

Implementasi *Fuzzy Logic* dengan Sistem Visual *Camera* pada Robot *Jetbot* sebagai *Line Follower*

Yudha Febrian¹, Rasyid Ammary Yahya², M. Ibrah Dzaluli³, Ardy Seto Priambodo, ST., M.Eng.⁴

Jurusan D4 Teknik Elektronika Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
Jl. Mandung, Serut, Pengasih, Kec. Wates, Kabupaten Kulon Progo,

Daerah Istimewa Yogyakarta 55651

¹yudhafebrian.2021@student.uny.ac.id

²rasyidammary.2021@student.uny.ac.id

³mohammadibrahdzaluli.2021@student.uny.ac.id

⁴ardyseto@uny.ac.id

Intisari — Robot *Jetbot* bergerak yang mengikuti garis. Kamera berfungsi sebagai sensor utama, dan metode pemisahan gambar yang disesuaikan digunakan untuk memproses buffer gambar. Metode ini mengekstrak data yang diperlukan agar pengontrol robot dapat berfungsi dengan baik, bahkan di lingkungan yang minim cahaya. Robot ditugaskan untuk mengikuti jalur yang telah ditentukan sebelumnya pada permukaan lantai hitam yang ditandai dengan garis putih. Hasil percobaan menunjukkan keberhasilan navigasi robot di sepanjang jalur. Metode ini dapat diandalkan dan tangguh, serta mudah diadaptasi untuk digunakan dalam konteks lain, termasuk lingkungan industri yang biasanya menggunakan transduser dan sensor yang mahal. Dalam pengujian penelitian kami, kami berhasil mengamati peningkatan yang signifikan dalam perkembangan garis gerak robot dengan menggunakan teknik logika fuzzy dan pustaka *OpenCV*.

Kata kunci — Sistem kamera, Robot Pengikut Garis, *Jetbot*, *OpenCV*, Logika Fuzzy.

Abstract — Application that relies on visual input for a line following mobile robot *Jetbot*. The camera serves as the main sensor, and a customized image separation method is used to process the image buffer. This method extracts the data necessary for the robot controller to function properly even in low-light environments. The robot was tasked with following a predetermined path on a black floor surface marked with white lines. The experimental results demonstrate the successful navigation of the robot along the path. The method is reliable and robust, and is also easily adaptable for use in other contexts, including industrial settings where expensive transducers and sensors are typically used. In our research tests, we managed to observe a significant improvement in the robot's motion line progression using fuzzy logic techniques and the *OpenCV* library. We achieved good accuracy and visible stability of the robot's motion. Fuzzy logic technology also has the potential to be further developed and applied to other automated control systems. In this research, we used Python programming language and motor access using fuzzy logic controller. The results of this study show that the use of a fuzzy logic controller approach combined with the *OpenCV* library is an effective option to improve the performance of the line-following robot, on the *Jetbot*.

Keywords — Line Follower robot, Vision System, Line following, *Jetbot*, *OpenCV*, Fuzzy Logic.

I. PENDAHULUAN

Dari pendidikan hingga industri, robot line follower telah banyak digunakan. Performanya yang andal dan efisien dalam menjalankan tugas disebabkan oleh desainnya yang sederhana, yang mencakup algoritma pembacaan garis dan sistem kontrol gerak. [1]

Salah satu komponen penting dari setiap robot line follower adalah kemampuannya untuk mendeteksi garis. Biasanya, sistem deteksi garis pada robot ini menggunakan sensor warna, sensor magnetik, atau kamera.

Kinerja robot sangat dipengaruhi oleh keakuratan sensornya. Jumlah sensor yang

digunakan berbanding lurus dengan kemampuan robot untuk mendeteksi perubahan posisi yang sebenarnya. Meskipun Penelitian dapat mengidentifikasi garis dalam pengaturan cahaya redup, itu hanya menggunakan tiga sensor. Akibatnya, robot hanya dapat mengenali tiga posisi: kanan, tengah, dan kiri. Karena keterbatasan data mengenai posisi aktual robot, sistem kendali menjadi kurang adaptif.

Penelitian menggunakan kamera sebagai sensor pendeteksi garis. Sensor garis menggunakan kamera akan memberikan variasi posisi aktual yang lebih banyak. Robot yang telah dibuat juga mampu

mengenali garis dengan baik. Namun penerapan sistem kendali yang digunakan masih menggunakan control proporsional.

Menyebabkan kemampuan robot saat melewati tikungan kurang baik. Sehingga untuk meningkatkan kemampuan robot dalam melewati tikungan, diperlukan sistem kendali yang lebih baik. Salah satu sistem kendali yang bisa digunakan adalah fuzzy logic controller (FLC)

Penelitian telah menerapkan fuzzy logic controller menggunakan library OpenCV pada robot Jetbot sebagai line follower dengan kamera.

Dibangun sebuah model yang dapat mengolah data citra dari kamera robot Jetbot dan menggunakan algoritma Fuzzy Logic untuk mengolah data tersebut sehingga robot dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Webots

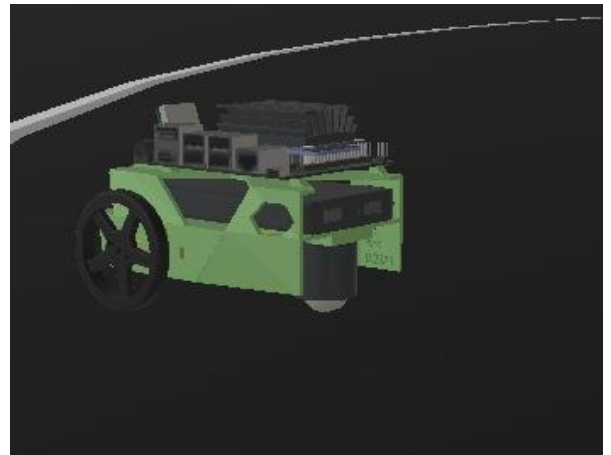
Perangkat lunak ini menyediakan lingkungan simulasi 3D yang memungkinkan pengguna untuk merancang, memprogram, dan menguji robot dalam berbagai skenario. Webots dapat digunakan untuk mengembangkan dan menguji algoritma kontrol, memvisualisasikan perilaku robot, serta menguji interaksi antara robot dan lingkungan. Webots mendukung berbagai jenis robot, termasuk robot humanoid, robot roda, robot berkaki, drone, dan banyak lagi. Pengguna dapat memprogram perilaku robot menggunakan berbagai bahasa pemrograman seperti C++, Python, MATLAB, Java, dan lain-lain. Webots juga menyediakan berbagai pustaka dan model robot yang dapat diimpor, memudahkan pengguna dalam membangun simulasi yang sesuai dengan kebutuhan mereka. [2]

B. Jetbot

JetBot adalah sebuah platform robotika yang dikembangkan oleh NVIDIA. Ini adalah robot yang didesain khusus untuk pembelajaran mesin dan pengembangan kecerdasan buatan. JetBot menggunakan modul Jetson Nano, yaitu platform komputasi AI dari NVIDIA.

Webots tidak secara langsung mendukung simulasi JetBot karena Webots bukanlah

produk resmi dari NVIDIA atau JetBot. Namun, dengan Webots yang fleksibel dan mendukung berbagai jenis robot, Anda dapat membuat model dan simulasi JetBot sendiri di dalam lingkungan Webots. Anda dapat menggunakan Webots untuk membuat model 3D JetBot, mengimpor model tersebut ke dalam lingkungan simulasi Webots, dan mengatur perilaku robot di dalamnya di Gambar 1. [3]



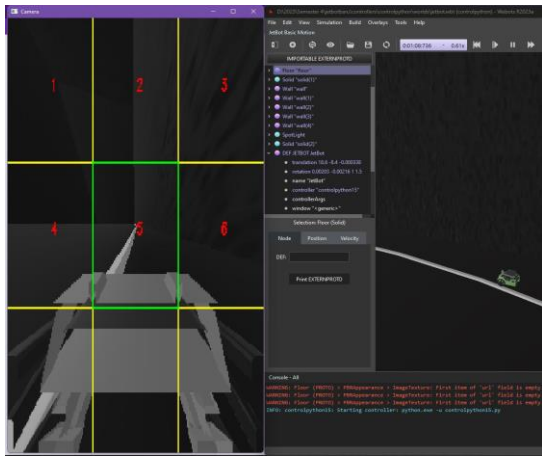
Gbr.1 Gambar Tampilan Robot Jetbot

C. Open CV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) adalah perpustakaan komputer open source visi dan perangkat lunak pembelajaran. OpenCV dibangun untuk menyediakan infrastruktur umum untuk aplikasi visi komputer dan untuk mempercepat penggunaan persepsi mesin dalam produk komersial. Menjadi produk berlisensi BSD, OpenCV memudahkan bisnis untuk memanfaatkan dan memodifikasi.

Kode library ini memiliki lebih dari 2500 algoritma yang dapat dioptimalkan, yang mencakup satu set lengkap visi komputer klasik dan state-of-the-art komputer vision dan mesin pembelajaran algoritma.

Open CV adalah metode yang paling cepat dan memiliki library paling lengkap untuk komputer vision. OpenCV dikembangkan dalam bahasa pemrograman C++, tetapi juga memiliki antarmuka untuk bahasa pemrograman lain seperti Python dan Java. Ini berarti pengembang dapat menggunakan OpenCV dalam proyek mereka dengan menggunakan bahasa pemrograman yang paling nyaman bagi mereka. [3]



Gbr.2 Tampilan kamera opencv pada webots

D. Fuzzy Logic

Fuzzy dalam pengertian bahasa dapat diartikan sebagai tidak jelas atau tidak tegas. Sebuah nilai dalam konteks fuzzy dapat memiliki nilai yang besar dan salah secara bersamaan. Dalam penggunaan fuzzy, terdapat konsep derajat keanggotaan yang mencakup rentang nilai antara 0 (nol) hingga 1 (satu). Hal ini berbeda dengan himpunan tegas yang hanya memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak).

Logika Fuzzy adalah suatu jenis logika yang mengadopsi konsep kekaburan atau ketidakjelasan (fuzziness) antara benar dan salah. Dalam teori logika fuzzy, suatu nilai dapat memiliki kebenaran dan kesalahan secara bersamaan. Namun, sejauh mana keberadaan dan kesalahan tersebut tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika fuzzy menggunakan derajat keanggotaan yang mencakup rentang nilai antara 0 hingga 1.

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi. 2004). [5]

III. METODE PENELITIAN

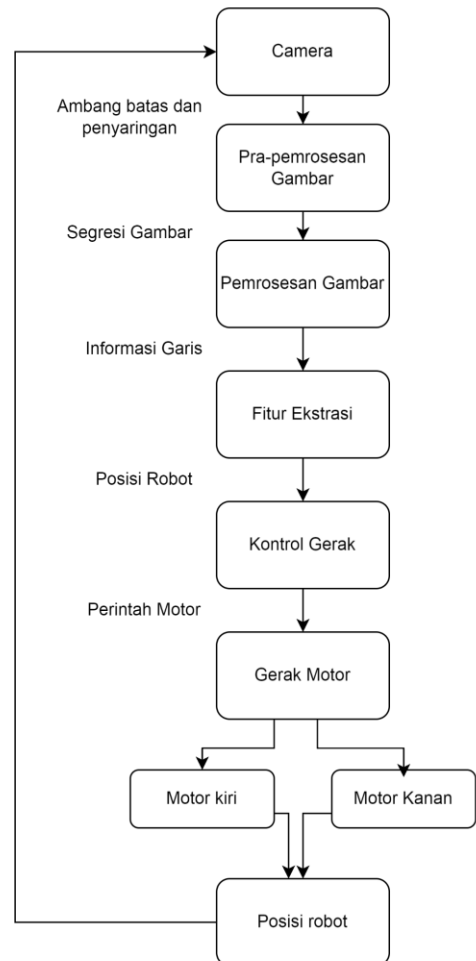
A. Perancangan sistem

Pada project ini kami merancang robot berbasis line follower dengan mengikuti garis berwarna hitam dan robot berjalan mengikuti garis menggunakan kamera untuk mendeteksi garis yang berada didepannya. Robot JetBot

ini mendeteksi garis yang berada di tengah menggunakan kamera sebagai alat pedeteksi yang tingkat ketelitian bagus untuk robot line follower.

B. Diagram blok

Seperti yang dapat dilihat dari diagram blok di bawah ini, desain keseluruhan rangkaian dan alat yang digunakan dirangkum menggunakan diagram blok di gambar 2 bawah ini.



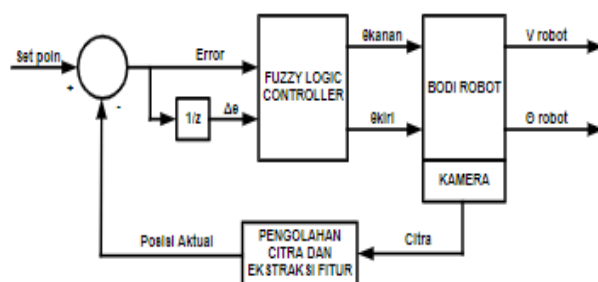
Gbr.3 Diagram blok

C. Perancangan Fuzzy logic controller

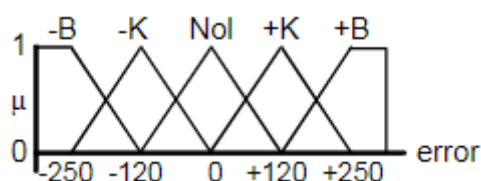
Memfaatkan sistem kendali sangat penting dalam mengoperasikan robot, dan dalam hal ini, fuzzy logic controller digunakan. fuzzy logic controller ini disukai karena kesederhanaannya itu tidak memerlukan model matematika untuk robot. Selain itu, ini kurang kompleks dibandingkan dengan sistem kendali cerdas lainnya. Gambar 4 menampilkan diagram blok sistem kendali untuk referensi.

Hasil ekstraksi fitur merupakan pembacaan aktual sensor dan dibandingkan dengan set poin. Selisih pembacaan aktual sensor dan set poin adalah nilai error. Nilai error ini dijadikan masukan fuzzy logic controller. Keluaran fuzzy logic controller ini adalah nilai duty cycle pulse width modulation (PWM) yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor. Putaran motor mengakibatkan posisi aktual robot akan berubah sehingga citra yang diambil kamera juga berbeda dengan frame sebelumnya. Proses fuzzifikasi dalam fuzzy logic controller yang diterapkan menggunakan membership function. Dari membership function ini akan mendapatkan nilai keanggotaan.

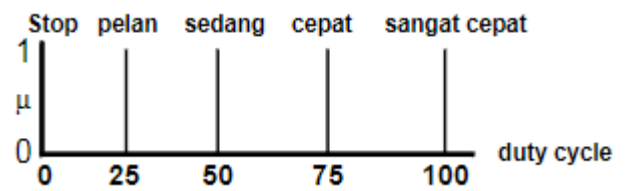
Nilai keanggotaan tersebut kemudian dimasukan sebuah proses evaluasi rule yang nilainya ditunjukan dari tabel 1 dan tabel 2. Proses evaluasi rule dilakukan selanjutnya dilakukan proses defuzzifikasi. Hasil proses ini adalah didapatkan nilai duty cycle sinyal PWM yang diberikan ke rangkaian driver motor. Sebuah masukan fuzzy logic berupa error yang terjadi antara set poin dengan pembacaan secara aktual. Selain nilai error, nilai selisih error aktual dengan error pada kondisi sebelumnya juga dijadikan sebagai masukan. Nilai ini adalah selisih error atau delta error (Δe). Kedua masukan ini dinyatakan ke dalam bentuk evaluasi rule dengan keluaran berupa kecepatan tiap roda.



Gbr.4 Perancangan Fuzzylogic controller



Gbr.5 Fungsi keanggotaan input error



Gbr.6 Fungsi keanggotaan keluaran

Tabel 1. Rule Roda Kiri

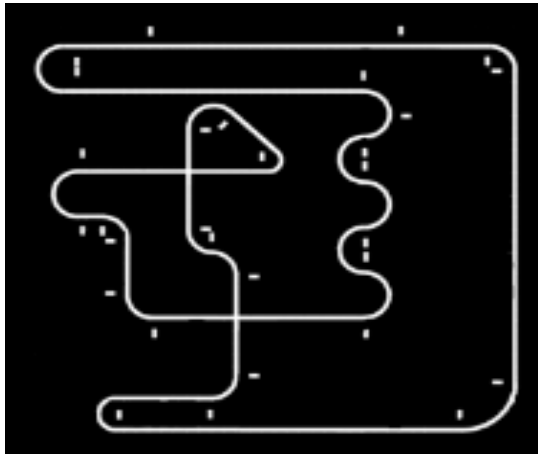
error	$\Delta error$				
	-Besar	-Kecil	Nol	+Kecil	+Besar
-B	sedang	sedang	cepat	cepat	cepat
-K	sedang	sedang	cepat	cepat	cepat
N	pelan	sedang	cepat	cepat	cepat
+K	pelan	pelan	sedang	sedang	cepat
+B	pelan	pelan	pelan	pelan	sedang

Tabel 2. Rule Roda Kanan

error	$\Delta error$				
	-Besar	-Kecil	Nol	+Kecil	+Besar
-B	sedang	sedang	pelan	pelan	pelan
-K	cepat	sedang	sedang	pelan	pelan
N	cepat	cepat	cepat	sedang	sedang
+K	cepat	cepat	cepat	sedang	sedang
+B	cepat	cepat	sedang	sedang	sedang

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan sebuah jalur yang memiliki tikungan sebanyak tiga belas tikungan dengan radius yang berbeda. Ada tikungan kekiri, kekanan, tikungan s, serta perempanan. Jalur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6. Sebuah garis melintang ditempatkan di jalur tepat sebelum memasuki tikungan. Fungsinya adalah memberikan informasi kepada robot bahwa tikungan telah diakses. Dengan demikian, saat robot mendeteksi garis ini, menghitung waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi steady state.



Data diambil pada setiap tikungan dalam pengujian ini. Data yang diambil adalah waktu penyelesaian (settling time) robot saat melewati setiap tikungan. Settling time dihitung dari saat robot memasuki tikungan hingga mencapai keadaan steady state. Selain settling time, data yang diamati juga mencakup nilai maksimal dari kesalahan (error) yang terjadi. Pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali putaran. Dari semua data yang telah didapatkan dari hasil pengujian.

No	Tikungan	Settling time		Maksimal Error (piksel)	
		Rata-rata	Steady state	Rata-rata	Steady state
1	Tikungan Kanan	0,70	0,029	104,27	4,89
2	Tikungan Kiri	0,72	0,020	77,80	6,77
3	Tikungan S	0,61	0,035	54,33	6,24
4	Perempatan	0,60	0,033	40,99	41,2

Sistem ini menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan metode tradisional yang menggunakan sensor dan transduser untuk tujuan mengikuti garis robot bergerak. Salah satunya adalah dengan menggunakan kamera OpenCV umum yang sudah tersedia dan terjangkau. Keuntungan lainnya adalah sistem penglihatan memberikan input yang lebih andal daripada sensor.

- Ini karena pengontrol motor mengandalkan pemrosesan gambar yang lebih tua lama untuk setiap frame yang diambil dari kamera OpenCV. Hasil percobaan yang diberikan menunjukkan bahwa robot Jetbot berhasil mendeteksi dan mengikuti garis berdasarkan sistem yang diusulkan. Sistem yang diusulkan juga memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sistem berbasis visi yang ada. Metode yang diusulkan tidak. Tidak diperlukan perubahan atau penambahan pada robot lingkungan untuk membantu dengan baris berikut atau tugas navigasi. Selain itu, metode ekstraksi fitur di sistem menghasilkan input yang sederhana namun efektif tetapkan pengontrol robot yang sesuai dikirim sinyal PWM ke setiap motor sesuai kebutuhan. Sistem penglihatan dianggap sangat menjanjikan pada tahap ini, setelah perbaikan tertentu, sudah dapat menghasilkan garis yang lebih baik.