

SIMULASI PENGONTROL FUZZY LOGIC SEBAGAI PENGATUR ARAH TERHADAP ROBOT LINE FOLLOWING

Imelda Putri Diva^{1*}, Adi Nugroho Tri Wicaksono¹, Dimas Ari Bayuaji¹, Said Abdurahman¹, Zaki Nugraha¹, Ardy Seto Priambodo¹

¹ Departemen Elektro dan Elektronika, Universitas Negeri Yogyakarta; Jl.Mandung Pengasih Kulonprogo, Telp. & Fax. (0274) 773906.

Received: 6 Agustus 2024
Accepted: 5 Oktober 2024
Published: 12 Oktober 2024

Keywords:

Python, Line Follower,
Camera, Fuzzy logic, Webots

Correspondent Email:

imeldaputri.2022@student.uny.ac.id

Abstrak. Line Follower adalah robot yang berjalan mengikuti garis, dan di dalamnya terdapat sebuah Integrated Circuit yang berisi pemrograman untuk menjalankannya. Pada percobaan ini, line follower dengan menggunakan kendali fuzzy logic memberikan alternatif lain dalam sistem kendali. Dalam kendali fuzzy logic tidak diperlukan model matematika dari sistem karena kendali fuzzy logic bekerja berdasarkan rule-rule. Kontrol yang dirancang adalah sistem satu input, dua output dan menggunakan sistem Mamdani sebagai mekanisme inferensi. keluaran *error* yang ada di dalam program akan semakin meningkat Ketika robot tersebut berbelok mengikuti lintasan, *error* bisa terjadi karena adanya perhitungan dari masukan fungsi keanggotaan dan aturan Sebagai penentu aksi robot Ketika sedang mendeteksi lintasan di depannya. Oleh karena itu percobaan line follower ini rule akan menjadi acuan dalam memproses nilai input jarak dan kecepatan motor kanan kiri, rule juga menjadi penentu arah robot dengan menggunakan bantuan sensor camera.

Abstract. Line Follower is a robot that follows a line, and in it there is an Integrated Circuit that contains programming to run it. In this experiment, the line follower using fuzzy logic control provides another alternative in the control system. In fuzzy logic control, there is no need for a mathematical model of the system because fuzzy logic control works based on rules. The designed control is a one input, two output system and uses the Mamdani system as an inference mechanism. The output error in the program will increase when the robot turns to follow the trajectory, the error can occur due to the calculation of the membership function input and rules as a determinant of robot action when detecting the trajectory in front of it. Therefore, in this line follower experiment, the rule will be a reference in processing the input value of the distance and speed of the right and left motors, the rule also determines the direction of the robot using the help of a camera sensor.

1. PENDAHULUAN

Line Follower adalah robot yang berjalan mengikuti garis, dan di dalamnya terdapat sebuah Integrated Circuit yang berisi pemrograman untuk menjalankannya. Perlu

penerapan pada pemrogramannya bagaimana cara line follower tersebut bisa berjalan, kenapa juga bisa berjalan mengikuti garis, serta apa yang membuat line follower tersebut bisa berjalan. Penerapan pemrograman pada line

follower ini dimaksudkan agar pengguna dapat menggunakan robot khususnya pada line follower. Penelitian ini akan membahas tentang penerapan pemrograman, dengan tujuan mencoba membangun robot untuk berjalan menggunakan program, supaya line follower tersebut dapat berjalan tepat mengikuti garis [1]. Dwisaputra, dkk. (2011) melakukan penelitian dengan sistem kontrol fuzzy logic robot yang mampu menjaga keseimbangan sambil mengikuti garis. Kemampuan robot mengikuti garis hanya pada garis lurus dan belokan yang berupa radius [2].

Line follower adalah salah satu jenis robot yang dirancang untuk mengikuti sebuah garis atau lintasan yang telah ditentukan. Prinsip kerja dari line follower adalah dengan menggunakan sensor yang dapat mendeteksi warna atau kontras permukaan, biasanya menggunakan sensor cahaya (photodiode atau phototransistor). [3]

Kontrol yang dirancang adalah sistem satu input, dua output dan menggunakan sistem Mamdani sebagai mekanisme inferensi. Masukan ke kontroler adalah perbedaan antara dua sensor cahaya yang dipasang di bawah rangka robot dan keluaran berupa perintah kecepatan untuk motor kiri dan kanan. Kontroler dirancang dalam Python menggunakan Scikit-Fuzzy dan diimplementasikan dengan mikrokontroler AT89C52 yang murah dan mudah didapat. Robot dengan pengontrol yang diusulkan diatur untuk berjalan di lintasan dengan berbagai tingkat belokan dan ternyata dapat mengikuti lintasan dengan lancar [4].

Dalam penelitian Pratama, dkk (2014), sistem kendali logika fuzzy, mencoba untuk mengembangkan robot line follower yang dapat menyesuaikan kecepatannya sesuai dengan kondisi lebar jalurnya. Dengan menganalogikan bahwa robot line follower sebagai sebuah mobil dan jalurnya adalah sebuah jalan raya, maka menjadi logis bila pada jalan raya yang lebar laju mobil akan lebih cepat dibanding pada jalan yang sempit [5]. Robot line follower berbasis mikrokontroler dirancang dan dibuat agar dapat melakukan fungsi berjalan mengikuti garis yang berwarna hitam. Logika fuzzy (fuzzy logic) digunakan untuk mengidentifikasi robot supaya bisa bergerak dan berjalan sesuai keinginan seperti robot yang berjalan menggunakan kaki atau

menggunakan ban. Kendali fuzzy logic memberikan alternatif lain dalam sistem kendali. Dalam kendali fuzzy logic tidak diperlukan model matematika dari sistem karena kendali fuzzy logic bekerja berdasarkan rule-rule [6].

2. TINJAUAN PUSTAKA

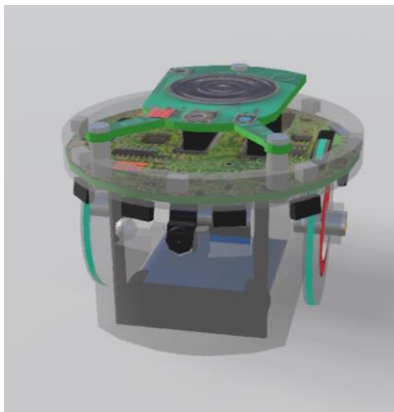
Beragam penelitian yang berkaitan dengan subjek yang ada untuk memberikan pemahaman dari beberapa sisi perspektif mengenai latar belakang dan elemen-elemen yang digunakan menjadi pokok dalam percobaan.

2.1 Webots

Webots adalah sebuah aplikasi atau perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Swiss Federal Institute of Technology* yang berfungsi untuk membuat model, program dan simulasi dari sebuah robot. Pada aplikasi ini terdapat banyak model robot, sensor, aktuator dan juga objek yang dapat dimodifikasi secara bebas. Selain itu, dalam *software* ini juga dapat membuat model baru yang kita desain sendiri ataupun kita import dari perangkat lunak atau aplikasi 3D CAD. Dimana saat mendesain, kita dapat menentukan properti grafis dan fisik objek untuk model robot yang akan kita buat. Untuk properti grafis terdiri dari bentuk, dimensi, posisi dan orientasi, warna dan tekstur objek. Dan untuk sifat fisik terdiri dari massa, faktor gesekan, pegas dan pembahasan konstanta. Sedangkan untuk pengontrol robotnya, kita dapat menulisnya diluar Webots dalam *C*, *C++*, *Python*, *ROS*, *Java* dan *MATLAB* dengan menggunakan *API* sederhana. [14]

2.2 E-Puck

E-Puck adalah robot mini yang didesain sebagai bentuk pembelajaran rancangan robot. *E-puck* ini terdiri dari motor roda diferensial (encoder disimulasikan sebagai sensor posisi), sensor infrared merah yang berfungsi sebagai pengukur jarak dan cahaya, accelerometer, gyro, kamera, 8 LED di sekelilingnya, bodi dan Led depan, *Bluetooth* dan ekstensi sensor *ground*.



Gambar 1. Gambar tampilan *E-Puck*

2.3 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) adalah pustaka perangkat lunak *open-source* yang banyak digunakan untuk pengolahan citra dan visi komputer. Dalam lingkungan *line follower*, *OpenCV* dapat sangat berguna untuk berbagai fungsi.

OpenCV dikembangkan dalam bahasa pemrograman C++, tetapi juga memiliki antarmuka untuk bahasa pemrograman lain seperti *Python* dan *Java*. Ini berarti pengembang dapat menggunakan *OpenCV* dengan menyesuaikan kebutuhan yang ingin digunakan.[15]

2.4 Fuzzy Logic

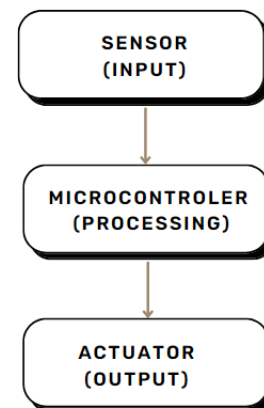
Logika *fuzzy* dikemukakan oleh *Dr. Lofti Zadeh* pada tahun 1965, yang merupakan fungsi matematika untuk menangani ketidakpastian. logika *fuzzy* memungkinkan kemampuan penalaran seperti manusia. Sebaliknya, teori tradisional himpunan biner hanya mendeskripsikan *event* yang bersifat mutlak, yakni bersifat '*true*' atau '*false*' saja. [5]

3. METODE PENELITIAN

Perancangan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini kinerja robot dalam garis besar dibagi menjadi tiga proses, yaitu ;

BLOCK DIAGRAM ROBOT



Gambar 2. Blok Diagram Robot

Blok diagram robot terdiri dari tiga bagian utama yakni sensor sebagai sistem input, yang berfungsi untuk mendeteksi jalur dan mengetahui posisi robot *line follower* terhadap jalur tersebut. Camera merupakan salah satu sensor yang digunakan oleh robot *Line Following* sebagai penangkap gambar objek lintasan di hadapannya, pengaturan input ini mengambil tiga saluran warna dalam bentuk *RGBA* yang dimana berfungsi untuk mengenali warna dasar seperti *Red*, *Green*, *Blue* dengan menggunakan perintah ini, camera pada robot dapat menandakan titik jalur lintasan sehingga robot dapat berjalan tepat di dalam lintasan.

Bagian kedua adalah bagian processor *microcontroller* yang berfungsi sebagai 'otak' pengambil keputusan output apa yang harus dilakukan berdasarkan input dari sensor. Pada bagian akhir adalah *Actuator* bagian output yang melakukan hasil komputasi processor yang berupa dua buah motor DC di sisi kiri dan kanan robot *line follower*[7]. Kecepatan motor DC dikendalikan oleh *microcontroller* sesuai kondisi jalur yang dideteksi sensor garis.

Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu metode penalaran matematis yang meniru cara penalaran manusia dalam mengambil keputusan di tengah ketidakpastian, dengan menggunakan himpunan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan. [8]

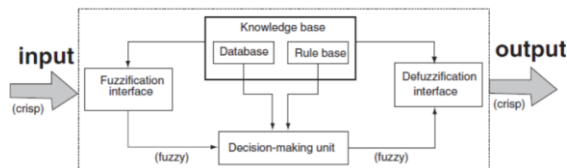
Himpunan adalah suatu kumpulan atau koleksi objek-objek yang mempunyai kesamaan sifat tertentu (Frans Susilo, 2006). Himpunan *fuzzy* merupakan suatu

pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan fuzzy adalah rentang nilai-nilai, masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan antara 0 sampai dengan 1. Suatu himpunan fuzzy \tilde{A} dalam semesta pembicaraan U dinyatakan dengan fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}}$, yang nilainya berada dalam interval $[0,1]$, dapat dinyatakan dengan :

$$\mu_A = U \rightarrow [0,1].$$

Jika fungsi keanggotaan (μ_A) akan bernilai 'true' (1) dan jika anggota x sepenuhnya himpunan A , jika anggota u_A maka nilai nya akan 'false' (0) jika x bukan himpunan A . Dan jika derajat keanggotaan berada dalam selang $(0,1)$, misalnya $\mu_A(x) = \mu$, menyatakan x sebagian anggota himpunan A dengan derajat keanggotaan sebesar μ [9].

Terdapat tiga representasi yang digunakan dalam analisis himpunan fuzzy, yakni representasi secara linier, segitiga, dan trapesium. Dalam representasi linier, memetakan input crisp ke derajat keanggotaannya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus.



Gambar 3. Skema dasar Fuzzy Inference System

Blok Fuzzy Inference System, menggunakan aturan fuzzy 'If-Then' dalam memetakan ruang himpunan input fuzzy X untuk menghasilkan himpunan output fuzzy Y berdasarkan prinsip logika fuzzy. Proses skema yang ada di gambar 2 dimulai dengan fuzzification yang berfungsi untuk memetakan nilai masukan crisp posisi robot terhadap jalur yang terdeteksi robot line follower dalam nilai masukan fuzzy, kemudian rule base akan mengevaluasi aturan sesuai dengan kondisi terkini dengan melihat rule base, keluaran terakhir yaitu defuzzification untuk memetakan nilai keluaran fuzzy dalam nilai keluaran crisp sistem yakni kecepatan motor kanan dan kiri.

Image Processing Approach

Line following ditempatkan pada permukaan yang gelap dan berwarna putih.

Tantangan untuk mengidentifikasi garis dibuat lebih mudah dengan kontras yang mencolok antara garis dan latar belakang.

Karena penerangan sekitar tidak terkendali, maka proses gambar tambahan apa pun. *Histogram Equalization* (penyetaraan histogram) adalah prosedur proses yang dilakukan untuk membantu meratakan pencahayaan warna dalam gambar.[10]

Menentukan posisi garis dengan menggunakan sensor optik yang ada di ujung depan robot. Sebagian besar menggunakan beberapa jumlah reflektor foto, dan beberapa tampilan gambar yang ditangkap dengan menggunakan sensor gambar untuk pemrosesan gambar. Sehingga, garis proses penginderaan membutuhkan perhitungan yang error yang kecil agar penangkapan gambar pada kamera robot berjalan di garis lintasan. [11]

Line follower adalah salah satu jenis robot yang dirancang untuk mengikuti sebuah garis atau lintasan yang telah ditentukan. Prinsip kerja dari line follower adalah dengan menggunakan sensor yang dapat mendeteksi warna atau kontras permukaan, biasanya menggunakan sensor cahaya (photodiode atau phototransistor). [12]

Perancangan Aturan Fuzzy

Tabel 1. aturan fuzzy yang digunakan dalam pengujian simulasi.

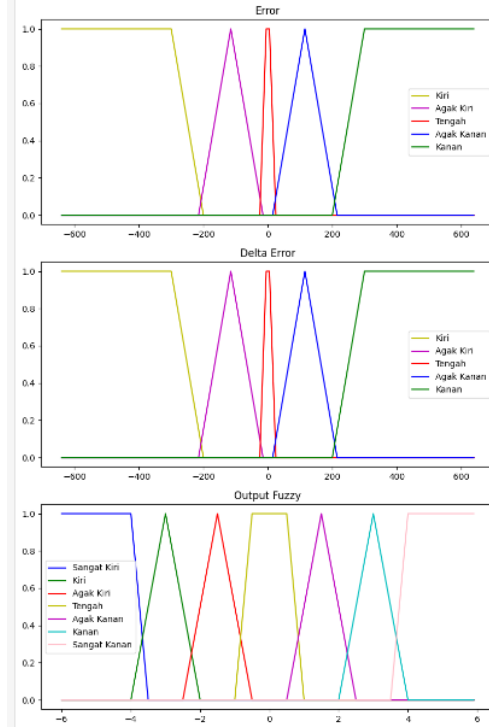
	Kiri	Agak Kiri	Tengah	Agak Kanan	Kanan
Kiri	Sangat Kiri	Kiri	Kiri	-	-
Agak Kiri	Kiri	Agak Kiri	Agak Kiri	Agak Kiri	-
Tengah	Agak Kiri	Tengah	Tengah	Tengah	Agak kanan
Agak Kanan	-	Agak kanan	Agak Kanan	Agak kanan	Kanan
Kanan	-	-	Kanan	Kanan	Sangat Kanan

Posisi robot *line follower* saat berbelok ditentukan dari perhitungan input *error* dan *delta error*. Nilai *delta error* membuat robot dapat kembali melaju di tengah lintasan setelah melewati tikungan.

Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (membership function) merupakan konsep penting dalam logika fuzzy. Fungsi keanggotaan ini menentukan derajat keanggotaan (membership degree) suatu nilai terhadap suatu himpunan fuzzy. [13]

Perancangan kendali fuzzy digunakan untuk memberikan tahapan yang jelas dalam pembentukan program dan menjadi otak yang menerima masukan dari sensor.



Gambar 4. Membership Function

Pada grafik *error* yang menunjukkan nilai error dari beberapa parameter dalam suatu proses optimisasi. Terdapat empat garis yang mewakili empat parameter yang berbeda:

1. Kh (ditunjukkan dengan warna kuning)
2. Alpha Kh (ditunjukkan dengan warna merah muda)
3. Panjang (ditunjukkan dengan warna biru)
4. Alpha Panjang (ditunjukkan dengan warna hijau)

Sumbu y menunjukkan nilai error, sementara sumbu x kemungkinan besar mewakili langkah waktu atau iterasi.

grafik yang menunjukkan nilai delta error untuk beberapa parameter dalam suatu proses optimisasi. Terdapat empat garis yang mewakili empat parameter yang berbeda:

1. Kh (ditunjukkan dengan warna kuning)
2. Alpha Kh (ditunjukkan dengan warna merah muda)
3. Panjang (ditunjukkan dengan warna biru)
4. Alpha Panjang (ditunjukkan dengan warna hijau)

Sumbu y menunjukkan nilai delta error,

sementara sumbu x kemungkinan besar mewakili langkah waktu atau iterasi.

Pemilihan 7 fungsi keanggotaan untuk variabel output memberikan kedetilan dan kontrol yang lebih besar atas rentang output. Hal ini memungkinkan kontrol kecepatan motor yang lebih presisi dan nyata, yang sering diinginkan dalam aplikasi di mana kontrol kecepatan yang halus dan akurat penting.

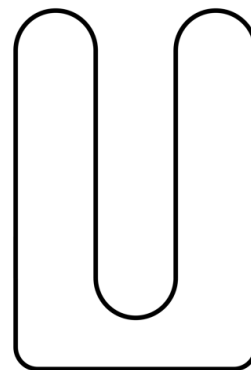
Fungsi keanggotaan yang tumpang tindih untuk variabel output memungkinkan transisi yang halus antara rentang kecepatan yang berbeda, memastikan penyesuaian kecepatan motor yang gradual dan kontinu berdasarkan kondisi input.

Rentang output didefinisikan dari -6 hingga 6, yang merupakan rentang khas untuk aplikasi kontrol kecepatan motor.

Fungsi keanggotaan didistribusikan di seluruh rentang ini, dengan fungsi keanggotaan "Sangat Kiri" dan "Sangat Kanan" mencakup ekstrem, serta fungsi keanggotaan "Kiri", "Agak Kiri", "Tengah", "Agak Kanan", dan "Kanan" mencakup wilayah tengah.

Wilayah tumpang tindih antara fungsi keanggotaan memungkinkan penyesuaian kecepatan motor yang halus dan gradual berdasarkan kondisi input.

Perancangan Pengujian



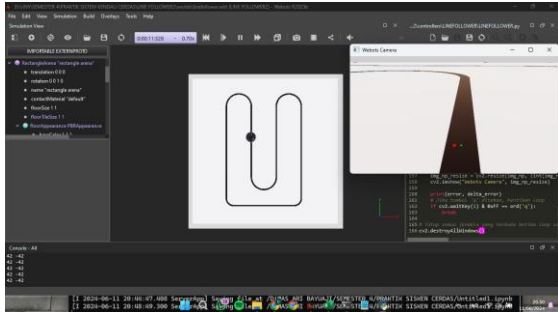
Gambar 5. Lintasan Loop Arena

Grafik pengujian memiliki tiga tikungan tajam, yang dimana untuk melihat performa respon robot terhadap belokan tajam dengan menggunakan perhitungan *error* keanggotaan dan aturan sebagai pengatur arah dan rem dari robot.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

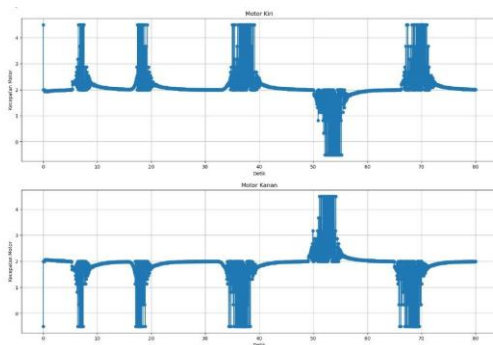
Nilai output terkait robot line follower dengan mengambil data gambaran dan

pengembangan program yang sedang dijalankan. Program python yang dijalankan dan beberapa pengujian terkait posisi dan efektifitas dari robot.



Gambar 6. Tampilan Posisi Awal Robot line follower

Pergerakan robot line follower dipengaruhi oleh perhitungan dari membership function fuzzy. Jika perhitungan awal sensor kamera menangkap pada garis bagian kanan maka robot akan melakukan aksi untuk serong ke kanan sesuai dengan masukan rules pada program. Jika perhitungan sensor kamera menangkap tikungan berada di sebelah kiri maka robot akan melakukan aksi untuk serong ke kiri. Lintasan yang memiliki beberapa tikungan tajam, robot akan melakukan dua aksi untuk berbelok ke kanan atau ke kiri sesuai dengan warna lintasan yang tertangkap oleh kamera.

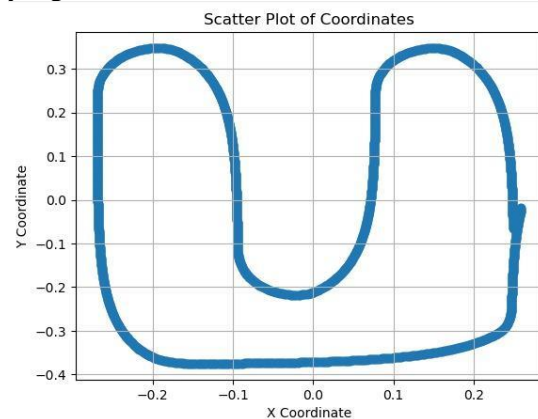


Gambar 7. Kecepatan Motor Kanan dan Kiri

Keluaran kecepatan motor robot pengikut garis dibagi menjadi 2 kondisi umum, dalam kondisi lurus dan kondisi belok. Jika kondisi jalur lurus robot dianggap berapa pada kecepatan ideal, dan tidak menggunakan sistem kontrol fuzzy, ketika berada dalam kondisi berbelok, robot akan menggunakan sistem kontrol fuzzy untuk mendapatkan kecepatan motor robot, seperti pada gambar 6, kondisi

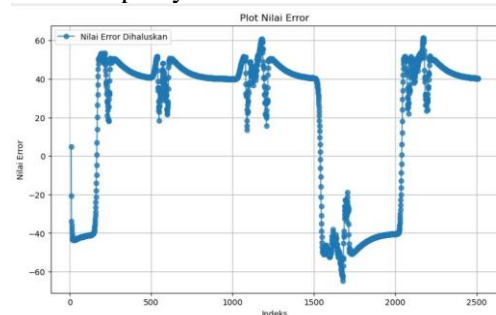
robot saat itu adalah robot akan berbelok ke kiri, pada grafik kecepatan motor tersebut kecepatan motor kanan menurun dan nilai kecepatan motor kiri meningkat.

Kondisi pergerakan robot saat melewati lintasan dengan menggunakan koordinat sensor kanan dan kiri, hasil pengujian pada jalur robot line follower dapat membentuk garis lintasan yang ada.



Gambar 8. Tracking Coordinates Robot

Grafik diatas adalah hasil dari percobaan simulasi dengan 5 titik koordinat yang berbeda dan nilai positif *negative* pada x dan z yang bervariasi. Berdasarkan tampilan grafik gambar 7, nilai orientasi yang ada semuanya berkisar pada angka nol dengan angka dibelakang koma yang memiliki jarak tidak terlalu jauh baik dari nilai x maupun y.



Gambar 9. Error Output

Error Output ini adalah toleransi sikap robot ketika berjalan lurus dan berbelok, jika robot berada tepat di dalam garis lintasan maka error yang didapatkan 0, puncak tertinggi error adalah ketika robot harus menghadapi tikungan dan berjalan kembali ke garis yang lurus.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa perhitungan *membership* dapat mempengaruhi kontrol robot untuk mengarahkan e-puck kembali ke garis hitam setelah melewati beberapa tikungan dengan menggunakan *sensor* kamera sebagai penanda titik jalur lintasan sehingga robot dapat berjalan tepat di dalam lintasan. Dari *sensor* camera tersebut akan didapatkan nilai *error* sebagai penanda toleransi aksi robot ketika melewati tikungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Negeri Yogyakarta dan segenap tim yang membantu dalam penelitian ini, sehingga dapat terselesaikan. Terima kasih pula kepada Tim dari JITET Universitas Lampung yang telah meluangkan waktunya untuk melakukan proses paper ini untuk bisa dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sulistiyo, W., 2009, Desain dan Rancang Bangun Mobil Robot Penjejak Jalur dengan Algoritma Fuzzy, Orbith, No. 3, Vol. 5, hal. 431-439.
- [2] Dwisaputra, I., Sulistijono, I. A., Nugraha, M. I., 2011, Two Wheels Balancing Line Tracer Robot Using Fuzzy Logic Control, The 13th Industrial Electronics Seminar 2011 (IES 2011), Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS), Surabaya, October 26 2011.[2]
- [3] H. Junaedi, "RANCANG BANGUN ROBOT LINE FOLLOWER BERBASIS CAHAYA TAMPAK (BAGIAN I) TUGAS AKHIR," 2016. Accessed: Jun. 20, 2024.
- [4] Farooq, U., Amar, M., Asad, M. U., Abbas, G., Hanif, A., 2014, Fuzzy Logic Reasoning System for Line Following Robot, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, No. 4, Vol. 6, Hal. 244-248. [4]
- [5] Pratama, G. N. P., Dharmawan, A., Atmaji, C., 2014, Implementasi Kendali Logika Fuzzy Pada Robot Line Follower, Indonesian journal of Electronics and Instrumentations Systems (IJEIS), Jurnal Universitas Gadjah Mada , April 2014. [5]
- [6] David, D., 2016, Kendali Logika Fuzzy Pada Robot Line Follower, Creative Information Technology Journal, Researchgate, Januari 2016. [6]
- [7] Sivanandam, S.N., Sumathi S., dan Deepa S.N., 2007, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, Springer-Verlag, Berlin. [7]
- [8] R. J. Boncella, "Fuzzy Logic: An Introduction," Jan. 1995.
- [9] Solikin, F., 2011, Aplikasi Logika Fuzzy dalam Optimisasi Produksi Barang menggunakan Metode Mamdani dan Metode Sugeno, Skripsi, Jurusan Pendidikan Matematika, UNY, Yogyakarta. [9]
- [10] Ismail, A.H., Ahmad, M.H., Marhaban M.H., Vision-based for Line Following Mobile Robot, Symposium on Industrial Electronics and Applications, Ieee xplore, October 4-6 2009. [10]
- [11] Pakdaman, M., Sanaatiyan, M.M., 2009, Design and Implementation of Line follower Robot, Ieee xplore. [11]
- [12] H. Junaedi, "RANCANG BANGUN ROBOT LINE FOLLOWER BERBASIS CAHAYA TAMPAK (BAGIAN I) TUGAS AKHIR," 2016. Accessed: Jun. 20, 2024.
- [13] K. Luh et al., "Analisis Pengaruh Pemilihan Fuzzy Membership Function Terhadap Output Sebuah Sistem Fuzzy Logic." Accessed: Jun. 20, 2024.
- [14] Lorenza, A., Hidayat, B., Alia, L. S., Nurachanta, L. A., Simulasi Pemahaman Robot Pengikut Garis Program C dengan Webots, Institute of Research and Publication Indonesia, Juni 1 2022.
- [15] Ishikawa, S., Kuwamoto, H. and Ozawa, S, "Visual Navigation of an Autonomous Vehicle Using White Line Recognition", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligent, Vol. 10:5, Sept 1988, pp. 743-749