

IMPLEMENTASI KENDALI CERDAS BERBASIS JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK NAVIGASI MOBILE ROBOT DI LINGKUNGAN INDOOR

Rendyansyah^{1*}, Irmawan¹, Caroline¹, Hera Hikmarika¹, Oriz Djati Laksono¹, Carolin Inggrit Aditya¹

¹Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: rendyansyah.unsri@gmail.com

ABSTRAK: Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan evaluasi sistem navigasi otonom pada mobile robot berpenggerak diferensial menggunakan pendekatan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) berbasis sensor infrared. Tantangan utama yang diangkat adalah kemampuan robot dalam bernavigasi pada lingkungan indoor yang dinamis serta memiliki rintangan dengan jarak bervariasi. Data dari lima sensor jarak dikonversi melalui proses kuantisasi dan digunakan sebagai input pelatihan JST, yang terdiri dari 53 dataset dengan konfigurasi hyperparameter berupa *learning rate* 0,2, *epoch* 30000, dan target *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0,01. Arsitektur jaringan terdiri atas lima neuron input, delapan neuron pada hidden layer, serta tiga neuron output yang mewakili aksi navigasi robot, yaitu maju, belok kiri, dan belok kanan. Model yang telah terlatih menunjukkan konvergensi stabil dan selanjutnya diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino untuk pengujian langsung. Eksperimen dilakukan pada arena berukuran 500 cm × 500 cm dengan beragam konfigurasi rintangan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan mencapai 96,67%, dengan kegagalan minor disebabkan keterbatasan deteksi sensor, sehingga penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan JST efektif dan layak diterapkan pada sistem navigasi mobile robot berbasis sensor sederhana.

Kata Kunci: Jaringan Syaraf Tiruan, Kendali Cerdas, Mobile Robot, Navigasi Indoor

ABSTRACT: This study focuses on the development and evaluation of an autonomous navigation system for a differential-drive mobile robot using an Artificial Neural Network (ANN) approach based on infrared sensors. The main challenge addressed is the robot's ability to navigate in a dynamic indoor environment with obstacles at varying distances. Data from five distance sensors were quantized and used as input for ANN training, consisting of 53 datasets with hyperparameters including a learning rate of 0.2, 30000 epochs, and a target Mean Squared Error (MSE) of 0.01. The network architecture consists of five input neurons, eight hidden neurons, and three output neurons representing navigation actions: move forward, turn left, and turn right. The trained model demonstrated stable convergence and was subsequently deployed on an Arduino microcontroller for real-world testing. Experiments were conducted in a 500 cm × 500 cm arena with various obstacle configurations. The results show a success rate of 96.67%, with minor failures caused by sensor detection limitations. Overall, the findings indicate that the ANN-based approach is effective and feasible for navigation systems in mobile robots using simple sensor configurations.

Keywords: Artificial Neural Network, Intelligent Control, Mobile Robot, Indoor Navigation

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi robotika telah membawa perubahan besar dalam bidang otomasi dan sistem kendali modern. Robot tidak hanya digunakan di sektor industri, tetapi juga mulai diterapkan dalam pendidikan, layanan publik, dan bidang kesehatan. Salah satu cabang yang berkembang pesat adalah *mobile robot*, yaitu robot yang mampu bergerak secara mandiri untuk melaksanakan tugas tertentu [1]. Mobile robot dituntut memiliki

kemampuan navigasi yang baik agar dapat bergerak efisien di lingkungan yang dinamis, termasuk di area *indoor* yang kompleks dan terbatas. Untuk mencapai tujuan tersebut, dibutuhkan sistem kendali yang cerdas yang mampu mengambil keputusan berdasarkan data sensorik secara real-time [2].

Dalam implementasinya, sistem kendali konvensional seperti *Proportional-Integral-Derivative* (PID) memiliki keterbatasan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang tidak pasti dan bersifat nonlinier. Hal ini menyebabkan

sistem sulit menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan yang tiba-tiba, seperti keberadaan rintangan atau permukaan lantai yang tidak seragam [3]. Oleh karena itu, pendekatan Kecerdasan Buatan seperti Jaringan Syaraf Tiruan (JST) menjadi solusi alternatif untuk meningkatkan kemampuan adaptasi dan kecerdasan sistem kendali mobile robot. Pendekatan ini membantu sistem untuk melakukan pembelajaran dan penyesuaian terhadap kondisi baru yang belum diprogram secara eksplisit [4].

Metode Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu pendekatan cerdas yang meniru mekanisme kerja otak manusia dalam mengenali pola dan membuat keputusan [4,5]. JST memiliki kemampuan *learning* dan *generalization*, yang mampu mengolah data sensor untuk menghasilkan respon kendali yang sesuai. Dalam navigasi mobile robot, JST dapat digunakan untuk menginterpretasikan data dari sensor ultrasonik, sensor jarak, atau sensor inframerah guna menentukan arah gerak, seperti maju, berbelok, atau berhenti. Dengan kemampuan adaptif ini, robot dapat bergerak secara otonom dan menghindari rintangan tanpa campur tangan manusia secara langsung.

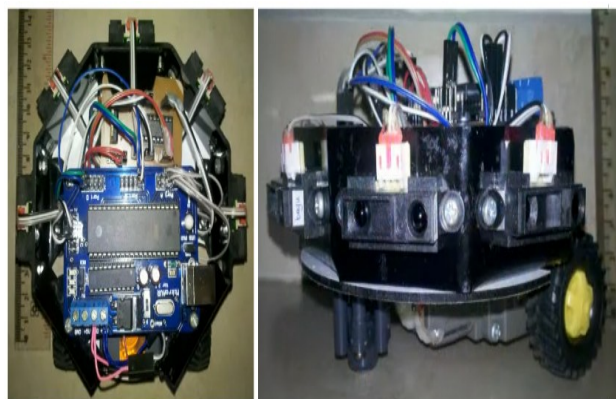
Penerapan JST dalam sistem kendali mobile robot telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian karena mampu mempelajari hubungan nonlinier antara masukan sensor dan aksi kendali. Proses pelatihan jaringan dilakukan berdasarkan data yang mewakili berbagai kondisi lingkungan, sehingga model yang terbentuk dapat digunakan untuk pengujian dalam skenario navigasi nyata. Selain itu, JST dapat dikombinasikan dengan pendekatan lain seperti *fuzzy logic* untuk membentuk sistem kendali hibrida yang lebih tangguh dan responsif terhadap perubahan lingkungan [6,7]. Kemampuan ini menjadikan JST sebagai komponen utama dalam pengembangan sistem kendali pada mobile robot.

Penelitian mengenai implementasi kendali cerdas berbasis jaringan syaraf tiruan untuk navigasi mobile robot di lingkungan *indoor* menjadi langkah penting dalam pengembangan teknologi robotika. Melalui pemanfaatan JST, sistem kendali dapat belajar, menyesuaikan diri, dan meningkatkan navigasi robot dalam lingkungan yang kompleks [8]. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali cerdas berbasis jaringan syaraf tiruan yang mampu mengendalikan pergerakan mobile robot secara otonom di lingkungan *indoor*, melakukan navigasi berdasarkan data sensor secara adaptif, serta meningkatkan kemampuan robot dalam mengenali dan menghindari rintangan.

Penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar teori tentang kendali cerdas berbasis JST dan juga memberikan kontribusi nyata terhadap aplikasi robotika di dunia pendidikan, industri, maupun layanan publik.

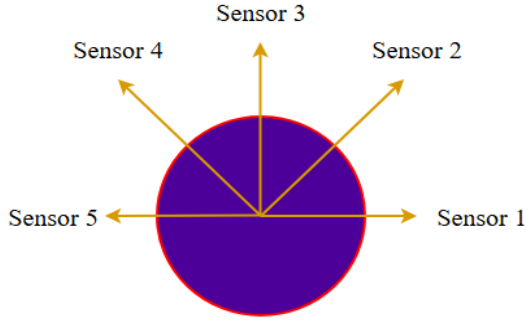
2 Metode Penelitian

Mobile robot dengan sistem penggerak diferensial merupakan jenis robot yang dapat bergerak secara mandiri menggunakan dua roda yang dikendalikan secara terpisah. Berdasarkan teori kinematika dan kendali robot, sistem ini mampu melakukan berbagai tugas kompleks di lingkungan yang berbeda, seperti pemetaan area, patroli keamanan, dan pengantaran barang. Fleksibilitas dan kemampuan adaptasinya menjadikan robot berpenggerak diferensial sebagai salah satu teknologi robotika yang populer dan efektif untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi masa depan [9].

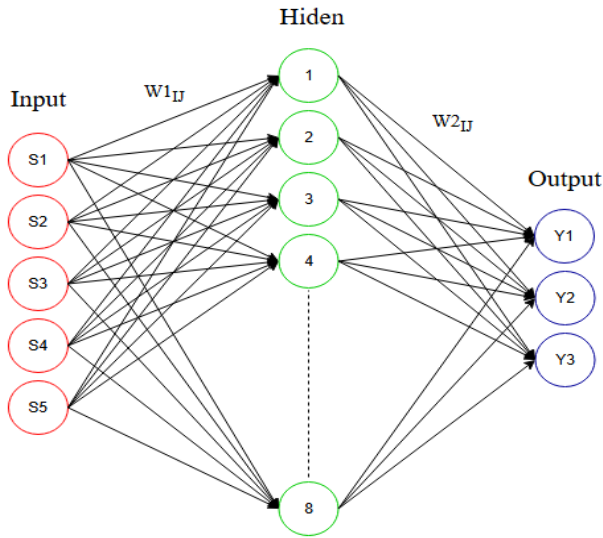


Gambar 1. Mobile robot.

Mobile robot yang digunakan dalam penelitian ini dirancang dengan bentuk bulat berdiameter sekitar 35 cm. Robot ini dilengkapi dengan lima sensor jarak yang terpasang pada bagian depan bodi robot secara simetris untuk mendeteksi keberadaan objek atau rintangan di area sekitarnya. Robot menggunakan mikro Arduino sebagai pemroses data. Sistem penggerak robot menggunakan mekanisme *differential drive*, yang terdiri atas dua roda penggerak utama yang berfungsi sebagai aktuator utama pergerakan serta dua roda penyeimbang pasif untuk menjaga stabilitas. Gambar 1 menunjukkan bentuk fisik mobile robot untuk navigasi dalam lingkungan indoor. Robot dioperasikan di lingkungan *indoor* dengan konfigurasi tata letak rintangan yang telah ditentukan sebelumnya. Gambar 2 menunjukkan posisi atau tata letak lima sensor jarak di mobile robot.



Gambar 2. Posisi lima sensor jarak di mobile robot.



Gambar 3. Arsitektur JST untuk system mobile robot.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cos \theta(t) & \frac{1}{2} \cos \theta(t) \\ \frac{1}{2} \sin \theta(t) & \frac{1}{2} \sin \theta(t) \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R(t) \\ V_L(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Robot ini dimodelkan menggunakan kinematika non-holonomik yang merepresentasikan karakteristik dasar dari sistem Differential Drive Mobile Robot (DDMR). Model ini mengasumsikan bahwa kecepatan setiap roda direpresentasikan sebagai kecepatan linear, dengan mengabaikan pengaruh gesekan, slip, serta dinamika inersia pada pergerakan robot [10]. Persamaan 1 menggambarkan hubungan matematis antara kecepatan linear kedua roda dengan perubahan posisi serta orientasi robot terhadap sistem koordinat. Mekanisme pergerakan robot ke arah kiri atau kanan terjadi akibat adanya perbedaan kecepatan antara roda kiri dan roda kanan yang dihasilkan oleh aktuator penggerak. Selain itu, sistem

navigasi robot dikendalikan berdasarkan masukan dari lima sensor jarak yang ditempatkan di bagian depan robot. Data yang diperoleh dari sensor tersebut diolah oleh Jaringan Syaraf Tiruan sebagai sistem pengambil keputusan, sehingga robot mampu menentukan aksi pergerakan yang sesuai dengan kondisi lingkungan secara adaptif dan otonom.

$$Kuantisasi = \begin{cases} 1 & ; \quad 0 \text{ cm} \leq \text{jarak} \leq 50 \text{ cm} \\ 2 & ; \quad 50 \text{ cm} < \text{jarak} \leq 100 \text{ cm} \\ 0 & ; \quad \text{jarak} > 100 \text{ cm} \end{cases} \quad (2)$$

Pada sistem mobile robot ini diterapkan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) sebagai metode kendali cerdas untuk mendukung proses navigasi di lingkungan indoor [11]. Arsitektur JST yang digunakan terdiri atas lima neuron input yang merepresentasikan pembacaan dari lima sensor jarak, satu lapisan tersembunyi (hidden layer) dengan delapan neuron, serta tiga neuron output yang masing-masing mewakili aksi gerak robot, yaitu maju, belok kiri, dan belok kanan.

Sensor jarak yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tipe infrared dengan resolusi pengukuran $\pm 0,5$ cm dan interval pengambilan data sebesar 100 ms. Data sensor diukur dalam rentang 0 hingga 200 cm, kemudian dilakukan proses kuantisasi sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) untuk menyederhanakan representasi data sehingga lebih sesuai digunakan dalam proses pelatihan jaringan syaraf tiruan (JST) [12]. Kuantisasi dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi fisik robot dan jangkauan deteksi sensor, sehingga menghasilkan lima kategori kondisi diskrit yang merepresentasikan jarak terhadap rintangan. Nilai hasil kuantisasi tersebut selanjutnya dipetakan ke aksi motor melalui aturan kendali berbasis logika keputusan. Struktur arsitektur JST yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan dataset pelatihan yang digunakan dalam proses pembelajaran jaringan disajikan pada Tabel 1. Dalam pengujian, suatu percobaan diklasifikasikan berhasil apabila robot mampu mencapai titik tujuan tanpa terjadinya tabrakan dengan rintangan dalam waktu maksimum 30 detik.

Tabel 1. Dataset pelatihan JST untuk navigasi mobile robot dalam lingkungan indoor.

No	Sensor					Aksi
	S1	S2	S3	S4	S5	
1	0	0	0	0	0	Maju
2	1	2	2	0	0	(Y1 = 1)

3	2	2	2	0	0
4	0	1	2	1	0
5	0	2	2	2	0
6	0	0	2	2	1
7	0	0	2	2	2
8	1	2	2	1	0
9	1	2	2	2	0
10	1	1	1	1	0
11	1	1	1	2	0
12	1	1	2	1	0
13	1	1	2	2	0
14	1	2	1	1	0
15	1	2	1	2	0
16	1	1	1	0	0
17	1	1	2	0	0
18	1	2	1	0	0
19	2	1	1	0	0
20	2	1	2	0	0
21	2	2	1	0	0
22	1	1	0	0	0
23	2	1	0	0	0
24	0	1	1	1	0
25	0	1	1	2	0
26	0	1	2	2	0
27	0	0	0	2	1
28	0	0	0	2	2
29	0	0	0	0	1
30	0	0	0	0	2
31	0	1	2	2	1
32	0	2	2	2	1
33	1	0	0	0	0
34	2	0	0	0	0
35	1	2	0	0	0
36	2	2	0	0	0
37	0	2	1	1	0
38	0	2	1	2	0
39	0	2	2	1	0
40	0	0	0	1	1
41	0	0	0	1	2
42	0	0	1	1	1
43	0	0	2	1	1
44	0	0	1	2	1
45	0	0	1	1	2
46	0	0	2	1	2
47	0	0	1	2	2
48	0	1	1	1	1
49	0	2	1	1	1
50	0	1	2	1	1
51	0	2	2	1	1
52	0	1	1	2	1
53	0	2	1	2	1

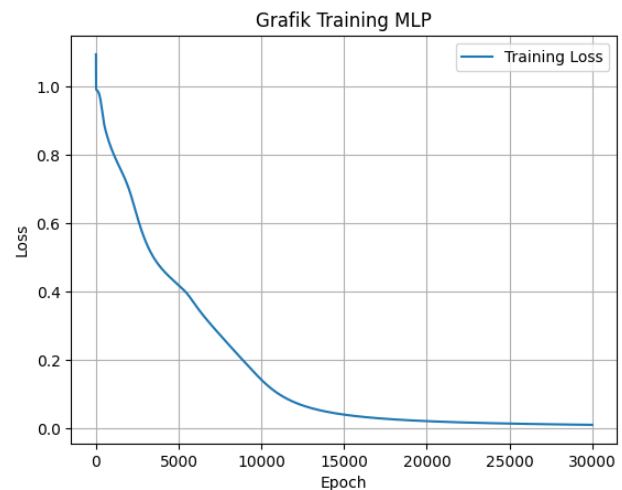
Belok Kiri
(Y2 = 1)

Belok Kanan
(Y3 = 1)

Tabel 1 memuat sebanyak 53 data yang digunakan sebagai data pelatihan (training set) dalam pengujian kinerja Jaringan Syaraf Tiruan. Proses pemrograman dan pembelajaran jaringan (learning process) dilaksanakan di lingkungan komputer, di mana parameter bobot jaringan diperoleh melalui hasil pelatihan. Setelah proses pelatihan selesai, model bobot hasil training tersebut diimplementasikan dengan cara dimuat (load) ke dalam program JST yang tertanam pada mikrokontroler Arduino. Selanjutnya, data pengujian (testing data) berupa lima nilai sensor jarak diolah secara langsung oleh mikro Arduino, yang kemudian menghasilkan keputusan aksi gerak robot, yaitu maju, belok kiri, atau belok kanan, sesuai dengan hasil inferensi dari model JST yang telah dilatih.

3 Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali dan Robotika, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya (UNSRI) dalam kondisi skala laboratorium yang terkontrol. Arena pengujian dirancang berbentuk persegi dengan dimensi 500 cm × 500 cm, dan dilengkapi dengan beberapa rintangan (obstacle) yang disusun untuk mensimulasikan kondisi lingkungan sebenarnya. Kecepatan aktuator pada robot ditetapkan sebesar 10 rpm untuk menjaga kestabilan pergerakan selama pengujian. Saat robot melakukan manuver, salah satu roda dikondisikan untuk berhenti berputar, sehingga terjadinya perubahan arah gerak yang lebih terkendali.



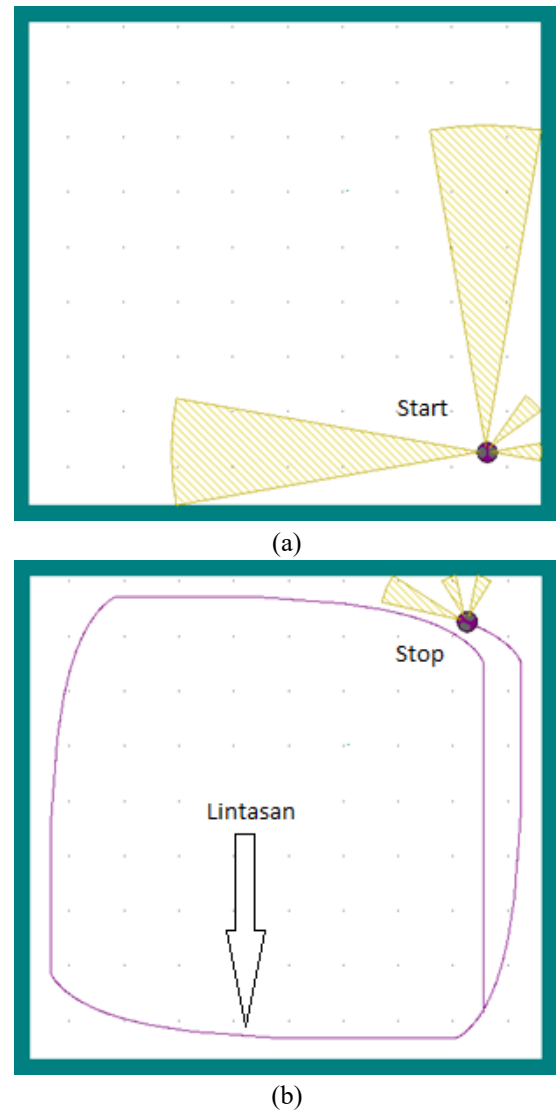
Gambar 4. Training JST untuk mobile robot.

Proses pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dilakukan menggunakan dataset yang berisi pembacaan lima sensor

jarak dalam berbagai kondisi lingkungan dengan tiga kelas keluaran yang merepresentasikan aksi navigasi robot, yaitu maju, belok kiri, dan belok kanan. Pelatihan dilakukan dengan menetapkan hyperparameter berupa learning rate sebesar 0,2, jumlah epoch sebanyak 30000, dan target nilai Mean Squared Error (MSE) mendekati 0,01. Pemilihan konfigurasi tersebut didasarkan pada hasil eksplorasi awal serta acuan literatur, di mana nilai learning rate 0,2 menunjukkan proses pelatihan yang stabil dan dianggap sesuai untuk arsitektur JST berskala kecil. Jumlah epoch ditetapkan pada 30000 karena pada titik tersebut model telah mencapai konvergensi optimal tanpa indikasi overfitting, sementara jumlah neuron pada lapisan tersembunyi ditentukan sebanyak delapan neuron berdasarkan pendekatan *trial and error* yang menunjukkan kinerja terbaik dalam meminimalkan error serta meningkatkan generalisasi model. Fungsi kerugian yang digunakan adalah Mean Squared Error (MSE) karena dinilai paling relevan untuk memodelkan permasalahan berbasis regresi sensor jarak dan untuk mengevaluasi deviasi antara keluaran model dan nilai target.

Hasil pelatihan JST, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4, menunjukkan pola pembelajaran yang stabil hingga mencapai nilai kesalahan minimum yang diharapkan. Model bobot hasil pelatihan tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam sistem JST pada mikrokontroler Arduino, sehingga robot mampu melakukan aksi pergerakan secara otomatis sesuai dengan pola masukan dari lima sensor jarak berdasarkan hasil inferensi jaringan yang telah dilatih.

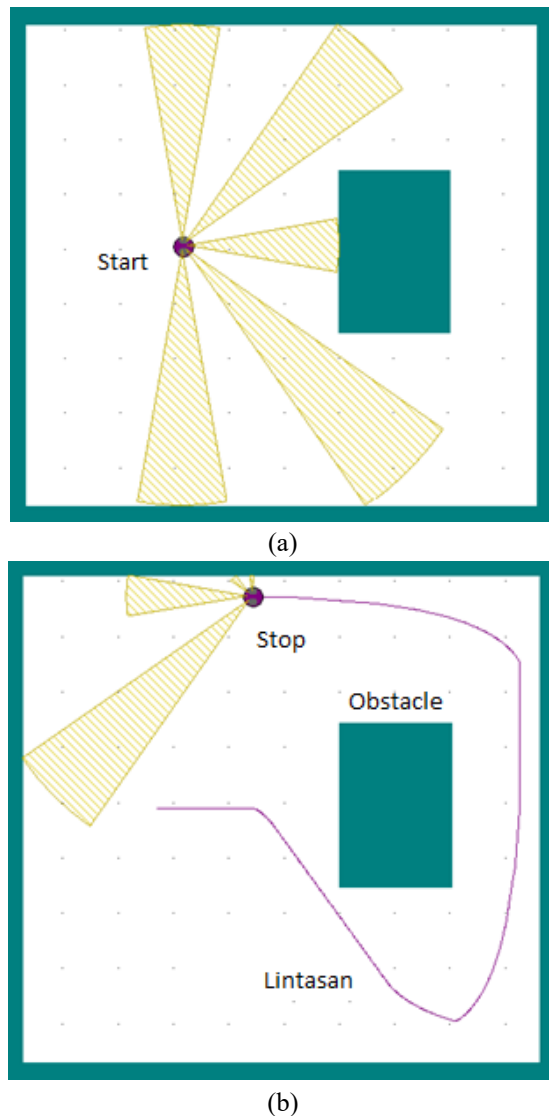
Pada percobaan pertama, robot diuji dalam lingkungan indoor tanpa adanya halangan (obstacle) untuk mengamati perilaku dasar sistem navigasi yang dikendalikan oleh Jaringan Syaraf Tiruan. Robot ditempatkan pada posisi awal yang berdekatan dengan dinding, dengan tujuan mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjaga jarak aman terhadap batas area. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu bergerak mengikuti dinding baik di sisi kiri maupun kanan secara stabil. Gambar 5 memperlihatkan lintasan pergerakan robot selama proses eksplorasi di lingkungan tersebut. Kondisi tanpa halangan memberikan kesempatan bagi robot untuk menavigasi ruang secara leluasa, menunjukkan bahwa sistem kendali mampu menjaga arah gerak dan menghindari tabrakan dengan dinding di sepanjang lintasan.



Gambar 5. Percobaan mobile robot dalam menjelajah lingkungan indoor tanpa halangan, (a) posisi awal, dan (b) lintasan pergerakan.

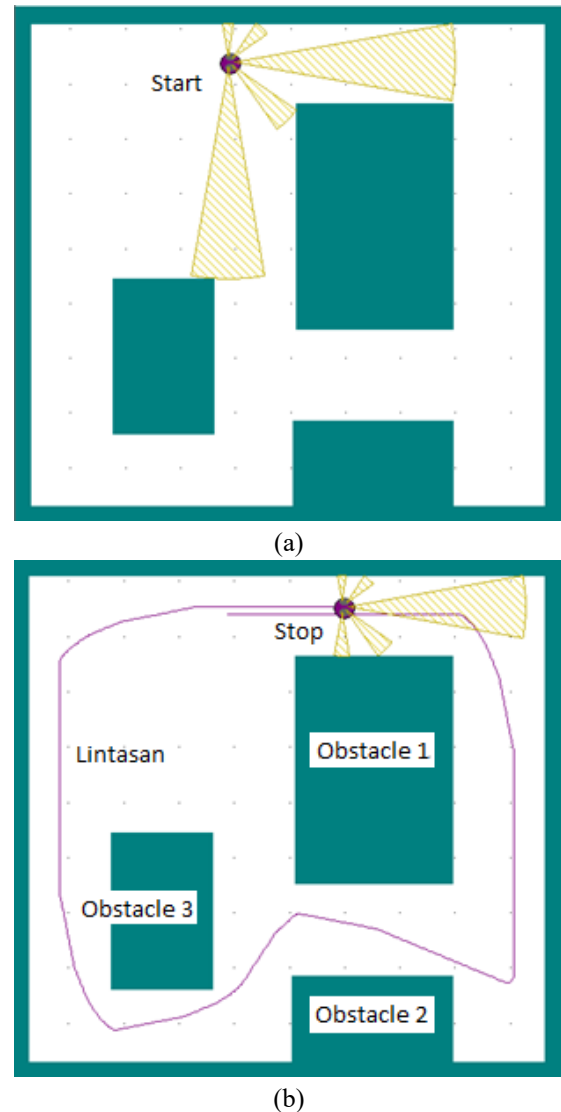
Pada percobaan kedua, robot diuji dalam lingkungan yang dilengkapi dengan halangan (obstacle) untuk mengevaluasi kemampuan sistem kendali dalam melakukan navigasi adaptif dan penghindaran rintangan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi posisi dan bentuk halangan yang berbeda pada setiap percobaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu mendeteksi dan menghindari seluruh halangan secara efektif tanpa terjadi tabrakan, menandakan bahwa sistem Jaringan Syaraf Tiruan berhasil melakukan generalisasi terhadap pola masukan dari sensor jarak. Gambar 6 menggambarkan lintasan pergerakan robot saat melakukan manuver penghindaran rintangan, yang

memperlihatkan respons adaptif robot terhadap perubahan kondisi lingkungan secara real time.



Gambar 6. Percobaan mobile robot dalam menghindari halangan, (a) posisi awal, dan (b) lintasan pergerakan.

Pada percobaan ketiga, robot diuji dalam kondisi lingkungan dengan multi halangan untuk menilai tingkat keandalan dan konsistensi sistem navigasi berbasis Jaringan Syaraf Tiruan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan konfigurasi rintangan yang bervariasi. Dari keseluruhan percobaan, tercatat satu kali kegagalan, di mana robot menabrak halangan ke-3 akibat ketidaktepatan pembacaan sensor jarak. Gambar 7 menampilkan lintasan pergerakan robot selama proses pengujian, yang menunjukkan kemampuan robot dalam menghindari halangan sekaligus mengikuti dinding dengan baik.



Gambar 7. Pergerakan mobile robot dalam menghindari multi halangan, (a) posisi awal, dan (b). lintasan pergerakan.

Tabel 2. Skenario percobaan mobile robot diberbagai kondisi lingkungan.

Skenario	Total Percobaan	Berhasil	Akurasi
Tanpa halangan	10	10	100%
Satu halangan	10	10	100%
Multi halangan	10	9	90%
Rata-Rata			96,67%

Secara keseluruhan, sistem mobile robot berbasis JST menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 96,67% dalam melakukan navigasi di lingkungan indoor. Tabel 2 menunjukkan skenario percobaan mobile robot.

Kegagalan yang terjadi umumnya disebabkan oleh gangguan pembacaan sensor, seperti jarak objek yang tidak terdeteksi secara akurat atau pengaruh sudut deteksi sensor yang membatasi jangkauan pengindraan terhadap rintangan tertentu.

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan Jaringan Syaraf Tiruan sebagai sistem kendali cerdas pada mobile robot berpengerak diferensial untuk navigasi di lingkungan indoor. JST dengan arsitektur 5–8–3 mampu mengolah data dari lima sensor jarak untuk menentukan aksi gerak robot, yaitu maju, belok kiri, dan belok kanan secara adaptif. Hasil pelatihan menunjukkan konvergensi yang baik dengan learning rate 0,2 dan MSE mendekati 0,01, sedangkan hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu bergerak dan menghindari rintangan secara otonom dengan tingkat keberhasilan mencapai 96,67%. Kinerja sistem menunjukkan bahwa pendekatan JST efektif dalam meningkatkan kemampuan navigasi dan pengambilan keputusan mobile robot di lingkungan yang dinamis dan tidak terstruktur.

Meskipun sistem navigasi berbasis JST yang diusulkan menunjukkan performa yang baik, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Dataset sensor dan lingkungan pengujian masih terbatas, sehingga generalisasi sistem terhadap kondisi lebih kompleks belum dapat dipastikan. Ke depan, penelitian akan difokuskan pada perluasan dataset, penerapan sensor fusion (LiDAR atau kamera), dan peningkatan robustnes terhadap noise, untuk mengurangi kesenjangan simulasi-ke-dunia nyata.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian/publikasi ini didibiayai oleh Anggaran Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2025 Sesuai dengan SK Rektor Nomor 0027/UN9/LPPM.PT/2025 tanggal 17 September 2025.

Daftar Pustaka

- [1] M. Firdany and Nopriadi, “Rancang Bangun Robot Mobil Line Follower Pengantar Berkas Di Kantor Menggunakan Android,” *J. Comasie*, vol. 7, no. 5, pp. 78–88, 2022.
- [2] F. T. Hartadi, B. A. Wicaksana, H. Saputro, and A. S. Priambodo, “Sistem Kendali Fuzzy Untuk Robot Mobile: Studi Kasus Pelacakan Objek Bergerak Menggunakan Simulasi Webots,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 2050–2059, 2024.
- [3] S. Rifandi, “Implementasi Metode Behavior-Based, Odometry Dan Pid Pada Mobile Robot Dalam Proses Autodocking Untuk Mengisi Baterai,” *J. Tek. Elektro Dan Komput. TRIAC*, vol. 9, no. 2, pp. 61–66, 2022.
- [4] D. Setiadi, P. Risma, T. Dewi, R. Kusumanto, and Y. Oktarina, “Implementasi Neural Network Untuk Kendali Gerak Mobile Robot Pembasmi Hama,” *J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst. (JASENS)*, vol. 1, no. 1, pp. 6–11, 2020.
- [5] Y. M. Arif *et al.*, “Pengendalian Gerak Robot Beroda Menggunakan Sarung Tangan Pintar dengan Neural Network Backpropagation,” in *Seminar Nasional Fortei Regional 7*, 2025, pp. 534–544.
- [6] S. Asiah, W. Riana, D. C. Purba, M. I. Azharsum, and V. A. Elyakim, “Prediksi Curah Hujan Tahunan di Indonesia Menggunakan Model Hybrid Jaringan Syaraf Tiruan dan Algoritma Fuzzy,” *JOMLAI J. Mach. Learn. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 2, pp. 99–105, 2025.
- [7] M. A. Suhendra, T. F. Parlaungan, and T. Sumardi, “Pengenalan Suara sebagai Pengendali Mobile Robot dengan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System,” *J. Theor. Instrumentation, Mater. Educ. Phys.*, vol. 1, no. 1, pp. 43–49, 2023.
- [8] A. Wijaya, P. Risma, R. Maulidda, and H. M. Yudha, “Neural Network Controller Sebagai Automatic Transfer Switch PV Panel Dan Baterai Pada Robot Penjaga Lahan Pertanian,” *J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst. (JASENS)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [9] A. Al Farouq and S. P. R. Putri, “Desain Mobile Robot dengan Differential Steering untuk Penyemprot Nutrisi Tanaman Melon di Greenhouse,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 23, no. 2, pp. 100–105, 2023.
- [10] Rendyansyah and H. Hikmarika, “Simulation of a Differential Drive Mobile Robot with Fuzzy Logic Control,” *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, vol. 6, no. 1, pp. 24–32, 2024.
- [11] Rendyansyah, A. P. P. Prasetyo, and S. Sembiring, “Voice Command Recognition for Movement Control of a 4-DoF Robot Arm,” *ELKHA J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 118–124, 2022.
- [12] Rendyansyah, A. P. P. Prasetyo, K. Exaudi, F. A. P. Lubis, and S. Sari, “Navigasi Pada Mobile Robot Omnidirectional Dalam Menjelajah Ruangan Menggunakan Support Vector Machine,” *J. Ilm. Setrum*, vol. 10, no. 1, pp. 15–23, 2021.