

Kursi *Line Follower* Berbasis Arduino Uno R3

Hermawan¹, Muhammad Ilyas Sikki², Setyo Supratno^{3*}

^{1,2,3} Universitas Islam 45, Bekasi, Indonesia

¹wawanasus15@gmail.com, ²ilyas_sikki@unismabekasi.ac.id, ^{3*}setyo@unismabekasi.ac.id

*) setyo@unismabekasi.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan kursi line follower berbasis Arduino Uno R3 yang mampu mengikuti garis dengan akurasi tinggi. Fokus penelitian mencakup penggunaan sensor TCRT5000 dan pengendalian dengan Arduino Uno R3. Hasil pengujian menunjukkan tegangan baterai sebesar 15,96 V, dan pengujian komponen lain menunjukkan hasil sesuai spesifikasi. Pengujian pada lintasan menunjukkan waktu tempuh keseluruhan sebesar 49 detik untuk pergi-pulang pada lintasan sepanjang 274 cm, dengan rincian sebagai berikut, pertama, kursi ditempatkan di posisi start dan diarahkan menuju posisi finish. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai posisi finish adalah 24 detik. Saat kembali dari posisi finish ke posisi start, waktu yang ditempuh adalah 25 detik. Total waktu yang dibutuhkan untuk pergi dan kembali pada lintasan ini adalah 49 detik. kedua, kursi ditempatkan di posisi start dan kembali diuji untuk bergerak menuju posisi finish dan kembali lagi. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai posisi finish adalah 24 detik, dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke posisi start adalah juga 24 detik. Total waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan pergi dan kembali ini adalah 48 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu tempuh untuk perjalanan pergi lebih konsisten dibandingkan dengan waktu tempuh untuk perjalanan kembali. Pada pengujian pertama, terdapat perbedaan waktu sebesar 1 detik antara perjalanan pergi dan kembali, sementara pada pengujian kedua, waktu tempuh pergi dan kembali sama persis.

Kata Kunci: Kursi *Line Follower*; Arduino Uno R3; Sensor TCRT5000; Robotika,

Abstract— This study aims to design and develop a line follower chair based on Arduino Uno R3 that can follow lines with high accuracy. The research focuses on the use of TCRT5000 sensors and control with Arduino Uno R3. Test results show the battery voltage at 15.96 V, and other component tests yielded results in line with specifications. Testing on the track showed a total travel time of 49 seconds for a round trip on a 274 cm track, with details as follows: First, the chair was placed at the start position and directed towards the finish position. The time required to reach the finish position was 24 seconds. The return trip from the finish to the start position took 25 seconds. The total time for the round trip was 49 seconds. In the second test, the chair was again placed at the start position and tested to move towards the finish position and back. The time required to reach the finish position was 24 seconds, and the return trip to the start position also took 24 seconds. The total time for this round trip was 48 seconds. The test results indicate that the travel time for the forward journey is more consistent compared to the return journey. In the first test, there was a 1-second difference between the forward and return trips, while in the second test, the forward and return travel times were exactly the same.

Keywords: Line Follower Chair, Arduino Uno R3, TCRT5000 Sensor, Robotics, System Testing.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan otomasi industri yang semakin pesat, canggih, dan modern mendorong manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya dengan cepat, tepat, dan efisien. Robot otomasi industri modern berada di garis depan transformasi ini, dilengkapi dengan sensor canggih seperti LDR, sensor ultrasonik, sensor api, sensor gas, dan sensor logam, yang meningkatkan fungsionalitas dan keamanannya dalam pengaturan industri, [1]. Kemajuan terkini dalam robotika [2] bertujuan untuk membantu dan menyederhanakan tugas manusia di masa depan. Robot sedang dikembangkan untuk berbagai aplikasi, termasuk pemadaman api [3], layanan perpustakaan [4], hiburan [5], dan transportasi barang [6]. Salah satu jenis robot yang berkembang pesat adalah robot line follower, [7]-[8]-[9]-[10]-[11]. Line follower robot, atau robot pengikut garis, adalah robot yang dapat berjalan mengikuti sebuah lintasan.[7]-[12]-[13]-[14]-[15]. Beberapa orang menyebutnya dengan nama lain seperti line



tracker atau line tracer robot. Garis yang dimaksud biasanya berupa garis [15] berwarna hitam di atas permukaan

putih atau sebaliknya[16], meskipun ada juga lintasan dengan warna lain asalkan kontras dengan permukaan sekitarnya. Selain itu, terdapat juga lintasan yang tak terlihat, seperti medan magnet, yang dapat digunakan sebagai panduan bagi robot.

Robot pengikut garis merupakan salah satu bentuk robot otonom yang memiliki kemampuan untuk mengikuti garis pemandu dengan tingkat presisi tertentu. Teknologi robotika telah memungkinkan pengembangan robot pengikut garis ini untuk digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari penelitian, industri, hingga kompetisi robot. Robot ini dapat membantu dalam proses otomatisasi penanganan material dan prosedur perakitan di jalur produksi, yang pada akhirnya dapat mengurangi tenaga kerja manusia dan kesalahan terkait [17]. Perancangan robot pengikut garis melibatkan implementasi perangkat keras dan perangkat lunak yang memengaruhi kehandalan dan akurasi robot dalam melewati lintasan dan menjalankan fungsinya, seperti pengantaran makanan [18]. Robot ini juga dapat digunakan dalam berbagai konteks, seperti dalam dunia industri, hiburan, dan pendidikan [19].

Perancangan robot pengikut garis melibatkan implementasi perangkat keras dan perangkat lunak yang memengaruhi kehandalan dan akurasi robot dalam melewati lintasan dan menjalankan fungsinya, seperti pengantaran makanan[18]. Robot ini juga dapat digunakan dalam berbagai konteks, seperti dalam dunia industri, hiburan, dan pendidikan [19]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kontrol dan navigasi robot pengikut garis. Misalnya, penggunaan jaringan saraf tiruan untuk mengontrol robot pengikut garis dalam kompetisi robotika [20]. Selain itu, sistem penalaran logika kabur telah diimplementasikan dalam robot pengikut garis untuk meningkatkan kemampuan navigasinya [21]. Sensor-sensor seperti sensor ultrasonik, sensor inframerah, dan kamera digunakan dalam robot pengikut garis untuk mendeteksi garis pemandu dan mengontrol pergerakan robot, [22]- [23]-[24]. Selain itu, penggunaan kontrol berbasis visi juga telah diterapkan dalam pengembangan robot pengikut garis [25].

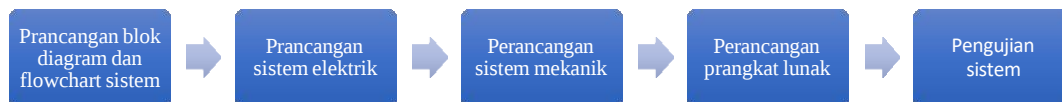
Penelitian menunjukkan bahwa robot pengikut garis berfungsi sebagai alat pendidikan yang efektif untuk mengajarkan robotika dan aplikasi mikrokontroler dalam lingkungan pendidikan kejuruan dan pendidikan tinggi. Robot-robot ini membantu siswa mengintegrasikan pengetahuan lintas disiplin ilmu sains, teknologi, teknik, dan matematika [26]. Studi menunjukkan bahwa penggunaan pelatih robot pengikut garis dapat meningkatkan hasil belajar siswa secara signifikan, dengan satu studi melaporkan peningkatan nilai ujian sebesar 76,8% [27]. Pengembangan alat pendidikan ini, termasuk perangkat keras dan modul instruksional, telah divalidasi untuk validitas konten dan konstruk, dengan peringkat tinggi untuk kualitas dan kepraktisan[28]-[29]. Implementasi program pelatihan robot pengikut garis telah menunjukkan keberhasilan dalam memungkinkan siswa untuk merakit dan memprogram robot mereka sendiri [26]. Alat-alat pendidikan ini sangat berharga dalam program elektronika industri, meningkatkan pemahaman siswa tentang sistem kontrol robotik dan mendukung pengembangan keterampilan mereka di bidang ini [29].

Robot memainkan peran penting dalam mengotomatiskan proses dalam industri, yang mengarah pada peningkatan efisiensi operasional. Sistem robotik industri (IRS) adalah sistem yang terdiri dari robot industri yang mengotomatiskan proses industri[30] . Sistem ini berperan penting dalam meningkatkan hasil produksi sambil mempertahankan kualitas produk [31]. Penerapan Industri 4.0 dalam proses produksi dipercepat oleh robot layanan kolaboratif, yang selanjutnya menekankan peran robot dalam pengaturan industri [32]. Penggunaan robot untuk tugas transportasi, seperti dalam manajemen stok, merupakan aplikasi yang umum dalam industri[33]. Robot industri telah banyak digunakan dalam industri otomotif untuk tugas-tugas seperti pengelasan, pengecatan, dan penanganan material, yang menunjukkan keserbagunaan dan pentingnya mereka di berbagai sektor [34].

Pada akhirnya, semua keunggulan dan aplikasi praktis yang dimilikinya, tidak heran jika robot line follower menjadi salah satu topik penelitian dan pengembangan yang populer di kalangan akademisi dan praktisi industri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan kursi line follower berbasis Arduino Uno R3. Kursi ini akan menggunakan sensor TCRT5000 untuk mendeteksi garis lintasan dan motor driver L298N untuk mengendalikan motor DC, yang diharapkan dapat mengikuti garis dengan akurasi tinggi dan konsistensi yang baik. Fokus penelitian ini adalah untuk menguji performa kursi line follower dalam berbagai kondisi lintasan dan memastikan sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.

2. METODE PENELITIAN

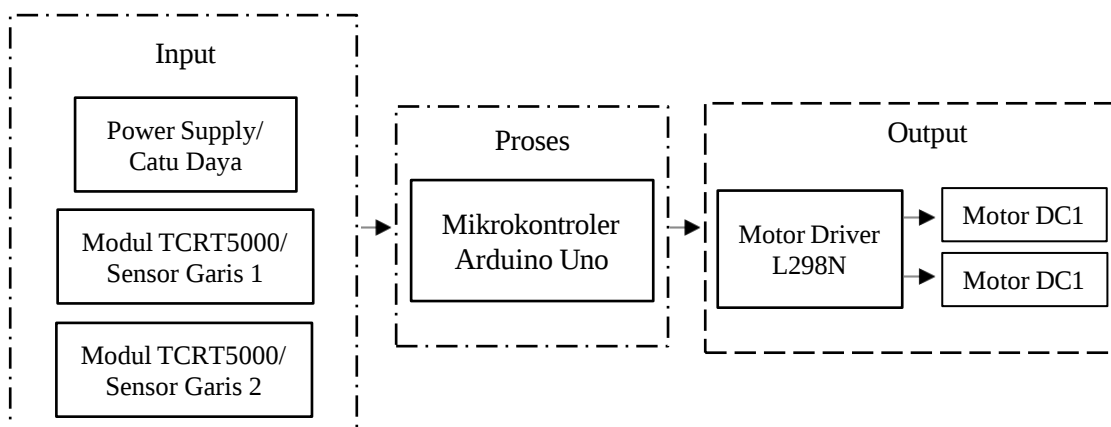
Gambar 1 merupakan alur proses metode penelitian untuk pengujian system kursi *line follower* yang meliputi perancangan blok diagram dan Flowchart Sistem, perancangan sistem elektrik, perancangan sistem mekanik, perancangan perangkat lunak.



Gambar 1 Alur Proses Metode Penelitian

2.1 Perancangan blok diagram dan Flowchart Sistem

Perancangan blok diagram dimaksudkan untuk mempermudah analisa kebutuhan komponen yang diperlukan. Diagram blok sistem yang dirancang juga mempermudah alur kerja dalam bentuk flowchat gambar 3 serta mempermudah indentifikasi kesalahan ketika sistem yang tidak bekerja.

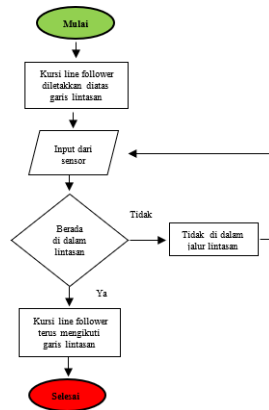


Gambar 2 Blok Diagram Sistem Line Follower

Bagian input pada blok diagram diatas terdiri dari 2 sensor TCRT5000 sedangkan bagian output pada blok diagram diatas yaitu motor DC yang di control oleh motor driver L298N. Dari diagram blok diatas gambar 2 bahwa robot yang dirancang terdiri dari beberapa bagian yaitu :

- 1) Bagian sensor pendeteksi garis yaitu menggunakan sensor TCRT5000 yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi lintasan garis hitam. Kemudian data yang dihasilkan oleh sensor TCRT5000 selanjutnya digunakan sebagai acuan melakukan instruksi atau perintah pada kursi *line follower* untuk mengikuti garis lintasan yang telah di buat.
- 2) Bagian Catu daya ini menggunakan Powersupply dengan satu input dan 2 output tegangan, tegangan 7 Volt masuk pada arduino uno, tegangan 5 Volt nya masuk ke input tegangan sensor yang digunakan dan tegangan 12 volt masuk ke motor driver L298N.
- 3) Bagian kontrol ini disebut sebuah sistem arduino yang berfungsi sebagai pusat kendali.
- 4) Bagian Output motor driver L298N digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC.

- 5) Bagian output motor DC digunakan sebagai penggerak kursi *line follower* untuk bergerak maju, belok kanan, belok kiri maupun mundur.

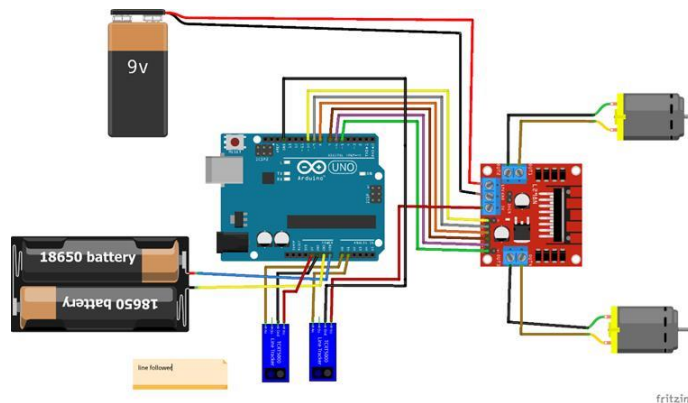


Gambar 3 Flowchart Sistem

Pada Gambar 3 urutan tindakan dan proram yang dijalankan oleh kursi *line follower*. Pertama kursi *line follower* akan diletakkan diatas garis hitam oleh pengguna. Setelah itu kursi *line follower* akan menerima masukan berupa warna garis hitam yang menjadi jalur lintasan, garis tersebut akan terdeteksi oleh sensor TCRT5000 yang berada pada bagian bawah. Jika garis hitam telah terdeteksi maka sensor TCRT5000L akan berintegrasi dengan motor driver yang akan menggerakkan rangkaian *line follower*, motor driver L298N akan bergerak sesuai dengan arah sensor mendeteksi adanya garis hitam dilintasan. Namun jika sensor TCRT5000 tidak mendeteksi adanya garis hitam, maka kursi *line follower* akan terus berusaha mencari adanya garis hitam untuk diikuti.

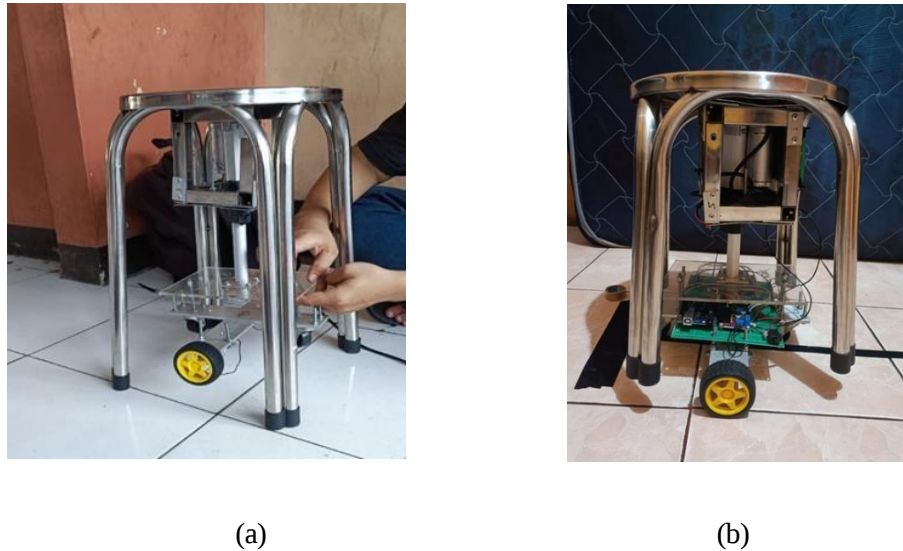
2.2 Perancangan Sistem Elektrik

Tahapan ini melakukan perancangan alat dimana memodelkan sistem yang akan di bangun dan menentukan aplikasi yang digunakan dalam membuat kursi *line follower* menggunakan arduino uno.



Gambar 4 Prancangan Sistem Elektrik Line Follower

Gambar 4 merupakan perancangan rangkaian kursi *line follower* secara keseluruhan. Pada gambar 4 tampak hubungan antara komponen perangkat keras, yaitu arduino uno dan sensor garis TCRT5000, arduino uno dan modul driver L298N dan modul driver L298N ke motor DC.



Gambar 5. Sistem Mekanik

Gambar 5 (a) Perancangan kerangka berukuran dengan lebar 29 cm dan tinggi 30 cm. Desain mekanik alat ini dilakukan dengan skala asli dari ukuran komponen-komponen yang dibutuhkan, agar mempermudah proses pembuatan dan perakitan alat secara keseluruhan. Gambar 5 (b) realisasi sistem mekanik berupa roda, besi penyangga sistem elektrik sudah terhubung satu dengan yang lain.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Proses pembuatan sistem perangkat lunak menggunakan Arduino IDE dimulai dengan persiapan dan instalasi. *Pertama*, unduh dan instal Arduino IDE dari situs resmi untuk sistem operasi yang digunakan, kemudian konfigurasikan agar mengenali jenis papan Arduino yang digunakan. Selanjutnya, penulisan kode atau sketch dilakukan. Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++. Penulisan sketch melibatkan pembuatan kerangka dasar dengan fungsi utama `setup()` dan `loop()`. Pengguna juga dapat menggunakan library yang tersedia untuk menambah fungsionalitas pada proyek. Setelah kode ditulis, proses debugging dan simulasi dilakukan. Kode dikompilasi untuk memastikan tidak ada kesalahan, kemudian diunggah ke papan Arduino melalui kabel USB. Arduino IDE dilengkapi dengan Serial Monitor untuk memantau output dan membantu proses debugging. Tahap terakhir adalah pengujian dan penyempurnaan. Sistem diuji untuk memastikan semua fungsi berjalan dengan baik. Berdasarkan hasil pengujian, kode disempurnakan untuk mengatasi bug atau menambah fitur baru. Proses ini diulang hingga sistem berfungsi optimal.

2.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini meliputi beberapa tahap, yaitu: pengujian power supply atau baterai, pengujian komponen rangkaian kontrol untuk memastikan tegangan yang tepat, serta pengujian fungsi sensor TCRT5000.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Rangkaian Elektrik

Untuk membuktikan alat ini bekerja dengan baik, maka dilakukan pengujian. Adapun pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian baterai, arduino uno r3, sensor TCRT5000, driver motor L298N.

Tabel 1 Pengujian Komponen Rangkaian

No	Pengujian	Tegangan	
		Hasil Pengukuran (Volt)	Hasil Nyata (Volt)
1	Baterai	15,96 Volt	16 Volt
2	Arduino uno r3	10,93 Volt	12 Volt
3	Sensor 1 TCRT5000	4,98 Volt	5 Volt
4	Sensor 2 TCRT5000	4,98 Volt	5 Volt
5	Driver Motor L298N	15,3 Volt	12 VDC

Tabel 1 berisi hasil pengukuran tegangan pada masing-masing komponen. Perbedaan pada hasil pengukuran dengan hasil sebenarnya pada masing-masing komponen masih dalam toleransi dan masih sesuai pada *datasheet* dari masing-masing komponen.

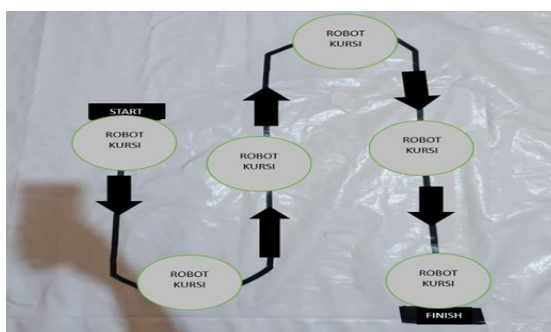
3.2 Pergerakan Kursi Line Follower dan Waktu Yang di Tempuh

Pada gambar 6 Pengujian pergerakan kursi *line follower* dari satu tempat ke tempat lainnya pada lintasan yang telah di buat, pada tabel 2 merupakan waktu yang di tempuh pada kursi line follower.

Tabel 2 Waktu Yang Ditempuh Robot

No	Panjang Lintasan	Tujuan	Waktu (second)		
			Pergi	Kembali	Keseluruhan
1	274 cm	finish	24s	25s	58s
2	274 cm	start	24s	24s	58s

Pada tabel 2 dapat dilihat waktu yang ditempuh sampai ke tujuan dengan panjang lintasan terdapat pada gambar 6 dengan hasil pengujian bahwa untuk finish menuju start waktu yang ditempuh lebih lama dibandingkan saat menuju start ke finish lebih lama 1seconds. Perancangan Robot kursi *Line follower* berbasis Arduino uno r3 ini dapat dikatakan berhasil karena sistem dapat berfungsi dengan baik dan berjalan sesuai dengan logika program yang telah di buat. kursi dapat bergerak dan berhenti apabila kursi bergerak dari satu tempat ke tempat tujuan, kursi akan berjalan mengikuti garis yang telah dibuat. Kursi dapat bergerak secara optimal apabila di tempatkan di ruangan yang tidak terkena cahaya matahari secara langsung.



Gambar 6 Pergerakan Kursi Line Follower

Pada gambar 6 kursi *line follower* dapat berpindah dari garis start menuju ke finish. Pada penelitian ini kursi *line follower* berbasis Arduino Uno untuk membuat sebuah kursi *line follower* yang dapat bergerak mengikuti garis dan dapat diprogram sesuai kebutuhan telah berhasil dibangun. Arduino uno terdiri dari program pembacaan garis lintasan, menggerakkan motor dc telah berhasil untuk di program pada rangkaian *hardware* menggunakan *software* IDE Arduino 1.8.5

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan kursi line follower berbasis Arduino Uno R3 dengan akurasi tinggi. Menggunakan sensor TCRT5000 untuk deteksi garis dan motor driver L298N untuk kontrol motor DC, sistem ini menunjukkan hasil pengujian komponen yang sesuai dengan spesifikasi, termasuk tegangan baterai sebesar 15,96 V.

Pengujian pergerakan kursi pada lintasan sepanjang 274 cm menghasilkan waktu tempuh total 49 detik pada pengujian pertama dan 48 detik pada pengujian kedua, dengan sedikit perbedaan waktu antara perjalanan pergi dan kembali yang masih dalam batas toleransi. Kursi line follower mampu mengikuti garis lintasan dengan baik, menunjukkan keberhasilan sistem kontrol berbasis Arduino Uno R3 dalam menjalankan program.

Penelitian ini membuktikan bahwa kursi line follower berbasis Arduino Uno R3 efektif dan efisien untuk aplikasi industri dan pendidikan, serta sebagai media pembelajaran robotika. Hasil ini menunjukkan potensi pengembangan lebih lanjut dalam teknologi robotika untuk memenuhi kebutuhan di era industri 4.0.

REFERENSI

- [1] Г. Ё. Кодирович, "Industry oriented automation robot." 2023, doi: 10.36227/techrxiv.23514948.
- [2] S. Supratno, P. W. A. Sucipto, A. Firasanti, R. A. Adara, and E. A. Z. Hamidi, "Obstacle Avoidance Behavior Design in Hexapod Robots using Finite State Machine," in *2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)*, 2023, pp. 1–4.
- [3] Paryanta, R. Rachmatullah, and Y. K. Kristiani, "Abstrak Perkembangan teknologi komputer dengan tujuan untuk mempermudah pekerjaan manusia mengalami suatu perkembangan, salah satu bentuk teknologi yang mempermudah pekerjaan manusia adalah robot. Dari sekian banyak jenis robot, wall follower yang paling," 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:214700694>.
- [4] A. F. Nurqolbi, "Penerapan Robotika Dalam Perpustakaan Masa Depan," *UNILIB J. Perpust.*, 2023, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:266748843>.
- [5] M. A. Fahd, "Rancang Bangun Robot Penari Humanoid Dengan 25 DOF Untuk Melakukan Gerakan Tari Remo," 2018, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:59509430>.
- [6] A. Saefullah, D. Immaniar, and R. A. Juliansah, "Sistem Kontrol Robot Pemindah Barang Menggunakan Aplikasi Android Berbasis Arduino Uno," 2015, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86400600>.
- [7] S. Tayal, H. P. G. Rao, S. Bhardwaj, and H. Aggarwal, "Line Follower Robot: Design and Hardware Application," *2020 8th Int. Conf. Reliab. Infocom Technol. Optim. (Trends Futur. Dir.)*, pp. 10–13, 2020, doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9197968.
- [8] S. Shirmohammadi and F. Baghbani, "Design and Implementation of a Line Follower Robot." 2024, doi: 10.1109/qicar61538.2024.10496637.
- [9] A. Latif, H. A. Widodo, R. Rahim, and K. Kunal, "Implementation of Line Follower Robot based Microcontroller ATmega32A," vol. 1, pp. 70–74, 2020, doi: 10.18196/jrc.1316.
- [10] S. O. Koche and A. Kalbande, "Line Follower Robot," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 4, pp. 17–20, 2018.
- [11] D. S. Prakoso, "LINE FOLLOWER ROBOT," 2011, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111376292>.
- [12] D. Anton, S. Szabó, C. A. Mociar, and A. Iuhas, "Line follower mobile robots, prototypes of robots and functional of mobile robots," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1169, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1169/1/012043.
- [13] K. A. Kalam, "Line Follower Robot with Obstacle Avoidance," *Indian Sci. J. Res. Eng. Manag.*, 2024, doi: 10.55041/ijrsrem33248.
- [14] K. M. Hasan, A. Al-Nahid, and A. Al Mamun, "Implementation of autonomous line follower robot," *2012 Int. Conf. Informatics, Electron. & Vis.*, pp. 865–869, 2012, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:42706106>.
- [15] J. S. J. C. Amorim, J. H. O. Fernandes, M. S. Machado, A. L. C. Canella, and M. F. Pinto, "Design of a Control Approach to Assist the Performance of a Competitive Line Follower Robot." 2022, doi: 10.1109/lars/sbr/wre56824.2022.9996051.
- [16] G. M. Maciel, I. Z. Biundini, I. C. da Silva, A. L. M. Marcato, M. F. Pinto, and A. G. Filho, "Design of a Low Cost Four-Channel LDR Based Line-Follower Sensor With Transient and External Interference Compensations." 2019, doi: 10.17648/sbai-2019-111321.
- [17] A. Keskar, "Robotic Guardians: Navigating Hospital Isolation Zones for Disease Control," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.60842.
- [18] N. Sinuhaji, D. Y. Br Ginting, and Benar, "Implementasi algoritma line mapping dengan sensor ultrasonik pada robot pengantar makanan berbasis mikrokontroler," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 380–385, 2023, doi: 10.47065/bulletincsr.v3i5.281.
- [19] A. Siswoyo, E. Arianto, and A. H. Noviyanto, "Pelatihan pengenalan teknologi line follower robot bagi siswa-siswi sekolah menengah atas regina pacis surakarta," *Abdimas Altruus J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 6, no. 2, pp. 114–119, 2023, doi: 10.24071/aa.v6i2.5229.
- [20] C. Minaya, R. Rosero, M. Zambrano, and P. Catota, "Application of multilayer neural networks for controlling a line-following robot in robotic competitions," *J. Autom. Mob. Robot. Intell. Syst.*, pp. 35–42, 2024, doi: 10.14313/jamris/1-2024/4.
- [21] U. Farooq, M. Amar, M. U. Asad, G. Abbas, and A. Hanif, "Fuzzy logic reasoning system for line following robot," *Int. J. Eng. Technol.*, pp. 244–248, 2014, doi: 10.7763/ijet.2014.v6.705.
- [22] H. Supriyono, P. A. N. Rochman, and M. O. Tokhi, "Iot technology involving wheeled line follower robot for restaurant services automation," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. & Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 1, p. 100, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i1.100.
- [23] R. Ridarmin, F. Fauzansyah, E. Elisawati, and E. Prasetyo, "Prototype robot line follower arduino uno menggunakan 4 sensor tcrt5000," *INFORMATIKA*, vol. 11, no. 2, p. 17, 2019, doi: 10.36723/juri.v11i2.183.
- [24] S. D. Perkasa, P. Megantoro, and H. A. Winarno, "Implementation of a camera sensor pixy 2 cmucam5 to a two wheeled robot to follow colored object," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 6, 2021, doi: 10.18196/26128.

- [25] A. Ma'arif, A. A. Nuryono, and I. Iswanto, "Vision-based line following robot in webots," *2020 FORTEI-International Conf. Electr. Eng.*, 2020, doi: 10.1109/fortei-icee50915.2020.9249943.
- [26] S. Marwanto, S. Suharjanto, P. S. W., and A. Raharjo, "Pelatihan Robot Pengikut Garis (Line Follower) Untuk Siswa Smk Batik 2 Surakarta Di Prodi Teknik Elektronika STT 'Warga' Surakarta," *Abdi Masya*, 2021, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244699190>.
- [27] S. Jamal, "Pengembangan Media Pembelajaran Trainer Robot Line Follower Berbasis STM32," *Ideguru J. Karya Ilm. Guru*, 2024, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267275609>.
- [28] F. A. Fatah, "Robot Line Follower Pid Sebagai Media Pembelajaran Aplikasi Mikrokontroler Di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta," 2014, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106430637>.
- [29] M. H. Hibatullah, M. S. Zuhrie, E. Sulistiyo, and L. Anifah, "Pengembangan Trainer Robot Line Follower Analog Pada Mata Pelajaran Pengendali Sistem Robotik Di SMK Negeri 1 Tambelangan," *J. Pendidik. Tek. Elektro*, 2022, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257678117>.
- [30] M. G. d. Santos, F. Petrillo, S. Hallé, and Y. Guéhenec, "An approach to apply automated acceptance testing for industrial robotic systems," *2022 Sixth IEEE Int. Conf. Robot. Comput.*, 2022, doi: 10.1109/irc55401.2022.00066.
- [31] N. Alaraje, "Revamping robotics education to meet 21st century workforce needs- years 1-2 progress reports," doi: 10.18260/1-2-370-31332.
- [32] I. Karabegović, A. Bosnia, and E. Karabegović, "The role of collaborative service robots in the implementation of industry 4.0," *Int. J. Robot. Autom. Technol.*, vol. 6, 2019, doi: 10.31875/2409-9694.2019.06.5.
- [33] H. Fleischer *et al.*, "Application of a dual-arm robot in complex sample preparation and measurement processes," *Slas Technol.*, vol. 21, no. 5, pp. 671–681, 2016, doi: 10.1177/2211068216637352.
- [34] O. E.A.E, "Robotics as the appropriate measure for improving national and international security-review," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 2467–2470, 2019, doi: 10.22214/ijraset.2019.4450.