visual) juga merupakan aspek yang menarik untuk dikaji lebih dalam terkait efisiensi komunikasi dan pembagian tugas.

Berdasarkan analisis kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan robot line follower berbasis ESP32-CAM dengan algoritma fuzzy logic untuk navigasi cerdas. Kebaruan (keunikan) penelitian ini terletak pada kombinasi ESP32-CAM sebagai sensor visual untuk deteksi garis yang efisien melalui pemrosesan citra grayscale dan ekstraksi posisi garis berdasarkan pusat gravitasi piksel gelap, serta integrasi sistem dua mikrokontroler dengan komunikasi UART untuk optimalisasi kinerja. Selain itu, penggunaan fuzzy logic secara spesifik diimplementasikan untuk menentukan kecepatan motor DC kanan dan kiri secara adaptif terhadap berbagai kondisi lintasan dan pencahayaan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan robot mobile yang mampu mengikuti garis secara otomatis dengan adaptif terhadap bentuk lintasan dan pencahayaan sekitar, memberikan solusi yang lebih fleksibel dan akurat dibandingkan dengan sistem yang menggunakan sensor IR biasa [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. ESP32

ESP32 adalah sebuah System-on-Chip (SoC) berdaya rendah yang dikembangkan oleh Espressif Systems, yang menggabungkan kemampuan mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. Modul ini menjadi pilihan populer dalam berbagai aplikasi Internet of Things (IoT) dan sistem

embedded berkat kombinasi fitur-fitur canggih, harga yang terjangkau, dan komunitas pengembang yang luas. ESP32 ditenagai oleh prosesor dual-core Tensilica Xtensa LX6, yang mampu beroperasi hingga frekuensi 240 MHz, memungkinkan pemrosesan data yang cepat dan efisien [9]. Dalam konteks robotika, khususnya pada proyek ini, ESP32 berperan krusial sebagai pengendali utama aktuator. Mikrokontroler ini bertanggung jawab untuk menerima data posisi garis yang telah diproses oleh ESP32-CAM, mengolahnya menggunakan algoritma fuzzy logic, dan kemudian menghasilkan sinyal kontrol Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor DC [1]. Kemampuan ESP32 dalam menyediakan General Purpose Input/Output (GPIO) yang fleksibel sangat penting untuk mengontrol driver motor DC L298N. Selain itu, fitur komunikasi serial Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) pada ESP32 memungkinkan pertukaran data yang stabil dan efisien dengan modul ESP32-CAM, memastikan robot dapat merespons perubahan lintasan secara real-time.



Gambar 1. Modul/Board ESP32

2.2. ESP32-CAM

ESP32-CAM merupakan modul pengembangan berbiaya rendah yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan kamera OV2640, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi IoT berbasis penglihatan seperti robotika [10][11]. Dalam proyek ini, ESP32-CAM berperan sebagai sensor visual utama untuk mendeteksi posisi garis lintasan secara *real-time*. Proses deteksi garis melibatkan pengambilan citra oleh kamera OV2640 (beresolusi 2 Megapiksel), konversi citra menjadi *grayscale* untuk mengurangi kompleksitas pemrosesan, penerapan *thresholding* untuk menghasilkan citra biner (hitam-putih), dan ekstraksi posisi garis berdasarkan *centroid* piksel gelap. Data posisi

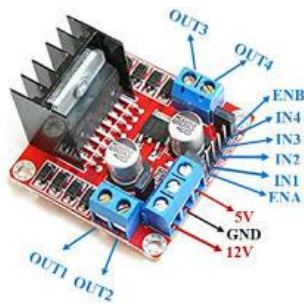
garis ini kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi UART. Penggunaan ESP32-CAM ini memberikan keunggulan signifikan dibandingkan sensor inframerah (IR) karena kemampuannya beradaptasi terhadap variasi bentuk lintasan dan perubahan kondisi pencahayaan, serta menyediakan informasi visual yang lebih kaya untuk navigasi robot yang cerdas dan fleksibel [2].



Gambar 2. Modul ESP32-CAM

2.3. Driver L298N

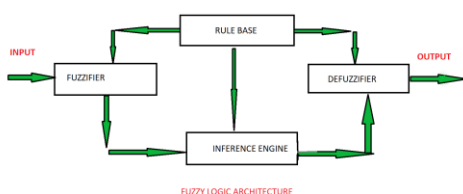
Driver L298N adalah modul pengendali motor DC yang umum digunakan dalam proyek robotika. Modul ini didasarkan pada *chip* L298N dari STMicroelectronics, yang berfungsi sebagai jembatan H (H-bridge) ganda. Struktur jembatan H memungkinkan mikrokontroler untuk mengontrol arah putaran motor DC (maju atau mundur) serta kecepatan putarannya secara independen [12]. Dalam sistem robot line follower ini, Driver L298N berperan penting sebagai interface antara mikrokontroler ESP32 dan motor DC penggerak robot. ESP32 akan mengirimkan sinyal kontrol ke L298N, termasuk sinyal logika untuk menentukan arah dan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur kecepatan motor. L298N kemudian akan menyediakan arus yang cukup untuk menggerakkan motor, karena motor DC biasanya membutuhkan arus yang lebih besar daripada yang dapat disuplai langsung oleh pin GPIO mikrokontroler. Modul ini dirancang untuk dapat mengendalikan dua motor DC secara bersamaan, sangat cocok untuk robot *differential drive* seperti robot line follower[13].



Gambar 3. Modul Driver Motor L298N

2.4. Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah pendekatan komputasi yang memungkinkan pemrosesan informasi tidak pasti atau ambigu dengan konsep derajat kebenaran (nilai antara 0 dan 1), berbeda dari logika Boolean klasik yang biner [14]. Konsep ini sangat relevan untuk sistem yang berinteraksi dengan lingkungan dunia nyata yang sering melibatkan data tidak presisi atau non-linier [15]. Dalam konteks robot *line follower*, Fuzzy Logic Controller (FLC) berperan sebagai sistem kendali adaptif yang menginterpretasikan data sensor (posisi garis) dan menentukan aksi motor DC yang tepat [2]. FLC efektif dalam menangani ketidakpastian dari variasi lintasan dan fluktuasi pencahayaan. Arsitektur FLC mencakup fuzzyfikasi (mengubah input numerik ke linguistik fuzzy), basis aturan fuzzy (kumpulan pernyataan IF-THEN), inferensi fuzzy (evaluasi aturan), dan defuzzifikasi (mengubah output fuzzy kembali ke numerik untuk kontrol aktuator, seperti nilai PWM untuk motor DC). Penerapan Fuzzy Logic memungkinkan robot untuk menyesuaikan kecepatan motor secara adaptif, menjaga stabilitas navigasi pada berbagai kondisi lintasan.

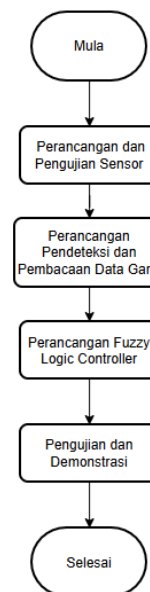


Gambar 4. Diagram Blok Sistem Kendali Fuzzy Logic

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan dan menguji robot line follower berbasis mikrokontroler ESP32-CAM dengan sistem kendali fuzzy logic. Desain penelitian bertujuan menghasilkan sistem yang mampu mendeteksi dan mengikuti garis lintasan secara adaptif dengan memanfaatkan pengolahan citra real-time dan algoritma kendali fuzzy yang diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32.



Gambar 5. Alur Penelitian

Semua **Tabel** dan **Gambar** yang anda masukkan dalam dokumen harus jelas terbaca.

3.1.1. Pengacuan Pustaka. (Reference Library.)

3.2. Perancangan & Pengujian Sensor

Perancangan sistem sensor garis pada robot line following ini menggunakan komponen ESP32-CAM sebagai sensor utama. Kamera pada ESP32-CAM dikonfigurasi untuk menangkap jalur pada arena secara real-time.

3.3. Perancangan Pendeteksi dan Pembacaan Data Garis

Sistem pembacaan garis dirancang dengan memanfaatkan ESP32-CAM menggunakan kamera OV2640 dengan resolusi 640x480 pixel kemudian melakukan pemrosesan berupa konversi grayscale, thresholding dan ekstraksi posisi garis berdasarkan centroid pixel gelap

(terang). Setelah garis terdeteksi dan posisinya dihitung (misalnya, deviasi dari tengah frame), data tersebut dikirimkan ke ESP32 DEV Mosule dengan komunikasi serial UART dengan baud 115200 bps, mengolah data menggunakan algoritma fuzzy logic untuk menghasilkan PWM yang mengatur kecepatan dan arah motor DC menjalankan robot melalui driver L298N, Dan mengendalikan motor DC tipe differential drive yang menggerakkan robot mengikuti lintasan.

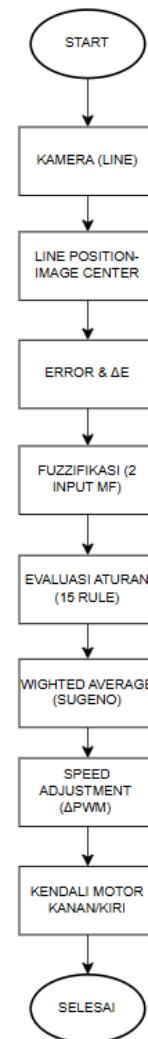
3.4. Perancangan Fuzzy Logic Controller

3.4.1. Definisi Variabel Fuzzy

Input pertama yaitu Error (e) deviasi posisi garis dari titik tengah kamera (sumbu X), yang berada dalam pixel. pada input kedua yaitu delta error (de) perubahan error antar waktu sampling, mengindikasikan kecepatan perubahan deviasi dan pada output yaitu penyesuaian kecepatan motor (Δv) nilai konstanta (singleton) untuk koreksi kecepatan relatif motor kanan dan kiri.

3.4.2. Tahapan Perhitungan Metode Fuzzy Logic

Metode logika fuzzy yang digunakan adalah model Sugeno, yang proses perhitungannya melibatkan empat tahapan utama. Tahap pertama adalah Fuzzifikasi, di mana nilai input numerik (crisp) diubah menjadi himpunan fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan (membership function). Tahap kedua adalah Evaluasi Aturan (Rule Evaluation), di mana setiap aturan dalam basis aturan (rule base) dievaluasi. Selanjutnya, dilakukan Kalkulasi Output Aturan, yang pada metode Sugeno ini menghasilkan sebuah nilai konstanta untuk setiap aturan. Tahap akhir adalah proses Defuzzifikasi untuk menghasilkan output tunggal, yang dilakukan dengan metode Rata-rata Tertimbang (Weighted Average) dari semua output aturan yang aktif.



Gambar 6. Diagram Blok *Fuzzy Logic*

3.4.3. Fungsi Keanggotaan

Error (Deviasi posisi garis terhadap tengah kamera)

Label	Range (a,b,c)
NB (Negative Big)	-160, -120, -50
NS (Negative Small)	-70, -40, -3
Z (Zero)	-8, 0, 8
PS (Positive Small)	3, 40, 70
PB (Positive Big)	50, 120, 160

Delta Error (Perubahan Error)

Label	Range (a,b,c)
NEG (Negative)	-100, -60, -10
ZRO (Zero)	-20, 0, 20
POS (Positive)	10, 60, 100

Fungsi keanggotaan berbentuk segitiga (triangular membership function)

3.4.3. Basis Aturan (Rule Base)

Basis aturan FLC terdiri dari 15 aturan (5 error × 3 delta error) dengan konsekuen berupa nilai singleton (Sugeno orde nol).

Error/Deror	NEG	ZRO	POS
NB	THL	THL	THL
NS	THL	TSL	TNO
Z	TSL	TNO	TSR
PS	TNO	TSR	THR
PB	THR	THR	THR

- THL = -140
- TSL = -70
- TNO = 0
- TSR = +70
- THR = +140

3.4.4. Inferensi dan Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah output fuzzy menjadi nilai numerik untuk mengontrol motor. Sistem sugeno menggunakan *weighted average* untuk penyesuaian kecepatan dasar motor kiri dan kanan. Berikut rumus dari *weighted average*:

$$\text{Weighted Average} = \frac{\text{Sum of weighted terms}}{\text{Total Number of terms}}$$

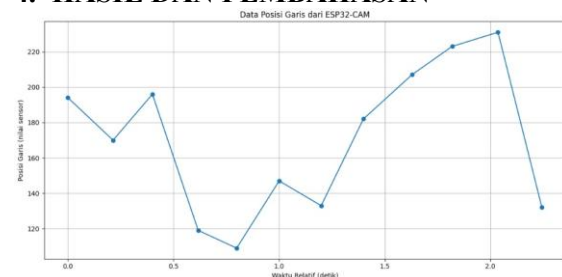
$$\bar{x} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Gambar 7. Rumus *Weighted Average*

3.5. Pengujian dan Demonstrasi

Tahap pengujian dan demonstrasi bertujuan untuk mengetahui dari performa sistem robot line following secara keseluruhan. Pengujian dilakukan pada lintasan uji yang mencakup garis lurus dan tikungan yang berbeda, di bawah kondisi pencahayaan yang terkontrol. Parameter kinerja utama yang dievaluasi meliputi akurasi deteksi garis oleh ESP32-CAM, stabilitas robot dalam mengikuti jalur, dan waktu respon Fuzzy Logic Controller tipe Sugeno orde nol. Data berupa nilai error sensor dan output kendali motor dicatat untuk analisis kuantitatif. Selanjutnya, kemampuan operasional robot dalam menavigasi lintasan secara otonom akan didemonstrasikan untuk menunjukkan efektivitas sistem yang telah dirancang.

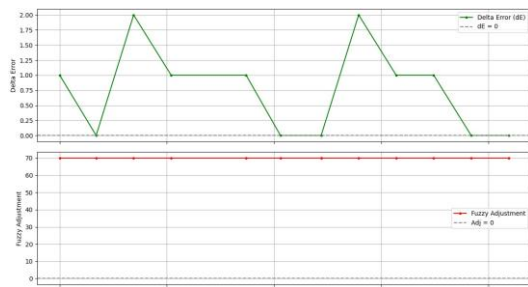
4. HASIL DAN PEMBAHASAN



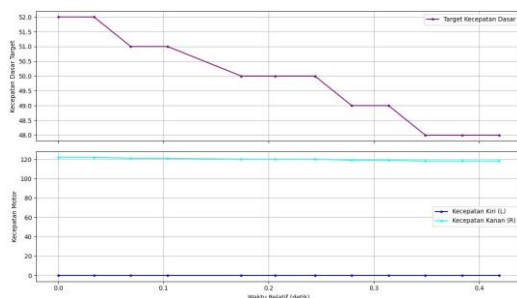
Gambar 8. Pembacaan ESP32-CAM



Gambar 9. Data Line Follower



Gambar 10. Fuzzy Adjustment dan Delta Error



Gambar 11. Data Kecepatan Motor dan Kecepatan Dasar Target

Berdasarkan analisis grafik data operasional robot selama interval waktu singkat yang teramati (sekitar 0.45 detik), teridentifikasi bahwa garis lintasan secara konsisten terdeteksi di sisi kanan dari titik tengah pandangan kamera (Posisi CAM berkisar antara 201 hingga 209 piksel, dengan titik tengah diasumsikan pada 160 piksel). Hal ini diperkuat dengan nilai Deviasi (Error) yang juga positif dan menunjukkan tren meningkat dari 40 menjadi 48 piksel, mengindikasikan bahwa robot bergerak semakin menjauhi garis ke arah kiri, atau garis lintasan berbelok ke kanan dan robot tidak cukup cepat mengikutinya. Sistem logika fuzzy merespons kondisi error positif ini dengan menghasilkan nilai Fuzzy Adjustment yang stabil pada +70. Sesuai dengan desain kontroler, nilai penyesuaian positif ini diterjemahkan menjadi perintah manuver belok ke kanan, yang tercermin pada kecepatan motor kiri (L) yang menjadi 0 PWM dan motor kanan (R) yang beroperasi pada kecepatan tinggi (berkisar antara 118-122 PWM). Bersamaan dengan itu, Target Kecepatan Dasar robot menunjukkan penurunan adaptif dari 52 menjadi 48 PWM seiring dengan meningkatnya deviasi, yang menunjukkan bahwa mekanisme perlambatan kecepatan saat error besar telah berfungsi. Meskipun demikian, fakta bahwa

Deviasi (Error) ke kanan terus bertambah besar meskipun telah ada perintah belok kanan yang signifikan (motor kiri berhenti, motor kanan aktif) mengindikasikan bahwa manuver koreksi yang dihasilkan belum cukup efektif untuk mengembalikan robot ke garis lintasan pada segmen arena dan kondisi kecepatan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dari kecepatan aktual robot saat berbelok, meskipun telah dikurangi, kemungkinan masih terlalu tinggi untuk radius belokan yang ada, atau nilai Fuzzy Adjustment sebesar +70 (yang kemungkinan dihasilkan dari aturan untuk error "Positif Kecil" dan delta error "Zero") belum cukup kuat untuk mengatasi dinamika robot atau ketajaman belokan yang dihadapi.

KESIMPULAN

Perancangan dan implementasi robot line follower berbasis ESP32-CAM dengan algoritma Fuzzy Logic berhasil menghasilkan sistem navigasi yang responsif. Penggunaan ESP32-CAM sebagai sensor visual terbukti efektif dalam mendeteksi posisi garis secara real-time melalui pengolahan citra grayscale dan ekstraksi posisi berdasarkan pusat gravitasi piksel gelap, memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan sensor IR konvensional. Integrasi dua mikrokontroler, yaitu ESP32 sebagai pengendali aktuator dan ESP32-CAM sebagai sensor, berjalan efisien melalui komunikasi UART, memungkinkan respons sistem yang cepat terhadap perubahan lintasan. Penerapan Fuzzy Logic Controller tipe Sugeno mampu mengatur kecepatan motor secara adaptif berdasarkan posisi dan perubahan error, meskipun masih ditemukan keterbatasan pada tikungan tajam yang memerlukan penyesuaian yang lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. A. R. Pratama, B. W. Saputra, T. A. Nazmudin, and A. S. Priambodo, "Perbandingan kontrol logika fuzzy dan PID pada robot e-puck wall following menggunakan Webots," in *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, Vol. 13, No. 1, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, Jan. 2025, pp. 1666–1674.
- [2] S. R. Divanny, Z. Nugraha, M. I. Ghaffar, M. R. D. A, S. D. S. Wardana, and A. S. Priambodo,

- "Penerapan OpenCV dan Fuzzy Logic Controller untuk line follower berbasis kamera pada simulasi robot E-Puck di Webots," in *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, Vol. 12, No. 3, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, Aug. 2024, pp. 2239–2246.
- [3] Y. Febrian, R. A. Yahya, M. I. Dzaluli, and A. S. Priambodo, "Implementasi fuzzy logic dengan sistem visual camera pada robot Jetbot sebagai line follower," in *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Vol. 17, No. 3, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, Sep. 2023, pp. 287–291.
- [4] F. M. T. Huda, F. S. Rahmat, D. C. W. Nugroho, M. P. Nurlita, Z. Nugraha, and A. S. Priambodo, "Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Kendali Robot Line Follower berbasis Computer Vision," *Aviation Electronics, Information Technology Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC)*, Vol. 6, No. 2, pp. 147–157.
- [5] B. Kishore, G. L. Krishna, K. P. Kumar, G. T. Kumar, K. Mounish, and M. D. Rao, "Design and implementation of an embedded model with line following feature and live streaming," in *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 15, No. 5, Eluru: Eluru College of Engineering and Technology, May 2024, pp. 117–133.
- [6] A. H. Ismail, A. M. Abdul Zaman, and K. Terashima, "Fuzzy logic approach for line following robot using an array of digital sensors," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 20, pp. 11827–11831, Oct. 2016.
- [7] K. Samalla, K. Deepthi, M. M. Sai, K. Jyothirmai, and J. Akash, "Line follower robot using ESP32-CAM," in *International Journal of Innovative Research in Technology (IJIRT)*, Vol. 10, No. 12, Hyderabad: Sreenidhi Institute of Science & Technology, May 2024, pp. 1234–1237.
- [8] W. S. Putra and A. Setyawan, "Room security system design using ESP32-CAM with fuzzy algorithm," in *Mobile and Forensics (MF)*, Vol. 3, No. 2, Yogyakarta: Universitas AMIKOM Yogyakarta, Sep. 2021, pp. 66–74.
- [9] A. B. Putranto, Z. Muhlisin, A. Lutfiah, F. Mangkusasmito, and M. Hersaputri, "Perancangan Alat Karakteristik Dioda dengan ESP32 dan Rangkaian Op-Amp LM358 Berbasis Android," *Jurnal Sistem Komputer*, Vol. 13, No. 1, Jun. 2021.
- [10] M. F. Wicaksono, and M. D. Rahmatya, "Implementasi Arduino dan ESP32 CAM untuk Smart Home," *Jurnal Teknologi dan Informasi (JATI)*, Vol. 10, No. 1, Mar. 2020.
- [11] I. C. C. Putra, M. Hakimah, and D. H. Sulaksono, "Implementasi Surveillance Robot dengan menggunakan ESP32 CAM dan FT232 Arduino Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Riset Inovasi Bidang Informatika dan Pendidikan Informatika (KERNEL)*, Vol. 4, No. 1, Jul. 2023.
- [12] A. Habibi, I. M. B. Suksmadana, and B. Darmawan, "Perbandingan Efektivitas Pengendalian Robot dengan Penggunaan PID dan Tanpa PID pada Aplikasi Jarak Tertentu," *Jurnal informatika Teknologi dan Sains (JINTEKS)*, Vol. 6, No. 4, Hal. 813–819, Nov. 2024.
- [13] V. Pardosi, T. K. Wijaya, and M. Algusri, "Perancangan Prototype Robot Tangki Pendeteksi Gas dan Suhu Berbasis IoT," *Sigma Teknika*, Vol. 7, No. 1, pp. 131–144, juni. 2024.
- [14] H. S. Nasution, A. Jayadi, and Rikendry, "Implementasi Metode Fuzzy Logic untuk Sistem Pengereman Robot Mobile Berdasarkan Jarak dan Kecepatan," *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, Vol. 3, No. 1, ISSN. 2723-6382, 2022.
- [15] L. A. Supriyono, A. Marwanto, and S. Alifah, "Perancangan Otomasi Alat Infus Berbasis Fuzzy Logic," *Jurnal Ilmiah Elektronika dan Komputer*, Vol. 15, No. 1, Jul. 2022.