



Implementasi Fuzzy Logic Pada Kendali Robot E-Puck Wall Following Anugrah Akmal Arista A^{1*}, Kaila Aura Paradifta², Zaki Nugraha³, Ardy Seto Priambodo⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Yogyakarta
^{*}anugrahakmal.2022@student.uny.ac.id

(Artikel diterima: bulan dan tahun pengumpulan jurnal, direvisi: bulan dan tahun jurnal terbit)

ABSTRAK

Penelitian ini membahas implementasi Fuzzy Logic Controller (FLC) pada robot e-puck untuk navigasi wall following. Tujuannya adalah mengembangkan sistem kontrol yang efisien dan adaptif untuk navigasi robot di lingkungan yang kompleks. Metode yang digunakan meliputi perancangan FLC dengan tiga input dari sensor ultrasonik (ps5, ps6, ps7) dan dua output untuk mengontrol kecepatan motor kiri dan kanan. Sistem inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani dengan proses fuzzifikasi, inferensi berdasarkan rule base, dan defuzzifikasi menggunakan Mean of Maximal (MOM). Pengujian dilakukan dalam arena labirin untuk mengevaluasi kinerja robot dalam mengikuti dinding. Hasil menunjukkan bahwa implementasi FLC berhasil mengontrol pergerakan robot e-puck dengan baik, ditunjukkan oleh penurunan error pembacaan sensor dan stabilitas kecepatan motor seiring waktu. Analisis grafik koordinat GPS juga memperlihatkan kemampuan robot dalam menavigasi lingkungan kompleks. Kesimpulannya, pendekatan fuzzy logic terbukti efektif dalam menangani ketidakpastian dan memberikan kontrol yang adaptif untuk tugas wall following pada robot e-puck.

Kata kunci: Robot e-puck, Fuzzy Logic Controller, Navigasi Robot, Wall Following

I. PENDAHULUAN

Pada era perkembangan teknologi yang pesat, robotika memiliki peranan penting dalam berbagai bidang, seperti pada industri manufaktur sampai eksplorasi luar angkasa. Salah satu aspek krusial dalam robotika yaitu kemampuan navigasi [1], yang memungkinkan robot untuk bergerak dengan aman dan efisien di lingkungan yang kompleks. Tantangan utama dalam navigasi robot adalah menghindari tabrakan dengan penghalang sambil mencapai tujuan yang diinginkan [2]. Teknik wall following telah muncul sebagai solusi yang populer untuk masalah ini, di mana robot dapat mengikuti dinding atau penghalang dengan jarak tertentu [3].

Penggunaan Fuzzy Logic Controller (FLC) dalam implementasi wall following pada robot merupakan pendekatan yang menarik [4]. FLC mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam sistem yang kompleks dengan aturan-aturan linguistik sederhana [5]. Dibandingkan dengan metode kontrol konvensional, FLC memiliki keunggulan dalam menangani sistem non-linear dan memberikan respons yang lebih halus dalam pergerakan robot [6]. Selain itu, FLC tidak memerlukan model matematika yang rumit dari sistem, sehingga mempermudah implementasi pada platform robot yang terbatas [7].

Dalam penelitian ini, kami memilih untuk mengimplementasikan wall following menggunakan FLC pada robot e-puck [8]. E-puck adalah robot kecil yang dilengkapi

dengan berbagai sensor dan aktuator, sehingga cocok untuk aplikasi penelitian dan eksperimen [9]. Dengan menggunakan FLC pada robot e-puck, diharapkan dapat mencapai navigasi yang lebih akurat dan efisien dalam mengikuti dinding atau penghalang, serta mendemonstrasikan keunggulan dari pendekatan fuzzy logic dalam masalah navigasi robot [10].

Penelitian ini didasarkan pada beberapa penelitian terdahulu yang telah mengeksplorasi penggunaan FLC dalam navigasi robot [11]. Menerapkan FLC pada robot wall-following dan menunjukkan bahwa pendekatan ini memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional [12]. Mengembangkan teknik fuzzy logic untuk navigasi multi-robot, yang memungkinkan koordinasi dan penghindaran tabrakan antar robot [13]. Mengusulkan kontrol hybrid fuzzy-PID untuk meningkatkan akurasi pelacakan robot. Penelitian-penelitian ini menunjukkan potensi FLC dalam aplikasi navigasi robot dan menjadi motivasi untuk mengeksplorasi lebih lanjut.

Dalam penelitian ini, kami akan merancang dan mengimplementasikan FLC untuk wall following pada robot e-puck, dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik navigasi robot yang efisien.

II. METODOLOGI

Dalam penelitian yang dilakukan pada project ini, sistem inferensi fuzzy logic controller yang digunakan adalah

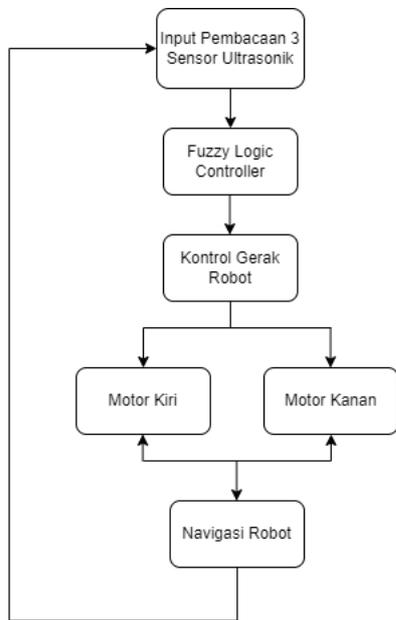
metode mamdani. Terdapat 3 input dan 2 output yang terdiri dari 3 input pembacaan sensor ultrasonik pada robot e-puck dan 2 output kecepatan motor kanan dan motor kiri. Bagian-bagian sensor ultrasonik yang digunakan pada robot e-puck dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sensor yang digunakan pada robot e-puck

Pada gambar 1 di atas terdapat 3 sensor ultrasonik yang digunakan pada robot e-puck yaitu ps5, ps6, dan ps7. Pemilihan penggunaan ketiga sensor ultrasonik pada robot e-puck ini berdasarkan dengan kebutuhan tugas robot dan kondisi arena yang akan dilalui.

A. Diagram Blok



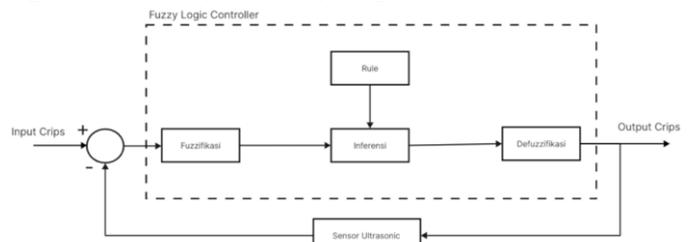
Gambar 2. Diagram Blok

Dari Diagram blok pada gambar 2 merupakan implementasi fuzzy logic pada kendali robot wall following. Prosesnya dimulai dengan input dari tiga sensor ultrasonik yang mengukur jarak robot ke dinding. Data ini kemudian diproses oleh Fuzzy Logic Controller, yang menggunakan aturan fuzzy untuk menentukan tindakan kontrol yang sesuai. Output dari controller ini menghasilkan perintah untuk mengontrol gerakan robot. Kontrol gerak robot kemudian menerjemahkan perintah tersebut menjadi sinyal yang mengatur kecepatan dan arah motor kiri dan kanan secara independen. Kombinasi gerakan kedua motor ini menghasilkan navigasi robot yang memungkinkannya untuk mengikuti dinding dengan menjaga jarak yang konsisten. Sistem ini membentuk loop tertutup, di

mana posisi robot terus-menerus diperbarui melalui pembacaan sensor, memungkinkan penyesuaian real-time terhadap perubahan lingkungan untuk navigasi yang akurat dan responsif.

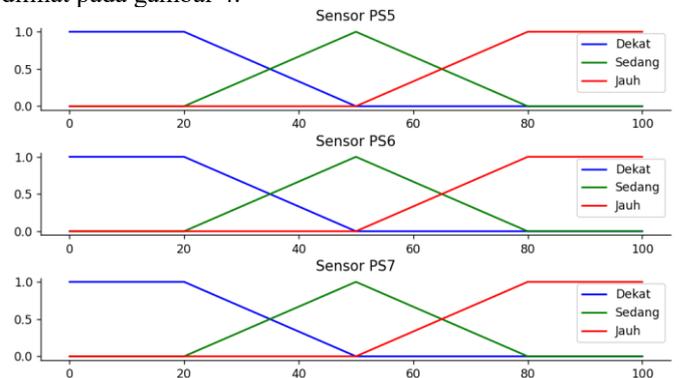
B. Perancangan Fuzzy Logic Controller

Pemanfaatan sistem kendali sangat penting dalam pengoperasian robot. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah fuzzy logic controller. Fuzzy logic controller merupakan sebuah sistem kontrol yang menggunakan aturan-aturan fuzzy (fuzzy rules) yang mengolah masukkan dan menghasilkan keluaran yang sesuai. Sistem perancangan fuzzy logic controller dapat dilihat pada gambar 3.



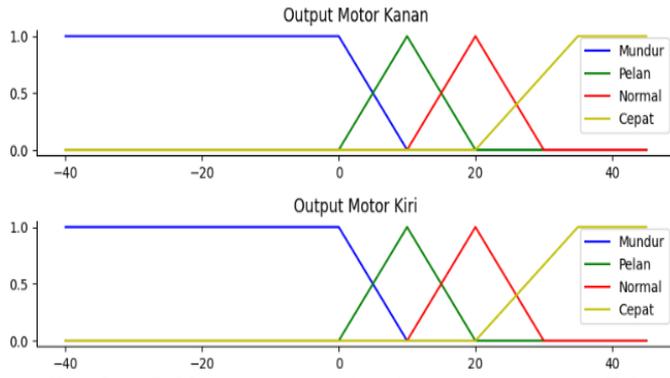
Gambar 3. Perancangan Fuzzy Logic Controller

Sesuai dengan gambar 3 tersebut proses perancangan fuzzy logic controller berupa sistem kontrol closed-loop. Proses dimulai dengan input dari sensor ultrasonik yang mengukur jarak robot ke dinding. Data ini kemudian memasuki fuzzy logic controller, di mana terjadi tiga tahap utama: fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Masuk ditahap fuzzifikasi, input crisp dari sensor diubah menjadi nilai fuzzy atau linguistik. Pada fuzzifikasi nilai keanggotaannya disusun menjadi 3 bagian, yaitu dekat, sedang dan jauh. Pembacaan nilai fuzzifikasi akan diambil dari 3 pembacaan sensor ultrasonik pada inputnya. Visualisasi dari nilai 3 sensor ultrasonik dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Visualisasi membership function sensor ultrasonik

Pada penelitian ini, output yang digunakan berupa 2 buah motor DC berfungsi untuk menjaga kestabilan robot e-puck agar dapat mengikuti dinding. Fungsi keanggotaan pada 2 motor DC pada robot e-puck juga memiliki nilai yang sama yaitu mundur, pelan, normal, dan cepat. Visualisasi dari nilai motor DC dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Visualisasi membership function motor DC

Selanjutnya, dalam proses inferensi, nilai-nilai fuzzy ini diproses menggunakan serangkaian aturan yang telah ditentukan. Setiap aturan yang digunakan juga akan langsung menentukan hasil dari motor DC yang digunakan. Berikut adalah tabel aturan fuzzy yang digunakan

Tabel 1. Rule base yang digunakan pada fuzzy logic controller

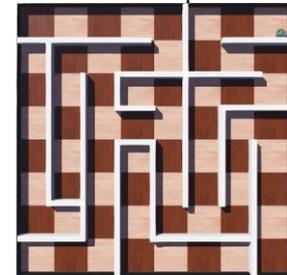
INPUT			OUTPUT	
PS 7 (Depan)	PS 6 (Serong K)	PS 5 (Kiri)	M_Kiri	M_Kanan
dekat	dekat	dekat	Cepat	Mundur
sedang	dekat	dekat	Cepat	Lambat
Jauh	dekat	dekat	Cepat	Lambat
dekat	sedang	dekat	Cepat	Mundur
sedang	sedang	dekat	Cepat	Normal
jauh	sedang	dekat	Lambat	Cepat
dekat	jauh	dekat	Cepat	Mundur
sedang	jauh	dekat	Cepat	Normal
jauh	jauh	dekat	Lambat	Cepat
dekat	dekat	sedang	Cepat	Mundur
sedang	dekat	sedang	Normal	Lambat
jauh	dekat	sedang	Lambat	Cepat
dekat	sedang	sedang	Cepat	Cepat
sedang	sedang	sedang	Normal	Mundur
jauh	sedang	sedang	Mundur	Normal
dekat	jauh	sedang	Lambat	Cepat
sedang	jauh	sedang	Cepat	Cepat
jauh	jauh	sedang	Cepat	Cepat
dekat	dekat	jauh	Cepat	Lambat
sedang	dekat	jauh	Cepat	Mundur
jauh	dekat	jauh	Lambat	Cepat
dekat	sedang	jauh	Normal	Cepat
sedang	sedang	jauh	Cepat	Lambat
jauh	sedang	jauh	Cepat	Cepat
dekat	jauh	jauh	Mundur	Cepat
sedang	jauh	jauh	Cepat	Normal
jauh	jauh	jauh	Cepat	Cepat

Terakhir, pada tahap defuzzifikasi, output fuzzy dikonversi kembali menjadi nilai crisp yang dapat digunakan untuk mengontrol aktuator robot, metode yang digunakan adalah dengan *Mean of Maximal (MOM)*, dengan perhitungan persamaan dibawah ini.

$$Z^* = \frac{\sum z_i Mz_i}{|M|} \quad (1)$$

III. HASIL DAN ANALISA

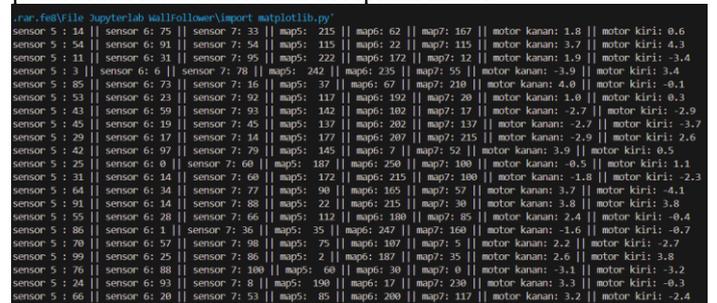
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian dan pengambilan data “Implementasi Fuzzy Logic Pada Robot E-Puck Wall Following” di arena labirin. Arena yang digunakan dapat dilihat pada gambar 6. Pada tahap ini dilakukan pengujian untuk memperoleh hasil data yang diinginkan kemudian akan dilakukan pembahasan sehingga dapat menjadi tolak ukur keberhasilan penelitian.



Gambar 6. Arena yang digunakan

A. Pengujian Pembacaan Sensor dan Kecepatan Motor

Pada pengujian pembacaan sensor dan kecepatan motor ini bertujuan untuk mengetahui nilai yang ditampilkan oleh sensor dan kecepatan motor apakah sesuai dengan gerakan pada robot e-puck. Berikut ini merupakan tampilan dari hasil pengujian pembacaan nilai sensor dan kecepatan motor.

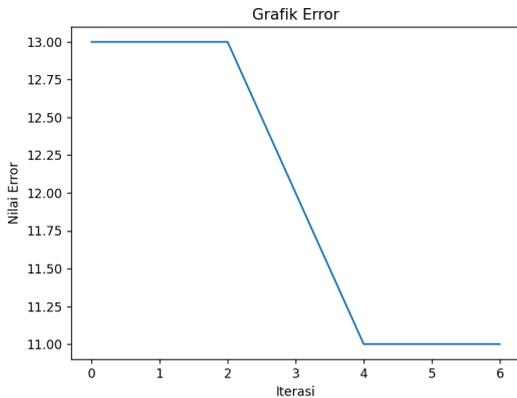


Gambar 7. Tampilan Pembacaan Sensor dan Kecepatan Motor

Berdasarkan data yang ditampilkan, implementasi logika fuzzy pada robot e-puck wall follower menunjukkan hasil yang memuaskan. Sensor 5, 6, dan 7 menunjukkan variasi yang signifikan, menandakan bahwa robot beroperasi di lingkungan dengan jarak dinding yang berubah-ubah. Korelasi yang jelas terlihat antara pembacaan sensor dan kecepatan motor kanan dan kiri. Sistem fuzzy responsif dalam mengatur kecepatan motor berdasarkan input sensor, dengan motor kanan dan kiri sering beroperasi pada kecepatan yang berbeda untuk mengikuti kontur dinding. Meskipun ada fluktuasi, kecepatan motor umumnya stabil, menunjukkan kontrol yang konsisten. Penyesuaian kecepatan yang halus menunjukkan kemampuan sistem fuzzy dalam merespons perubahan lingkungan. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa robot e-puck berhasil menjalankan tugas wall following dengan baik, menjaga jarak dari dinding dan bergerak dengan efektif menggunakan logika fuzzy.

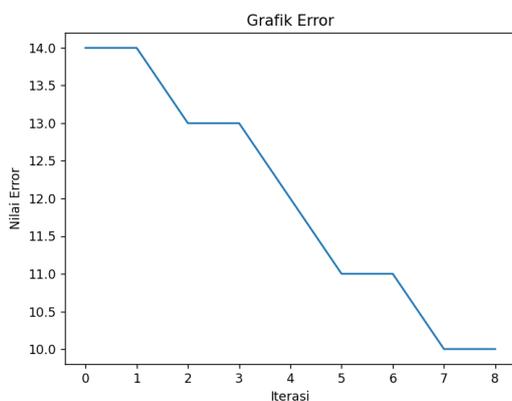
B. Pengujian Grafik Error Dari Pembacaan Sensor

Pengujian grafik error dari pembacaan sensor ini dilakukan sebanyak dua kali. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak error yang dideteksi oleh sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik ini berfungsi untuk menjaga kestabilan jarak robot e-puck dengan dinding.



Gambar 8. Pengujian 1 grafik error pembacaan sensor

Hasil pengujian pertama pada awal iterasi, grafik menunjukkan penurunan error yang signifikan seiring berjalannya iterasi. Pada awal iterasi (0-2), error berada pada level tertinggi sekitar 13. Kemudian terjadi penurunan drastis antara iterasi 2 dan 4, di mana error turun tajam hingga mencapai sekitar 11. Setelah iterasi ke-4, error stabil pada nilai terendah dan tetap konsisten hingga iterasi ke-6. Pola ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy logic yang diimplementasikan pada robot e-puck berhasil memperbaiki kinerjanya dengan cepat dalam melakukan tugas wall following. Kestabilan error pada level rendah setelah beberapa iterasi mengindikasikan bahwa robot telah mencapai performa optimal dan mampu mempertahankannya. Hal ini menggambarkan efektivitas sistem fuzzy dalam menyesuaikan dan mengoptimalkan perilaku robot untuk mengikuti dinding dengan presisi yang meningkat seiring waktu.

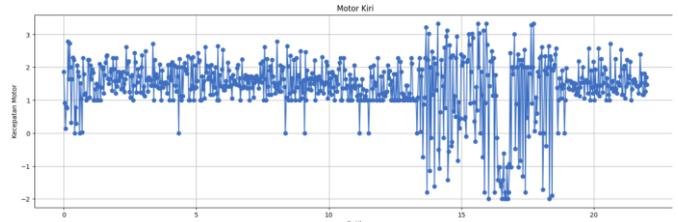


Gambar 9. Pengujian 2 grafik error pembacaan sensor

Pada hasil pengujian kedua, Grafik memperlihatkan tren penurunan error yang konsisten seiring bertambahnya iterasi,

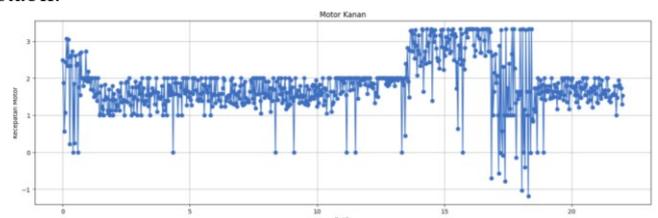
menandakan peningkatan performa sistem. Nilai error awal berada di sekitar 14, kemudian mengalami penurunan bertahap namun signifikan. Terdapat beberapa plateau kecil di antara penurunan, yang mungkin menunjukkan periode adaptasi sistem. Penurunan terbesar terjadi antara iterasi 3 hingga 5, mengindikasikan fase pembelajaran yang kritis. Setelah iterasi ke-7, error mencapai nilai terendah sekitar 10 dan stabil, menandakan sistem telah mencapai performa optimal. Pola ini menggambarkan efektivitas implementasi fuzzy logic dalam meningkatkan akurasi robot untuk mengikuti dinding. Kestabilan error pada level rendah di akhir iterasi menunjukkan bahwa sistem telah berhasil menyesuaikan parameter kontrolnya dengan baik, menghasilkan pergerakan robot yang lebih presisi dan konsisten dalam tugas wall following.

C. Pengujian Grafik Kecepatan Motor



Gambar 10. Grafik Kecepatan Motor Kiri

Grafik kecepatan motor kiri pada implementasi logika fuzzy untuk robot e-puck wall following menunjukkan pola yang dinamis dan responsif. Mayoritas kecepatan motor berada dalam rentang 0 hingga 3, dengan fluktuasi yang konsisten sepanjang waktu. Sistem fuzzy aktif menyesuaikan kecepatan untuk mengikuti kontur dinding. Terlihat beberapa penurunan tajam ke nilai negatif, terutama sekitar detik ke-15, yang mungkin mengindikasikan manuver khusus seperti berbelok tajam atau menghindari rintangan. Setelah periode fluktuasi yang lebih besar ini, kecepatan kembali ke pola yang lebih stabil. Konsistensi umum dalam variasi kecepatan menunjukkan bahwa sistem fuzzy berhasil mempertahankan kontrol yang baik, sementara responsivitasnya terhadap perubahan lingkungan terlihat dari perubahan cepat dalam kecepatan. Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan sistem kontrol fuzzy yang efektif dalam mengatur kecepatan motor kiri untuk navigasi wall following yang adaptif dan stabil.



Gambar 11. Grafik Kecepatan Motor Kiri

- [10] W. L. Xu, S. K. Tso, and Y. H. Fung, "Fuzzy reactive control of a mobile robot incorporating the motion trend of a moving target," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B*, vol. 28, no. 2, pp. 262–268, 1998, doi: 10.1109/3477.662768.
- [11] N. A. Wahab, R. A. Rahman, and S. I. Ismail, "Application of fuzzy logic controllers to wall-following autonomous mobile robot," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 6, no. 6, pp. 2898–2907, 2016, doi: 10.11591/ijece.v6i6.12143.
- [12] S. K. Pradhan, D. R. Parhi, and A. K. Panda, "Fuzzy logic techniques for navigation of several mobile robots," *Appl. Soft Comput.*, vol. 43, pp. 327–342, 2016, doi: 10.1016/j.asoc.2016.02.030.
- [13] M. Oubbati, M. Lakhdar, R. Errouissi, and A. El-Hami, "A new hybrid fuzzy–PID controller for tracking application of mobile robot," *Robotica*, vol. 37, no. 9, pp. 1627–1644, 2019, doi: 10.1017/S0263574718001294.