

Desain Integrasi IoT pada Robot Line Follower sebagai Konsep Awal Efisiensi Pemindahan Barang

Ilham Jawaz¹, Muhammad Primasuri Anbiya¹, Muhammad Aiman Fathin¹, Hartawan Alief Nugroho Wicaksono¹, Vina Veriska¹, Rahmat Hidayat¹

¹ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, 41361, Indonesia

Penulis Korespondensi: Ilham Jawaz (e-mail: 2010631160112@student.unsika.ac.id)

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada desain robot line follower untuk memindahkan barang dengan dukungan teknologi Internet of Things (IoT). Tujuan utama penelitian adalah menghasilkan rancangan konseptual yang dapat meningkatkan efisiensi serta efektivitas proses pemindahan barang, terutama pada lingkungan industri, pergudangan, maupun skala pendidikan. Robot dirancang untuk mengikuti jalur tertentu secara otomatis menggunakan sensor cahaya, dengan rancangan sistem kendali berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Integrasi IoT dalam desain ini menawarkan kemungkinan pemantauan dan pengendalian secara real-time melalui perangkat berbasis internet, sehingga memungkinkan fleksibilitas operasional dan penghematan sumber daya manusia. Metodologi yang digunakan mencakup studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras, penyusunan blok diagram kontrol, serta rancangan perangkat lunak dasar. Hasil kajian konseptual menunjukkan bahwa sistem ini berpotensi bekerja secara stabil, menjaga akurasi lintasan, serta menyelesaikan pemindahan barang dengan lebih efisien dibandingkan cara manual. Penelitian ini masih berada pada tahap desain dan belum mencakup implementasi fisik. Namun demikian, rancangan yang dihasilkan dapat menjadi dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut, termasuk uji coba eksperimental, integrasi sensor tambahan, serta penerapan pada sistem logistik cerdas di masa depan.

KATA KUNCI robot; line follower; motor; Arduino uno.

ABSTRACT

This research focuses on designing a line follower robot to move goods with the support of Internet of Things (IoT) technology. The main objective of the research is to produce a conceptual design that can improve the efficiency and effectiveness of the goods transfer process, particularly in industrial, warehousing, and educational settings. The robot is designed to follow a specific path automatically using light sensors, with the control system designed based on the Arduino Uno microcontroller. The integration of IoT in this design offers the possibility of real-time monitoring and control via internet-based devices, enabling operational flexibility and saving human resources. The methodology used includes literature studies, system requirements analysis, hardware design, control block diagram development, and basic software design. The results of the conceptual study indicate that this system has the potential to operate stably, maintain trajectory accuracy, and complete goods transfer more efficiently than manual methods. This research is still in the design phase and has not yet included physical implementation. However, the resulting design can serve as a strong foundation for further research, including experimental trials, the integration of additional sensors, and future application in intelligent logistics systems.

KEYWORD robot; line follower; motor; Arduino uno.

1. PENDAHULUAN

Dalam era yang semakin terhubung secara digital, sistem otomatis yang cerdas semakin bergantung pada teknologi Internet of Things (IoT). IoT memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung melalui jaringan internet dan saling bertukar data secara real-time.

Kehadiran IoT telah memberikan dampak besar pada banyak sektor, termasuk logistik dan pengangkutan barang, karena mampu menghadirkan efisiensi operasional, pemantauan jarak jauh, dan pengendalian yang lebih fleksibel. Salah satu solusi yang mulai banyak dilihat dalam konteks ini adalah penggunaan

robot line follower sebagai alat bantu transportasi barang. Integrasi robot line follower dengan IoT diharapkan dapat memberikan alternatif yang efisien, adaptif, dan ekonomis bagi kebutuhan industri modern [1, 2].

Robot line follower sendiri merupakan jenis robot yang bergerak mengikuti jalur tertentu, umumnya berupa garis berwarna hitam atau putih pada permukaan yang kontras. Prinsip kerja robot ini relatif sederhana, namun aplikasinya cukup luas, mulai dari pendidikan, kompetisi robotika, hingga penerapan nyata di bidang industri. Sebagai pengangkut barang, robot line follower dituntut tidak hanya untuk mampu membaca jalur dengan baik, tetapi juga mendeteksi keberadaan barang, mengangkat serta menurunkannya menggunakan mekanisme tertentu, dan mengantarkannya menuju tujuan dengan tepat waktu dan akurat [3, 4].

Untuk mengendalikan pergerakan serta perilaku robot line follower, dibutuhkan sistem kendali yang mampu menyesuaikan dengan kondisi jalur maupun beban yang dibawa. Salah satu pendekatan yang relevan adalah penggunaan logika fuzzy. Metode ini memungkinkan sistem menghadapi ketidakpastian, variasi input sensor, serta kompleksitas lingkungan operasi [5]. Logika fuzzy dapat memberikan solusi kendali yang lebih fleksibel dan adaptif, terutama dalam menyesuaikan kecepatan, arah, dan jarak tempuh [6, 7].

Penelitian ini masih berada pada tahap desain, sehingga fokusnya adalah pada perancangan konseptual arsitektur perangkat keras, perangkat lunak, serta integrasi IoT. Dengan adanya rancangan ini, diharapkan dapat dibangun dasar kuat untuk pengembangan robot line follower cerdas yang mendukung otomatisasi pemindahan barang secara efisien di masa depan.

2. METODE

Logika Fuzzy, diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, merupakan konsep matematika yang digunakan untuk mengatasi ketidakpastian. Konsep ini berangkat dari gagasan tentang himpunan fuzzy yang memungkinkan penanganan nilai-nilai kabur atau samar. Dalam logika fuzzy, suatu pernyataan tidak hanya bernilai benar atau salah, melainkan dapat memiliki derajat kebenaran dalam rentang 0 hingga 1 [8, 9].

Tujuan utama dari logika fuzzy adalah membentuk dasar teoritis bagi penalaran, yang sering disebut sebagai penalaran perkiraan. Dengan pendekatan ini, variabel linguistik seperti kecepatan dapat direpresentasikan dalam kategori lambat, agak cepat, cepat, hingga sangat cepat. Fuzzy Inference System (FIS) kemudian berfungsi melakukan penalaran mirip dengan cara berpikir manusia, berdasarkan konsep himpunan fuzzy, fungsi keanggotaan, dan aturan if-then. Sistem ini memetakan input fuzzy menjadi output fuzzy sesuai dengan prinsip logika fuzzy [10].

Dalam penelitian ini, logika fuzzy dijadikan landasan untuk merancang sistem kendali robot line follower berbasis IoT. Metode penelitian yang digunakan mencakup beberapa tahapan utama, yaitu:

1. Studi literatur mengenai robot *line follower*, teknologi IoT, dan penerapan logika fuzzy.

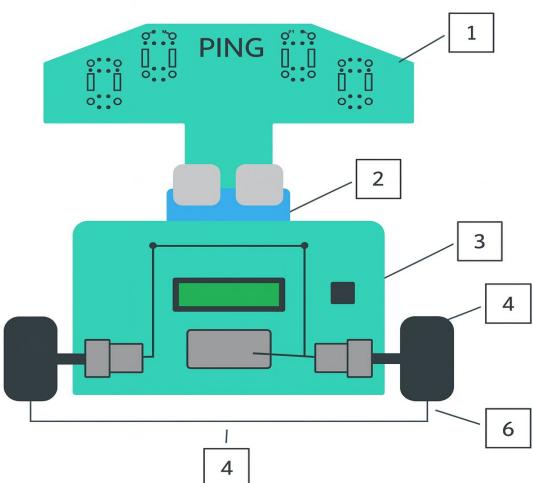
2. Analisis kebutuhan sistem untuk menentukan spesifikasi sensor, aktuator, serta mikrokontroler yang akan digunakan.
3. Perancangan blok diagram sistem yang menggambarkan alur input, proses, dan output.
4. Penyusunan rancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang masih bersifat konseptual.

Hasil metode ini adalah rancangan konseptual robot line follower berbasis IoT dengan logika fuzzy sebagai pengendali utama, yang menjadi dasar penelitian lanjutan untuk tahap implementasi dan pengujian.

Rancangan Diagram Blok Sistem Kontrol Robot

Penelitian ini masih berada pada tahap desain sehingga fokus pada perancangan konseptual sistem kontrol robot. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai pusat kendali yang berfungsi menerima input dari sensor dan menghasilkan output berupa perintah ke aktuator. Input utama berasal dari sensor photodiode yang mendeteksi intensitas cahaya pada jalur garis hitam. Data hasil deteksi diproses oleh Arduino Uno untuk menentukan arah gerak robot [11, 12].

Keluaran sistem berupa motor DC yang berfungsi menggerakkan roda sehingga robot dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan. Untuk mendukung sistem, digunakan sumber daya berupa baterai 12 Volt yang terhubung ke rangkaian power supply. Rangkaian ini bertugas mendistribusikan daya secara stabil ke seluruh komponen, baik sensor, mikrokontroler, maupun aktuator. Rancangan blok diagram sistem kontrol secara umum terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Input berasal dari sensor photodiode, proses dilakukan oleh mikrokontroler Arduino Uno, dan output berupa pergerakan motor DC.



Gambar 1. Diagram Rancangan Fisik Robot Line Follower

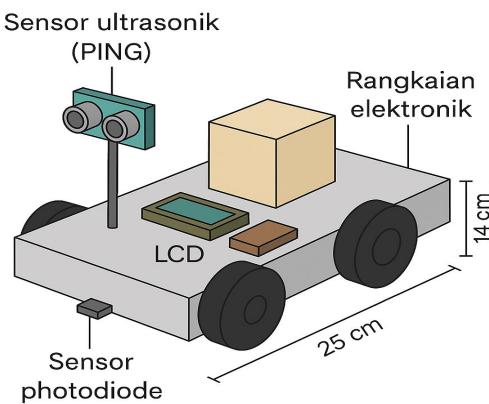
Pada Gambar 1 menunjukkan rancangan fisik robot *line follower* berbasis IoT dengan komponen utama yang saling terintegrasi. Sensor photodiode ditempatkan di bagian depan untuk mendeteksi jalur hitam atau putih sebagai input utama navigasi. Mikrokontroler Arduino

Uno berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data sensor, kemudian mengolahnya untuk menghasilkan perintah gerak [13].

Informasi sederhana terkait status sistem ditampilkan melalui LCD display yang terletak di bagian tengah robot. Pergerakan robot didukung oleh motor DC yang dihubungkan dengan driver motor, sehingga mampu menggerakkan roda kiri dan kanan secara seimbang. Kedua roda dihubungkan oleh sumbu penggerak untuk menjaga stabilitas arah dan distribusi beban selama bergerak. Dengan susunan tersebut, rancangan robot ini menunjukkan keterpaduan antara input sensor, pemrosesan data pada mikrokontroler, serta output berupa aktuasi roda, yang menjadi dasar penting dalam mendukung fungsi robot line follower untuk pemindahan barang secara otomatis [14, 15].

Rancangan Bentuk Fisik Robot

Robot line follower ini dirancang dengan menggunakan bahan akrilik yang memiliki sifat ringan namun tetap kokoh, sehingga mampu menopang komponen elektronik tanpa membebani struktur. Dimensi robot adalah $25\text{ cm} \times 14\text{ cm}$, ukuran yang dipilih untuk menjaga keseimbangan antara kelincahan gerak dan stabilitas konstruksi. Penempatan komponen dilakukan secara terstruktur agar setiap fungsi dapat berjalan optimal. Sensor ultrasonik (PING) dipasang pada bagian depan robot untuk mendeteksi jarak dengan objek atau rintangan di depannya. Sensor photodiode ditempatkan di bagian bawah rangka, berfungsi membaca lintasan berupa garis hitam atau putih yang menjadi jalur navigasi. Sementara itu, rangkaian elektronik utama, LCD, serta motor ditempatkan pada rangka bagian atas agar mudah diakses dan terlindungi. Tata letak ini diharapkan mampu memberikan efisiensi ruang, memudahkan perawatan, sekaligus menjaga distribusi beban robot agar pergerakan tetap stabil selama proses pemindahan barang.



Gambar 2. Desain Robot Line Follower Fisik

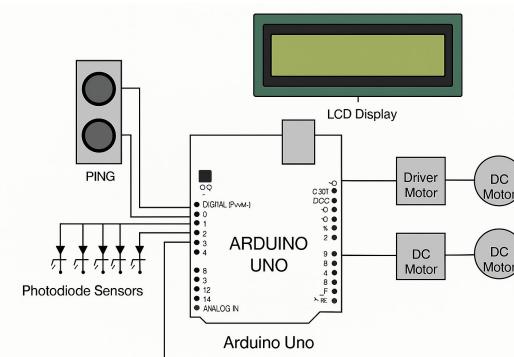
Pada Gambar 2 memperlihatkan rancangan fisik robot line follower dengan susunan komponen utama pada rangka akrilik berukuran $25\text{ cm} \times 14\text{ cm}$. Sensor

ultrasonik ditempatkan di bagian depan, sensor photodiode berada di bawah untuk membaca jalur, sementara rangkaian elektronik, LCD, dan ruang penempatan barang diletakkan di bagian atas. Motor DC dipasang pada sisi kiri dan kanan untuk menggerakkan roda, sehingga keseluruhan desain menunjukkan integrasi antara sensor, pengendali, aktuator, dan area angkut barang dalam satu platform.

Perancangan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat keras dalam penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan aplikasi Proteus. Rangkaian yang dirancang mencakup satu sensor ultrasonik (PING) untuk mendeteksi jarak, satu LCD sebagai media tampilan, delapan sensor photodiode untuk membaca lintasan, driver motor, serta dua motor DC yang menjadi aktuator utama. Seluruh komponen dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Mikrokontroler ini menerima input dari sensor, kemudian mengolah data untuk menghasilkan output berupa perintah gerak pada aktuator.

Sementara itu, perangkat lunak dirancang dengan menerapkan logika kontrol berbasis fuzzy inference system (FIS). Program pada Arduino Uno ditulis untuk membaca sinyal sensor, memproses data menggunakan aturan fuzzy, lalu mengirimkan sinyal kendali ke motor agar robot tetap bergerak mengikuti jalur yang telah ditentukan. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem kendali dapat menyesuaikan kondisi jalur secara lebih fleksibel. Rancangan yang dihasilkan masih bersifat konseptual, sehingga menjadi landasan awal bagi tahap implementasi fisik dan pengujian eksperimental pada penelitian selanjutnya.



Gambar 3. Diagram Blok Perancangan Sistem Robot Line Follower Berbasis IoT

Gambar 3 memperlihatkan rancangan blok sistem yang terdiri dari beberapa komponen utama. Sensor photodiode berfungsi sebagai input utama untuk mendeteksi jalur hitam atau putih yang menjadi lintasan robot. Sensor ultrasonik (PING) digunakan sebagai pendukung untuk mendeteksi jarak terhadap objek di depan robot. Data dari kedua sensor tersebut dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali sistem. Arduino Uno kemudian mengolah data dan

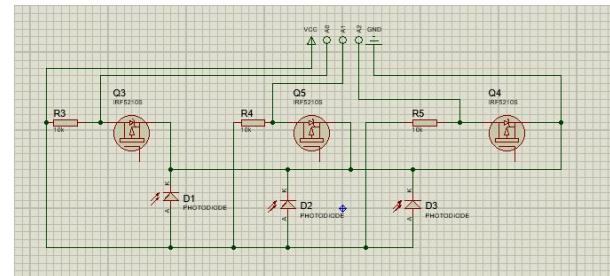
memberikan perintah ke driver motor, yang selanjutnya mengatur dua motor DC sebagai aktuator roda. LCD berperan menampilkan informasi status robot secara sederhana, seperti kondisi sensor atau arah pergerakan. Selain itu, sistem dirancang terhubung ke platform IoT sehingga data dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time melalui perangkat berbasis internet. Diagram ini menjelaskan alur kerja sistem secara konseptual, mencakup hubungan antara input, proses, dan output pada robot line follower.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menyajikan hasil dari perancangan robot line follower berbasis IoT serta pembahasan mengenai fungsi dari setiap komponen yang digunakan. Hasil perancangan meliputi rangka dan body robot, sistem sensor, aktuator, serta rancangan perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dijelaskan pada bab metode. Pada tahap ini, rancangan masih bersifat konseptual dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak pendukung, sehingga pembahasan difokuskan pada kinerja rancangan berdasarkan teori serta hasil simulasi. Analisis dilakukan untuk melihat bagaimana masing-masing komponen saling terintegrasi, dimulai dari sensor sebagai input, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan, hingga motor DC sebagai aktuator yang menghasilkan gerakan. Dengan penyusunan pembahasan ini, diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kemampuan robot dalam mengikuti lintasan dan memindahkan barang sesuai fungsi yang dirancang.

Perancangan Rangka dan Body

Sensor berfungsi sebagai komponen input utama pada robot, karena melalui sensor inilah sistem memperoleh informasi awal mengenai kondisi lingkungan. Pada rancangan ini digunakan tiga buah *photo transistor* yang dipasangkan dengan tiga buah LED sebagai sumber cahaya. Kombinasi tersebut memungkinkan sensor mendeteksi perbedaan intensitas cahaya yang dipantulkan dari permukaan lintasan, sehingga jalur hitam maupun putih dapat dikennen secara akurat. Selain itu, ditambahkan beberapa resistor sebagai pembagi tegangan untuk menyesuaikan sinyal output sensor dengan kebutuhan mikrokontroler. Output dari sensor kemudian dihubungkan ke port analog Arduino Uno agar dapat diproses lebih lanjut. Dengan rancangan ini, sensor diharapkan mampu memberikan data yang stabil dan konsisten, sehingga robot dapat mengikuti jalur dengan baik. Gambar di bawah menunjukkan rangkaian sensor yang digunakan sebagai input pada sistem robot line follower.

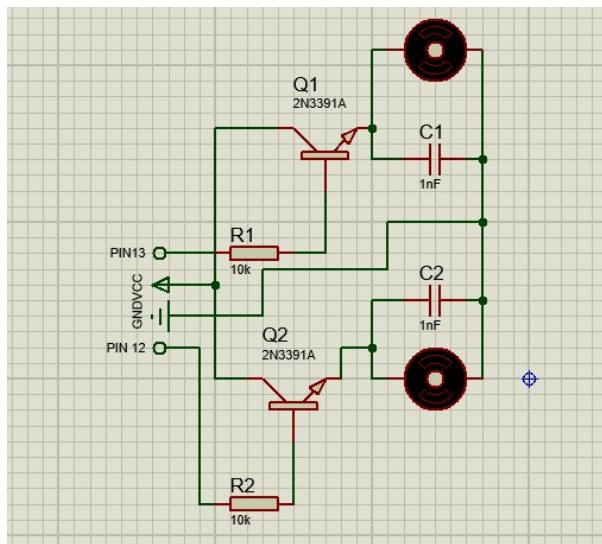


Gambar 4. Rangkaian Sensor Robot Line Follower

Gambar 4 menunjukkan rancangan sensor yang digunakan sebagai input utama pada sistem robot line follower. Rangkaian ini terdiri dari tiga photodiode yang dipasangkan dengan LED sebagai pendeksi jalur, serta resistor sebagai pembagi tegangan untuk menyesuaikan sinyal keluaran. Setiap photodiode akan menghasilkan respon berbeda sesuai dengan intensitas cahaya yang dipantulkan dari permukaan lintasan, sehingga jalur berwarna hitam dan putih dapat dibedakan secara jelas. Sinyal keluaran dari masing-masing sensor kemudian diperkuat melalui transistor dan diteruskan ke pin analog mikrokontroler Arduino Uno. Hasil pembacaan sensor masuk ke port ADC (Analog to Digital Converter) dengan keluaran berupa nilai A0, A1, dan A2. Nilai-nilai ini selanjutnya digunakan sebagai dasar pengolahan data oleh mikrokontroler untuk menentukan arah gerak robot. Dengan rancangan ini, robot diharapkan mampu mendeksi jalur secara stabil, sehingga pergerakan mengikuti lintasan dapat dilakukan secara akurat.

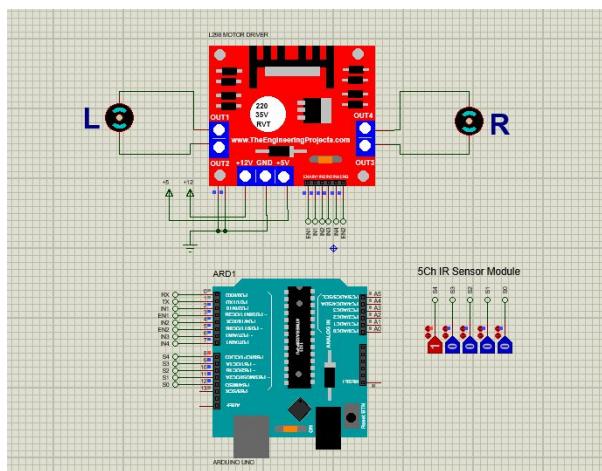
Perancangan Motor DC

Motor yang digunakan pada rancangan ini adalah motor DC 6 Volt yang berfungsi sebagai aktuator utama untuk menggerakkan roda robot. Motor jenis ini dipilih karena mudah dikendalikan, responsif, serta memiliki kecepatan putar yang cukup baik untuk aplikasi robot line follower. Namun demikian, motor DC 6 Volt memiliki keterbatasan berupa torsi yang relatif kecil sehingga kurang optimal dalam membawa beban berat secara berkelanjutan. Pada rangkaian yang ditampilkan pada Gambar 5, motor DC dihubungkan dengan driver motor yang berperan sebagai penguat arus dan jembatan pengendali antara mikrokontroler dengan aktuator. Melalui konfigurasi ini, mikrokontroler dapat mengatur arah putaran serta kecepatan motor sesuai dengan data masukan dari sensor photodiode. Dengan demikian, meskipun masih sederhana, rangkaian motor DC ini memungkinkan robot bergerak maju, berbelok, maupun berhenti mengikuti jalur yang telah ditentukan.



Gambar 5. Rangkaian Motor DC Robot Line Follower

Gambar 5 menunjukkan rangkaian motor DC yang difungsikan sebagai aktuator penggerak robot line follower. Pada rangkaian ini, motor dihubungkan ke driver motor yang berperan sebagai penghubung antara mikrokontroler Arduino Uno dengan aktuator. Driver motor menerima sinyal logika dari mikrokontroler, kemudian mengatur arus dan tegangan yang dialirkan ke motor. Dengan konfigurasi tersebut, arah putaran roda dapat dikendalikan sesuai instruksi sensor, baik untuk bergerak lurus, berbelok, maupun berhenti. Rangkaian ini menjadi bagian penting dalam menjaga responsivitas robot terhadap perubahan jalur, karena memastikan sinyal dari mikrokontroler dapat diterjemahkan secara efektif menjadi gerakan mekanis pada roda. Setelah dilakukan perancangan pada bagian sensor dan aktuator, tahap berikutnya adalah menyusun rangkaian lengkap yang mengintegrasikan seluruh komponen utama robot. Rangkaian ini menghubungkan modul sensor sebagai input, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali, serta driver motor dan motor DC sebagai aktuator. Integrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Rangkaian Lengkap Kendali Robot Line

Follower

Gambar 6 memperlihatkan rangkaian lengkap sistem kendali robot line follower yang terdiri atas modul sensor, mikrokontroler, dan driver motor. Modul sensor IR berfungsi sebagai input utama untuk membaca jalur, kemudian data hasil deteksi dikirimkan ke Arduino Uno. Mikrokontroler mengolah data tersebut dan menghasilkan sinyal kendali yang diteruskan ke driver motor L298N. Driver motor ini berperan mengatur suplai arus ke motor kiri (L) dan motor kanan (R), sehingga robot dapat bergerak maju, berbelok, maupun berhenti sesuai dengan kondisi jalur yang terbaca. Melalui konfigurasi ini, seluruh komponen sistem saling terintegrasi sehingga robot mampu melakukan navigasi secara otomatis mengikuti garis lintasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan robot *line follower* berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa integrasi robotika dengan teknologi Internet of Things memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pemindahan barang. Rancangan yang dikembangkan menunjukkan bahwa sistem sensor photodiode dapat digunakan untuk membaca jalur, sementara mikrokontroler Arduino Uno berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dan memberikan perintah ke motor DC sebagai aktuator. Dengan dukungan IoT, rancangan ini juga dirancang agar mampu dipantau dan dikendalikan secara *real-time* dari jarak jauh, sehingga memberikan fleksibilitas lebih tinggi dalam pengoperasian.

Penelitian ini masih berada pada tahap desain konseptual, sehingga belum dilakukan implementasi fisik maupun pengujian eksperimental. Oleh karena itu, tahap selanjutnya perlu difokuskan pada realisasi prototipe, pengujian kinerja sensor, pengendalian motor, serta uji coba integrasi IoT dalam kondisi nyata. Dengan pengembangan lebih lanjut, robot *line follower* berbasis IoT ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam otomatisasi logistik, mendukung peningkatan produktivitas, serta mengurangi biaya operasional di berbagai sektor industri.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. M. H. W. Kadir, R. E. Samin, and B. S. K. Ibrahim, "Internet controlled robotic arm," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1065-1071, 2012.
- [2] H. Mohammed Ali, Y. Hashim, and G. A AL-Sakkal, "Design and implementation of Arduino based robotic arm," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 1411-1411, 2022.
- [3] R. K. Megalingam, S. Boddupalli, and K. Apuroop, "Robotic arm control through mimicking of miniature robotic arm," in *2017 4th international conference on advanced*

- computing and communication systems (ICACCS), 2017: IEEE, pp. 1-7.
- [4] R. K. Megalingam, G. V. Vivek, S. Bandyopadhyay, and M. J. Rahi, "Robotic arm design, development and control for agriculture applications," in 2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), 2017: IEEE, pp. 1-7.
- [5] M. H. M. Hamzah, N. M. Thamrin, and M. Tajjudin, "Robotic Arm Position Control using Mamdani Fuzzy Logic on Arduino Microcontroller," *Journal of Mechanical Engineering (1823-5514)*, vol. 19, no. 3, 2022.
- [6] S. K. Mostaque and B. Karmakar, "Low cost arduino based voice controlled pick and drop service with movable robotic arm," *European Journal of Engineering and Technology Research*, vol. 1, no. 5, pp. 29-33, 2016.
- [7] H. Kareemullah, D. Najumnissa, M. M. Shajahan, M. Abhineshjayram, V. Mohan, and S. A. Sheerin, "Robotic Arm controlled using IoT application," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 105, p. 108539, 2023.
- [8] J. M. Soto-Hidalgo, A. Vitiello, J. M. Alonso, G. Acampora, and J. Alcalá-Fdez, "Design of fuzzy controllers for embedded systems with JFML," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 204-214, 2018.
- [9] C. Kök and S. O. Mert, "Comparison of energy and exergy analysis of fuzzy logic and power follower control strategies in fuel cell electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 614, p. 235033, 2024/09/15/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235033>.
- [10] M. Barfi, H. Karami, F. Faridi, Z. Sohrabi, and M. Hosseini, "Improving robotic hand control via adaptive Fuzzy-PI controller using classification of EMG signals," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e11931, 2022/12/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11931>.
- [11] A. Mousavi and A. H. D. Markazi, "A new control method for leader–follower consensus problem of uncertain constrained nonlinear multi-agent systems," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 361, no. 9, p. 106889, 2024/06/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2024.106889>.
- [12] M. R. M. Veeramanickam, B. Venkatesh, L. A. Bewoor, Y. W. Bhowte, K. Moholkar, and J. L. Bangare, "IoT based smart parking model using Arduino UNO with FCFS priority scheduling," *Measurement: Sensors*, vol. 24, p. 100524, 2022/12/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100524>.
- [13] R. Farkh, M. T. Quasim, K. Al jaloud, S. Alhuwaimel, and S. T. Siddiqui, "Computer Vision-Control-Based CNN-PID for Mobile Robot," *Computers, Materials and Continua*, vol. 68, no. 1, pp. 1065-1079, 2021/02/03/ 2021, doi: <https://doi.org/10.32604/cmc.2021.016600>.
- [14] K. Mattas, G. Botzoris, and B. Papadopoulos, "Safety aware fuzzy longitudinal controller for automated vehicles," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8, no. 4, pp. 568-581, 2021/08/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.12.006>.
- [15] F. Caleffi, L. d. S. Rodrigues, J. d. S. Stamboroski, and B. M. Pereira, "Small-scale self-driving cars: A systematic literature review," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 11, no. 2, pp. 271-292, 2024/04/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.09.005>.