



SISTEM NAVIGASI ADAPTIF ROBOT PEMBERSIH PERPUSTAKAAN MENGUNAKAN MLP DENGAN INFERENSI FUZZY MAMDANI DAN BEST FIRST SEARCH

Muhammad Triaji Supandi¹, Arjun Permono², Khansa Fawwazy Adna³, dan Anggraini
Puspita Sari^{4*}

Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa
Timur

Email : 23081010307@student.upnjatim.ac.id¹, 23081010240@student.upnjatim.ac.id²,
23081010096@student.upnjatim.ac.id³, anggraini.puspita.if@upnjatim.ac.id^{4*}

Abstrak

Perkembangan teknologi robotika telah memungkinkan otomasi berbagai tugas, termasuk pembersihan di fasilitas publik seperti perpustakaan. Namun, lingkungan perpustakaan yang kompleks dengan banyak rintangan tetap dan dinamika pengguna menuntut sistem navigasi yang adaptif. Penelitian ini mengusulkan sistem navigasi adaptif untuk robot pembersih perpustakaan berbasis integrasi algoritma Best First Search (BFS), inferensi fuzzy, dan Multilayer Perceptron (MLP). BFS digunakan untuk menentukan jalur optimal berdasarkan prioritas, sementara MLP memprediksi tingkat kekotoran lantai berdasarkan koordinat dan jenis lantai. Hasil prediksi MLP kemudian dikonversi menjadi kategori prioritas linguistik (tinggi, sedang, rendah) menggunakan logika fuzzy. Simulasi dilakukan pada peta grid 5×5 yang merepresentasikan area perpustakaan dengan variasi titik awal dan tujuan. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu menghindari rintangan, memilih jalur berdasarkan tingkat kekotoran, serta mengalokasikan waktu pembersihan secara efisien. Integrasi ketiga metode ini terbukti meningkatkan adaptivitas dan efisiensi navigasi robot dalam lingkungan dinamis. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem robotika cerdas untuk aplikasi pembersihan otomatis di ruang publik.

Kata Kunci: Robot Pembersih, Navigasi Adaptif, Multilayer Perceptron

Abstract

The advancement of robotics technology has enabled automation in various tasks, including cleaning in public facilities such as libraries. However, the complex library environment with numerous fixed obstacles and dynamic user activities demands an adaptive navigation system. This study proposes an adaptive navigation system for library cleaning robots based on the integration of the Best First Search (BFS) algorithm, fuzzy inference, and Multilayer Perceptron (MLP). BFS is used to determine the optimal path based on priorities, while MLP predicts floor dirt levels based on coordinates and floor types. The MLP predictions are then converted

Article History

Received: Juni 2025

Reviewed: Juni 2025

Published: Juni 2025

Plagirism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohehi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohehi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



into linguistic priority categories (high, medium, low) using fuzzy logic. Simulations were conducted on a 5×5 grid map representing a library area with varying start and goal points. The results demonstrate that the system can avoid obstacles, select paths based on dirt levels, and allocate cleaning time efficiently. The integration of these three methods significantly enhances the adaptability and efficiency of robot navigation in dynamic environments. This research contributes significantly to the development of intelligent robotic systems for automated cleaning in public spaces.

Keywords: *Cleaning Robot, Adaptive Navigation, Multilayer Perceptron.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika telah mendorong inovasi dalam berbagai bidang, salah satunya adalah otomasi pembersihan di lingkungan yang kompleks seperti perpustakaan. Perpustakaan memiliki tata letak yang luas dan beragam rintangan, termasuk rak buku yang rapat, lorong sempit, serta pengunjung yang bergerak bebas dengan aktivitas yang berbeda-beda. Kondisi ini menuntut sistem navigasi robot pembersih yang tidak hanya mampu bergerak secara otomatis, tetapi juga adaptif terhadap perubahan lingkungan secara real-time agar tidak mengganggu kenyamanan pengguna. Selain itu, kebutuhan akan efisiensi waktu dan energi dalam proses pembersihan menjadi faktor penting yang mendasari pemilihan studi kasus ini. Dengan demikian, penelitian ini fokus pada pengembangan sistem robot pembersih yang dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks tersebut, yang hingga saat ini masih menjadi tantangan tersendiri dalam bidang robotika dan otomasi (Maulana et al., n.d., 2020).

Integrasi beberapa metode kecerdasan buatan dan algoritma pencarian menjadi pendekatan yang sangat relevan dan efektif. Algoritma Best First Search (BFS) dipilih karena kemampuannya dalam mencari jalur terpendek secara efisien dengan memprioritaskan node yang paling menjanjikan berdasarkan fungsi heuristik, sehingga mempercepat proses pencarian rute optimal dalam lingkungan yang terstruktur seperti perpustakaan. Namun, BFS sendiri memiliki keterbatasan dalam menghadapi ketidakpastian dan dinamika lingkungan secara real-time, seperti munculnya rintangan tak terduga atau perubahan posisi pengunjung. Oleh karena itu, metode inferensi fuzzy diintegrasikan untuk memberikan kemampuan pengambilan keputusan yang fleksibel dan adaptif terhadap data sensor yang tidak pasti, memungkinkan robot melakukan penyesuaian gerak secara halus dan responsif. Selain itu, Multilayer Perceptron (MLP) sebagai jaringan saraf tiruan multilapis digunakan untuk memprediksi tingkat kekotoran berdasarkan posisi dan jenis lantai, sehingga robot dapat menentukan prioritas pembersihan secara cerdas. Kelebihan MLP terletak pada kemampuannya memetakan hubungan non-linear secara efektif, memperkuat adaptasi robot terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah dan meningkatkan kualitas pembersihan secara keseluruhan (Sugianti, Mardhiyah, & Romihim Fadlilah, 2020).

Tujuan utama artikel ini adalah menganalisis dan mengembangkan sistem navigasi adaptif robot pembersih perpustakaan dengan mengintegrasikan algoritma Best First Search, inferensi fuzzy, dan MLP untuk menghasilkan jalur pembersihan yang optimal dan responsif



terhadap kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan memperbaiki keterbatasan sistem navigasi sebelumnya yang masih menggunakan pola gerak acak tanpa algoritma pencarian jalur maupun pembelajaran adaptif, sehingga kurang efisien dalam menghadapi tata letak dan dinamika perpustakaan yang kompleks. Dengan pendekatan ini, diharapkan robot pembersih dapat bekerja secara mandiri dengan tingkat akurasi tinggi, mengurangi intervensi manusia, serta meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pembersihan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar pengembangan teknologi robot pembersih di lingkungan lain yang memiliki karakteristik serupa (Mardiana et al., 2022).

Keterbaruan (research gap) dalam studi ini terletak pada integrasi ketiga metode tersebut secara simultan dalam konteks robot pembersih perpustakaan. Penelitian terdahulu umumnya hanya mengandalkan satu atau dua metode, seperti penggunaan sensor ultrasonik dengan mode operasi manual dan otomatis tanpa algoritma pencarian jalur optimal maupun sistem pembelajaran adaptif. Dengan menggabungkan BFS untuk pencarian jalur, fuzzy untuk pengambilan keputusan adaptif, dan MLP untuk prediksi tingkat kekotoran dan prioritas pembersihan, penelitian ini menghadirkan pendekatan yang lebih cerdas, efisien, dan mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks di perpustakaan. Pendekatan ini juga membuka peluang pengembangan metode hibrida yang lebih maju dalam robotika layanan, serta memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur ilmiah di bidang navigasi robot dan kecerdasan buatan (Pranoto et al., 2020).

LANDASAN TEORI

Robot Pembersih Otomatis

Robot pembersih otomatis adalah perangkat yang dirancang untuk melakukan tugas pembersihan secara mandiri berdasarkan metode yang dikembangkan dalam rekayasa robotika untuk memudahkan pekerjaan manusia. Dalam era modern sekarang, penggunaan robot diruang publik banyak digunakan didalam perkantoran, bandara, hingga perpustakaan. Peran robot sendiri terdapat berbagai macam salah satunya adalah robot pembersih ruangan yang efisien dengan mengandalkan sensor dan algoritma navigasi. jenis robot pembersih sendiri beragam, mulai dari yang berbasis sensor infra merah hingga yang menggunakan sistem pemetaan cerdas untuk menghindari rintangan (Albab & Rahmawati, 2019).

Sistem Navigasi Robot

Sistem navigasi merupakan komponen penting dalam pembuatan rekayasa dalam robot karena memungkinkan robot menentukan posisi, arah, dan jalur yang harus ditempuh untuk mencapai tujuan tertentu. Navigasi dapat dilakukan secara statis berdasarkan peta awal atau secara dinamis berdasarkan informasi sensor real-time (Aprilianto et al., 2020). Dalam studi kasus ini, ruangan seperti perpustakaan, navigasi robot terdapat hambatan-hambatan untuk melakukan sebuah proses pembersihan yang perlu memperhatikan rintangan tetap maupun bergerak, serta meminimalisi gangguan terhadap pengguna sekitar (Satriansyah et al., 2022).

Algoritma Best First Search (BFS)

Algoritma Best First Search (BFS) merupakan algoritma pencarian jalur yang bekerja dengan mengevaluasi simpul berdasarkan estimasi kedekatan ke tujuan. Pendekatan ini dinilai efisien untuk lingkungan terstruktur seperti perpustakaan, karena mampu menelusuri jalur secara terarah dan sistematis tanpa harus menjelajahi semua simpul. Dengan pola eksplorasi



bertingkat, BFS memungkinkan sistem navigasi robot memilih rute yang logis dan adaptif terhadap prioritas tertentu, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan secara efisien dalam area dengan banyak percabangan atau rintangan tetap (Sugianti, Mardhiyah, & Fadilah, 2020).

Fuzzy Mamdani

Fuzzy Mamdani merupakan salah satu metode inferensi fuzzy yang paling banyak digunakan dalam sistem pengambilan keputusan adaptif karena kemampuannya dalam menangani data yang tidak pasti dan meniru pola pikir manusia secara linguistik. Sistem navigasi adaptif robot pembersih perpustakaan, metode ini berperan penting dalam mengklasifikasikan informasi sensorik seperti prediksi tingkat kekotoran lantai menjadi kategori prioritas pembersihan berupa “tinggi”, “sedang”, dan “rendah”. (Darmawan Yudi & Yani No, 2023). Output dari sistem fuzzy Mamdani kemudian digunakan untuk mengarahkan keputusan navigasi, sehingga robot dapat menentukan area yang perlu dibersihkan terlebih dahulu secara responsif dan efisien. Dengan mengintegrasikan metode ini bersama algoritma Best First Search dan prediksi kekotoran menggunakan Multilayer Perceptron (MLP), sistem navigasi robot mampu beradaptasi secara cerdas terhadap kondisi lingkungan perpustakaan yang kompleks dan dinamis. Pendekatan ini sangat relevan dalam situasi dinamis di mana robot harus bereaksi terhadap lingkungan yang terus berubah, seperti keberadaan pengunjung perpustakaan yang bergerak bebas (Shema, 2022).

Multilayer Perceptron (MLP) dalam Sistem Robotik

MLP adalah salah satu arsitektur jaringan syaraf tiruan (JST) yang digunakan secara luas untuk klasifikasi dan prediksi dalam sistem robotik karena kemampuannya mengenali pola non-linear dan memetakan input kompleks ke output yang akurat. Dalam penelitian ini, MLP digunakan untuk memprediksi tingkat kekotoran berdasarkan posisi koordinat dan jenis permukaan lantai, yang kemudian diolah menjadi prioritas navigasi melalui sistem fuzzy (Gun Gun Maulana, Aris Budiarto, 2020).

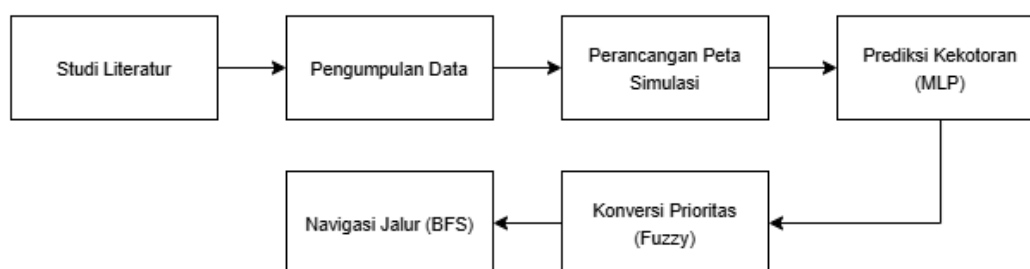
Penelitian Terkait

Penelitian ini melanjutkan pendekatan dari penelitian sebelumnya dengan melakukan pengembangan melalui integrasi algoritma Best First Search, logika fuzzy, dan Multilayer Perceptron (MLP) untuk membangun sistem navigasi adaptif yang lebih cerdas, efisien, dan mampu belajar dari kondisi lingkungan pada area perpustakaan. Penelitian oleh Bima Iqlal Aly dan Muhammad Werlin (Mardiana et al., 2022) menghasilkan robot pembersih lantai kamar mandi yang dapat beroperasi dalam dua mode manual dan otomatis dengan dukungan sensor ultrasonik sebagai sistem deteksi rintangan. Namun, pendekatannya masih menggunakan pola gerak acak tanpa algoritma pencarian jalur maupun sistem pembelajaran, sehingga belum mampu menyesuaikan pergerakan secara dinamis terhadap perubahan lingkungan. Penelitian ini memperbarui pendekatan tersebut dengan menerapkan strategi pencarian jalur optimal (Best First Search) untuk efisiensi rute, logika fuzzy untuk pengambilan keputusan adaptif saat menghadapi rintangan, dan MLP untuk memungkinkan robot belajar dari pengalaman navigasi sebelumnya, yang sangat relevan diterapkan di ruang perpustakaan yang memiliki tata letak kompleks dan dinamis.



METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan dalam merancang sistem navigasi adaptif pada robot pembersih perpustakaan adalah MLP lalu fuzzy dan BFS. Tujuan metode ini adalah untuk mempresentasikan alur proses navigasi robot mulai dari input kondisi lingkungan, prediksi tingkat kekotoran, klasifikasi prioritas, hingga pencarian jalur pembersihan yang optimal. MLP berfungsi memprediksi tingkat kekotoran berdasarkan input posisi dan jenis lantai. Hasil prediksi ini diproses oleh sistem fuzzy Mamdani untuk mengklasifikasikan nilai kekotoran menjadi prioritas pembersihan. Prioritas tersebut kemudian digunakan sebagai nilai heuristik dalam algoritma BFS untuk menentukan jalur pembersihan yang optimal. Dengan pendekatan ini, robot tidak hanya mencari jalur terpendek, tetapi juga memprioritaskan area yang lebih kotor, sehingga menghasilkan navigasi yang efisien dan kontekstual.



Gambar 1 Alur Penelitian

Studi Literatur

Penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual dan simulatif yang bertujuan untuk menganalisis sistem navigasi adaptif pada robot pembersih berbasis integrasi algoritma Best First Search (BFS), logika fuzzy berbasis heuristik, dan metode prediksi Multilayer Perceptron (MLP). Simulasi dilakukan dalam lingkungan grid 5x5 yang merepresentasikan tata letak perpustakaan dengan kombinasi jenis lantai, rintangan tetap, serta titik awal dan tujuan

Pengumpulan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini dilakukan secara tidak langsung melalui pendekatan simulatif, dengan membangun data sintesis berbasis peta grid 5x5 yang merepresentasikan kondisi lingkungan perpustakaan. Setiap sel dalam grid berisi informasi berupa posisi koordinat (x,y), jenis lantai (ubin bernilai 0, karpet bernilai 1), serta status sel yang menunjukkan apakah dapat dilalui atau merupakan rintangan (X). Jenis lantai ditetapkan berdasarkan asumsi bahwa karpet cenderung lebih kotor dibandingkan ubin, sehingga data ini digunakan sebagai input untuk pelatihan model Multilayer Perceptron (MLP) guna memprediksi tingkat kekotoran dalam skala 0–10. Nilai target ditentukan secara heuristik berdasarkan posisi dan jenis lantai, sementara sel rintangan tidak melibatkan dalam pelatihan. Pendekatan ini memungkinkan proses pembelajaran dan pengujian dilakukan sepenuhnya dalam simulasi tanpa keterlibatan sensor fisik atau perangkat keras robot.

Perancangan Peta dan Arsitektur Sistem

Lingkungan yang digunakan adalah perpustakaan yang dimana terdapat rintangan-rintangan yang umum yang berada pada perpustakaan. Lingkungan perpustakaan di

simulasikan menjadi bentuk peta grid berukuran 5 baris $\times$ 5 kolom. Tiap sel dalam grid memiliki atribut. **Gambar 2** adalah contoh peta dalam bentuk Matriks Grid Simulasi dan juga keterangan peta dalam bentuk grid.

[0, 0, 1, 'X', 0],
[0, 'X', 1, 1, 1],
[1, 1, 0, 'X', 0],
[1, 0, 0, 1, 0],
[0, 'X', 1, 1, 1]

Gambar 2 Peta Grid

Tabel 1 keterangan pada map matriks grid

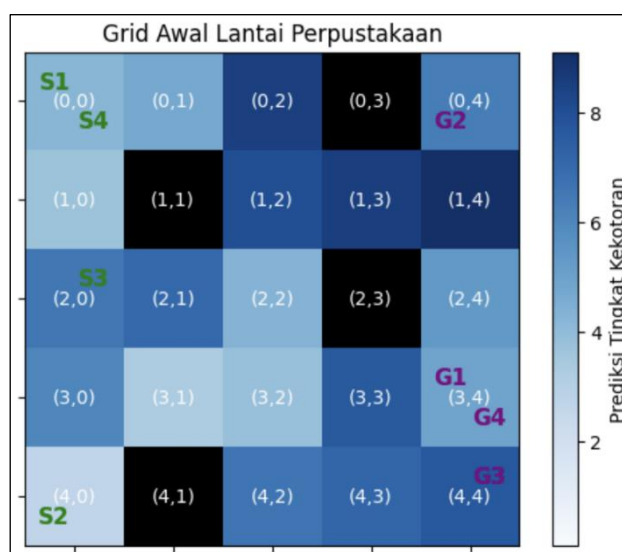
Simbol	Keterangan
0	Lantai ubin (Lantai bersih)
1	Karpet (area cenderung lebih kotor)
X	Rintangan tetap (rak, dinding)
S	Titik awal robot
G	Titik akhir robot

Berikut adalah Penjelasan singkat dari **Gambar 2** dan **Tabel 1**.

- Titik S adalah posisi awal robot pembersih, sedangkan G merupakan titik tujuan pembersihan.
- Area '1' diasumsikan memiliki potensi tingkat kekotoran lebih tinggi dan menjadi fokus utama prediksi MLP.
- Nilai matriks ini dijadikan input dalam proses simulasi untuk menentukan prediksi tingkat kekotoran, prioritas fuzzy, dan jalur optimal BFS.

Pendekatan representasi dalam bentuk matriks memudahkan penerapan algoritma dan visualisasi, serta mencerminkan struktur fisik ruangan secara sederhana namun efektif.

Berikut adalah peta grid awal perpustakaan dengan koordinat pada output python.



Gambar 3 Grid Peta Awal Perpustakaan dengan Titik Koordinat



Peta simulasi pada **Gambar 3** dirancang dalam bentuk matriks 5×5 yang merepresentasikan area lantai perpustakaan, dengan setiap sel menunjukkan posisi koordinat (x, y) , jenis lantai, titik awal (S), titik tujuan (G), atau rintangan (X). Visualisasi grid menunjukkan prediksi tingkat kekotoran berdasarkan model MLP, di mana intensitas warna biru merepresentasikan nilai kekotoran (semakin gelap, semakin kotor), dan warna hitam menandakan area rintangan yang tidak dapat dilalui robot. Titik S1, S2, dan S3 ditandai hijau sebagai titik awal, sedangkan G1, G2, dan G3 berwarna ungu sebagai titik tujuan, membentuk skenario navigasi adaptif yang dianalisis dalam penelitian ini.

Dengan perancangan peta simulasi dalam bentuk grid diperlukan asitektur yang mampu memproses data dengan terstruktur. Oleh karena itu, sistem ini dirancang dalam bentuk alur berlapis yang mengintegrasikan proses prediksi, klasifikasi, dan pencarian jalur secara bertahap, dimulai dari input data peta hingga menghasilkan output berupa rute pembersihan optimal. Berikut adalah urutan proses system navigasi dari perancangan peta.

- **Input Layer**
Dalam input layer Sistem menerima tiga input utama, yaitu koordinat posisi x dan y , serta jenis lantai yang dikodekan sebagai 0 (ubin) dan 1 (karpet). Input ini mencerminkan kondisi lingkungan tiap sel dalam grid peta simulasi.
- **Hidden layer (MLP)**
Model Multilayer Perceptron (MLP) memiliki satu hidden layer yang terdiri dari 5 neuron, di mana masing-masing neuron bertugas mempelajari pola non-linier antara posisi dan jenis lantai terhadap tingkat kekotoran. Neuron-neuron ini bekerja secara paralel untuk mengekstrak fitur tersembunyi yang tidak terlihat langsung dari input, seperti kecenderungan area tertentu lebih kotor karena lokasi atau tipe lantainya. Penggunaan hidden layer memungkinkan sistem membuat prediksi yang lebih akurat dan adaptif.
- **Output MLP**
Setelah diproses oleh hidden layer, model menghasilkan prediksi numerik tingkat kekotoran dengan rentang nilai antara 0 hingga 10. Nilai ini menjadi dasar untuk proses klasifikasi berikutnya.
- **Fuzzy mamdani (Prioritas)**
Prediksi kekotoran dari MLP dimasukkan ke sistem fuzzy Mamdani yang mengklasifikasikan nilai tersebut ke dalam tiga kategori linguistik: rendah, sedang, dan tinggi. Proses ini menggunakan fungsi keanggotaan, dengan hasil akhir berupa nilai prioritas diskret (1, 2, atau 3).
- **BFS (Jalur berdasarkan prioritas)**
Nilai prioritas fuzzy digunakan oleh algoritma BFS sebagai dasar evaluasi simpul. BFS digunakan untuk menelusuri jalur berdasarkan urutan prioritas pembersihan, sehingga robot secara adaptif membersihkan area yang lebih kotor terlebih dahulu.

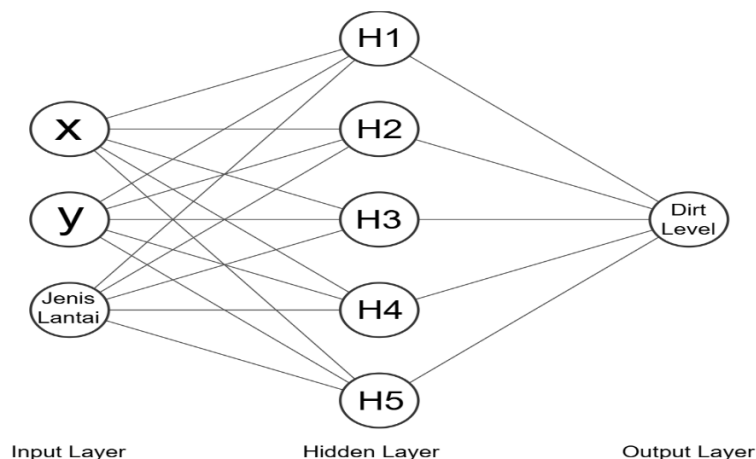
Prediksi Kekotoran Menggunakan Multilayer Perceptron (MLP)

Model MLP digunakan untuk memprediksi tingkat kekotoran pada tiap titik berdasarkan koordinat (x, y) dan jenis lantai. MLP memetakan input non-linear ke output prediktif menggunakan bobot dan bias yang disesuaikan melalui proses pembelajaran. Prediksi dari MLP ini digunakan untuk menentukan prioritas pembersihan. MLP dipilih karena kemampuannya

menangani data non-linear dan adaptif terhadap pola lingkungan. Penerapannya dalam sistem robotik telah terbukti efektif sebagaimana ditunjukkan pada penelitian.

MLP dirancang dengan tiga input neuron, yaitu x , y , dan jenis lantai. Lapisan tersembunyi (hidden layer) terdiri dari 5 neuron, yang masing-masing berfungsi untuk menangkap pola tersembunyi atau kombinasi fitur antar input. Fungsi aktivasi yang digunakan pada hidden layer adalah ReLU atau sigmoid, untuk memastikan bahwa jaringan dapat mengenali pola kekotoran secara adaptif dan efisien. Output dari hidden layer diteruskan ke neuron output tunggal, yang menghasilkan prediksi nilai kekotoran dalam skala 0–10.

Berikut adalah Arsitektur MLP.



Gambar 4 Arsitektur MLP

Berdasarkan **Gambar 4** berikut ini adalah penjelasan INPUT dan OUTPUT pada arsitektur MLP.

arsitektur Multilayer Perceptron (MLP) yang digunakan pada penelitian ini, proses dimulai dengan memasukkan tiga jenis data utama pada lapisan input (input layer), yaitu:

- x : Koordinat baris pada grid perpustakaan
- y : Koordinat kolom pada grid
- Jenis lantai: Dikodekan sebagai 0 untuk ubin dan 1 untuk karpet

Ketiga input ini mencerminkan kondisi lokasi robot berada pada simulasi peta ruangan. Informasi ini kemudian diproses oleh hidden layer yang terdiri dari lima neuron.

Hasil dari hidden layer diteruskan ke output layer, yang menghasilkan satu nilai prediksi yaitu:

- Tingkat kekotoran: nilai numerik dalam skala 0–10

Nilai ini menggambarkan seberapa kotor suatu titik berdasarkan posisi dan jenis lantai, yang selanjutnya akan digunakan dalam proses klasifikasi fuzzy untuk menentukan prioritas pembersihan dalam sistem navigasi robot.



Tabel 2 Fungsi 5 neuron pada Hidden Layer

Neuron	Pola atau fitur yang mungkin dipelajari	Penjelasan
H1	Area dengan posisi mendekati titik awal	Neuron ini dapat mendeteksi posisi-posisi awal robot, berguna untuk memperkirakan awal distribusi kekotoran
H2	Lokasi yang memiliki tipe lantai tertentu	Misalnya hanya merespon lantai jenis 1 (karpet), artinya neuron ini fokus pada karakteristik lantai.
H3	Kombinasi antara posisi horizontal dan vertikal	Neuron ini bisa menggabungkan sinyal dari koordinat x dan y untuk mengenali lokasi-lokasi tertentu di peta.
H4	Area yang cenderung memiliki rintangan di sekitarnya	Dapat mengenali pola di mana node tersebut dikelilingi oleh penghalang (X), meskipun 'X' tidak langsung menjadi input, lokasinya bisa dipelajari lewat pola.
H5	Area tengah atau representatif dari zona transisi	Mendeteksi bagian peta yang sering dilewati, atau simpul transisi antara bagian lantai yang berbeda.

Berdasarkan **Tabel 2** setiap neuron tersembunyi dalam jaringan saraf memiliki peran spesifik dalam mengenali pola lingkungan, seperti posisi awal, jenis lantai, lokasi spasial, keberadaan rintangan, dan area transisi. Kemampuan ini menunjukkan bahwa jaringan dapat secara otomatis mengekstraksi fitur penting dari peta tanpa aturan eksplisit, sehingga mendukung prediksi kekotoran dan navigasi robot secara lebih adaptif dan kontekstual.

Persamaan prediksi tingkat kekotoran

$$N_k = w_0 + (w_1 \cdot x) + (w_2 + y) + (w_3 + lt) n \quad (1)$$

Keterangan

- Nilai Kekotoran: output prediksi tingkat kekotoran
- x: koordinat baris lokasi pada grid perpustakaan
- y: koordinat kolom Lokasi
- lantai: jenis lantai (ubin = 0, karpet = 1)
- w0: bias neuron output
- w1, w2, w3: bobot hasil pembelajaran dari model MLP

Konversi Prioritas Menggunakan Logika Fuzzy Mamdani

Dalam kerangka fuzzy classification, hasil prediksi nilai kekotoran (hasil output dari model MLP) dikonversi ke dalam variabel p sebagai kategori prioritas pembersihan. Proses ini dilakukan secara diskret menggunakan aturan linguistik sederhana yang merepresentasikan tingkat urgensi area dalam peta navigasi. Nilai prioritas p ini berperan sebagai evaluasi node dalam algoritma navigasi.



$$\text{Prioritas (Nilai Kekotoran): } \begin{cases} 1 \text{ jika } y > 7(\text{Tinggi}) \\ 2 \text{ jika } 4 \leq y \leq 7(\text{Sedang}) \\ 3 \text{ jika } y < 4(\text{rendah}) \end{cases}$$

Setiap tingkat prioritas juga dikaitkan dengan estimasi waktu tempuh per langkah sebagai berikut:

$$\text{Waktu (p): } \begin{cases} 5 \text{ jika } p = 1 \\ 3 \text{ jika } p = 2 \\ 1 \text{ jika } p = 3 \end{cases}$$

Konversi ini bertujuan agar sistem navigasi tidak hanya mempertimbangkan jarak terpendek, tetapi juga urgensi pembersihan berdasarkan kondisi lingkungan sekitar.

Aturan fuzzy yang digunakan:

IF Kekotoran IS Tinggi THEN Prioritas IS 1 (Tinggi)

IF Kekotoran IS Sedang THEN Prioritas IS 2 (Sedang)

IF Kekotoran IS Rendah THEN Prioritas IS 3 (Rendah)

Tabel 3 Hubungan Warna, Prediksi, dan Prioritas

Warna grid (semakin gelap)	Nilai Kekotoran	Prioritas Fuzzy	Estimasi waktu (detik)
Sangat gelap (Biru tua)	>7	1 (Tinggi)	5 – 6
Sedang (biru medium)	4-7	2 (Sedang)	3 – 4
Terang (Biru muda)	<4	3 (Rendah)	1 - 2

Tabel 3 menjelaskan Warna pada peta menunjukkan tingkat kekotoran, di mana semakin gelap warnanya, semakin tinggi tingkat kekotorannya. Titik-titik dengan warna lebih gelap diprioritaskan untuk dibersihkan lebih awal, dan robot akan menghabiskan waktu lebih lama, seperti 5 detik, di area tersebut. Dengan demikian, warna berfungsi sebagai indikator visual beban kerja robot di setiap titik.

Navigasi Jalur dengan Algoritma Best First Search (BFS)

Algoritma BFS digunakan untuk menentukan rute pembersihan optimal berdasarkan nilai heuristik yang telah dikustomisasi dari output fuzzy. BFS melakukan eksplorasi node dengan memprioritaskan simpul berdasarkan estimasi paling menjanjikan.

Persamaan Evaluasi Berbasis prioritas Fuzzy

$$f(n) = p(n) \quad (2)$$

- $f(n)$ adalah nilai heuristik total simpul,
- $h(n)$ nilai prioritas pembersihan hasil klasifikasi fuzzy terhadap output prediksi MLP.

Estimasi total waktu tempuh dari titik awal sss ke tujuan g dihitung berdasarkan total waktu dari setiap simpul berdasarkan prioritas.

Persamaan estimasi Total waktu Pembersihan

$$T_{total}(s, g) = \sum_{k=1}^m \text{waktu}(p_k) \quad (3)$$



di mana p_k adalah prioritas titik ke- k dalam jalur, dan m adalah jumlah langkah. BFS dipilih karena cocok untuk lingkungan terstruktur seperti perpustakaan, dan kemampuannya dalam menelusuri simpul secara sistematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan menganalisis performa sistem navigasi adaptif berbasis tiga komponen utama, yang terdiri dari algoritma Best First Search (BFS) untuk pencarian jalur, Multi-Layer Perceptron (MLP) untuk memprediksi tingkat kekotoran lantai, dan sistem inferensi fuzzy untuk menentukan prioritas pembersihan berdasarkan prediksi tersebut. Pengujian ini dilakukan secara simulatif dalam grid lingkungan berukuran 5×5 yang merepresentasikan denah perpustakaan sederhana.

Hasil Prediksi MLP terhadap Tingkat Kekotoran

Model MLP dirancang dengan input berupa kombinasi posisi koordinat (x, y) dan jenis lantai (ubin = 0, karpet = 1). Nilai target yang digunakan adalah tingkat kekotoran dengan skala 0–10. Hasil prediksi pada beberapa titik ditampilkan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4 Hasil Prediksi MLP

Koordinat (x, y)	Jenis Lantai	Prediksi MLP (tingkat kekotoran)	Target Asli
(0,0)	0	5.01	5.01
(1,2)	1	8.45	8.45
(3,1)	0	6.30	6.30
(4,4)	1	7.90	7.90

Berdasarkan **Tabel 4** menunjukkan hasil prediksi menunjukkan bahwa jenis lantai karpet cenderung memiliki tingkat kekotoran lebih tinggi dibanding ubin, sejalan dengan kondisi umum perpustakaan. Hasil ini memperkuat bahwa MLP mampu mengenali pola kekotoran berdasarkan karakteristik input.

Konversi Inferensi Fuzzy terhadap Prioritas Navigasi

Dalam kerangka fuzzy classification, hasil prediksi nilai kekotoran dari MLP ditransformasikan ke dalam kategori prioritas berbasis aturan fuzzy linguistik, untuk mempermudah proses inferensi dan pengambilan keputusan dalam sistem navigasi. Prioritas ini menentukan urutan area yang harus dibersihkan terlebih dahulu. Konversi ini bertujuan agar sistem navigasi tidak hanya mempertimbangkan jarak terpendek, tetapi juga urgensi pembersihan berdasarkan kondisi lingkungan sekitar.

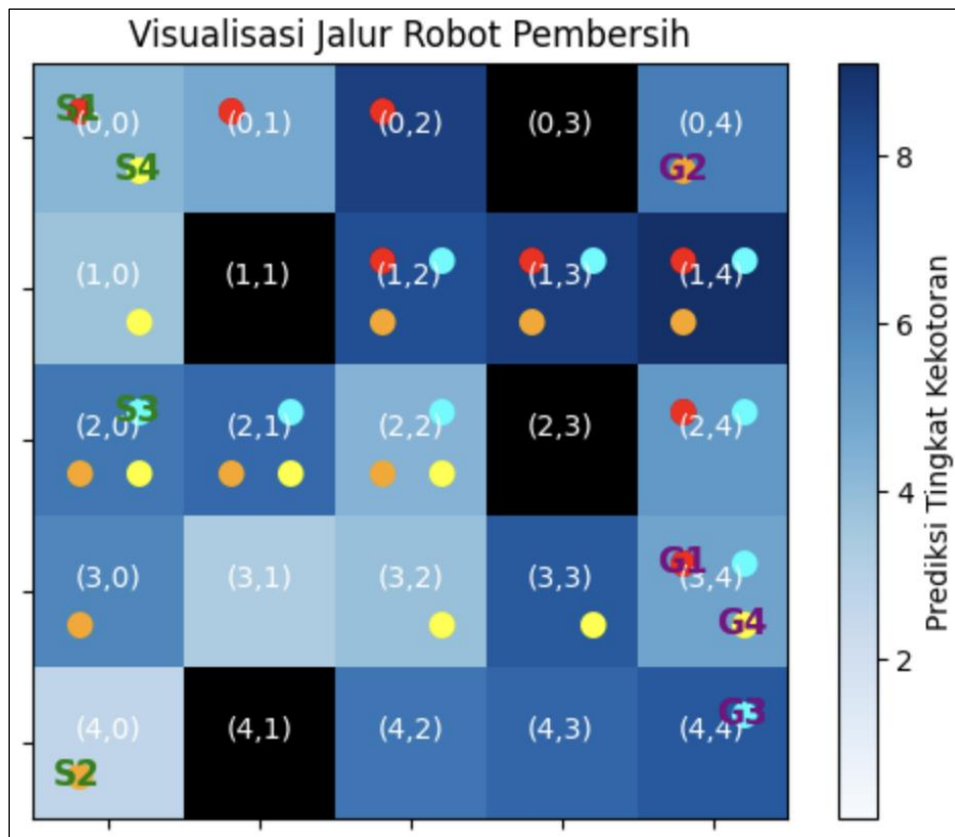
Jalur Navigasi Optimal

Integrasi prediksi MLP dan fuzzy classification dengan algoritma BFS menghasilkan jalur yang optimal dari titik awal (S) menuju titik tujuan (G). Jalur ini secara adaptif menghindari rintangan ('X') dan sekaligus memilih area dengan tingkat kekotoran yang lebih tinggi untuk dibersihkan lebih awal, sesuai bobot prioritas yang dihasilkan dari sistem fuzzy.



Visualisasi Jalur dan Prediksi Kekotoran

Visualisasi grid perpustakaan disajikan dalam **Gambar 3**. Warna yang muncul mewakili prediksi tingkat kekotoran MLP (semakin gelap = semakin kotor), sedangkan untuk warna hitam mewakili x (rintangan yang tidak dapat dilalui), untuk simbol lingkaran (●) menunjukkan jalur optimal yang akan dilalui robot, dimana untuk setiap robot memiliki warna yang berbeda. Titik awal ditandai dengan “S” dan titik tujuan dengan “G”, yang ditunjukkan pada **Gambar 5** berikut.



Gambar 5 Grid Peta Jalur Navigasi Robot dan Prediksi Kekotoran MLP

Visualisasi dari **Gambar 5** memperlihatkan bahwa sistem secara efektif menghindari area rintangan (x) dan memilih lintasan berdasarkan konteks kebersihan, membuktikan keberhasilan integrasi ketiga metode secara teoritis.

Tabel 5 Interpretasi Hasil Simulasi

Robot	Titik Start	Titik Goal	Jalur yang Ditempuh	Estimasi Waktu Tempuh (detik)
1	S1 (0,0)	G1 (3,4)	[(0, 0), (0, 1), (0, 2), (1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 4), (3, 4)]	33
2	S2 (4,0)	G2 (0,4)	[(4, 0), (3, 0), (2, 0), (2, 1), (2, 2), (1, 2), (1, 3), (1, 4), (0, 4)]	37



Robot	Titik Start	Titik Goal	Jalur yang Ditempuh	Estimasi Waktu Tempuh (detik)
3	S3 (2,0)	G3 (4,4)	[(2, 0), (2, 1), (2, 2), (1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 4), (3, 4), (4, 4)]	37
4	S1 (0,0)	G1 (3,4)	[(0, 0), (1, 0), (2, 0), (2, 1), (2, 2), (3, 2), (3, 3), (3, 4)]	25

Nilai Inovasi dan Implikasi dalam **Tabel 5**:

- Jalur yang dipilih setiap robot tidak hanya menghindari rintangan dan memaksimalkan efisiensi waktu, tetapi juga mempertimbangkan prioritas area yang paling kotor. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi algoritma Best First Search (BFS), inferensi fuzzy, dan Multilayer Perceptron (MLP) mampu menghasilkan sistem navigasi robot yang adaptif, efisien, dan responsif terhadap kondisi lingkungan dinamis seperti perpustakaan.
- Estimasi waktu tempuh pada setiap jalur bersifat dinamis, bergantung pada panjang lintasan serta tingkat kekotoran area yang dilewati semakin kotor suatu titik, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk membersihkannya. Prediksi tingkat kekotoran ini diperoleh melalui Multilayer Perceptron (MLP) sebagai *prior knowledge* awal, sementara inferensi fuzzy berperan dalam menyesuaikan keputusan secara adaptif berdasarkan kondisi aktual di lapangan.
- Visualisasi jalur pada gambar kedua menunjukkan titik-titik yang dilewati oleh robot, yang mempertegas efektivitas integrasi algoritma Best First Search (BFS), fuzzy logic, dan MLP dalam mendukung navigasi adaptif. BFS memastikan bahwa jalur yang dipilih tidak hanya optimal secara jarak, tetapi juga mempertimbangkan prioritas area yang membutuhkan pembersihan segera, sehingga proses navigasi menjadi lebih tepat sasaran.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa integrasi algoritma *Best First Search* (BFS), fuzzy, dan *Multilayer Perceptron* (MLP) mampu membentuk sistem navigasi robot pembersih yang adaptif dan efisien untuk lingkungan perpustakaan. Prediksi tingkat kekotoran oleh MLP memberikan informasi awal yang relevan, sementara logika fuzzy mengubahnya menjadi prioritas yang dapat diproses secara fleksibel dalam navigasi. Algoritma BFS kemudian memanfaatkan informasi prioritas tersebut untuk menentukan jalur optimal yang tidak hanya mempertimbangkan jarak, tetapi juga urgensi pembersihan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu menghindari rintangan, memilih jalur strategis, serta menyesuaikan waktu pembersihan berdasarkan kondisi aktual. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan dengan pengujian langsung pada robot fisik dan diterapkan pada ruang dengan konfigurasi dan dinamika yang lebih kompleks, seperti perpustakaan besar atau area publik lainnya. Penambahan kemampuan pembelajaran secara berkelanjutan dan integrasi sensor real-time juga menjadi rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, R. A. P., Ryan Yudha Adhitya, Zindhu Maulana Ahmad Putra, Ii'Munadhif, Mohammad Abu Jami'in, & Muhammad Khoirul Hasin. (2024). Identifikasi Warna Bola dan SILO Menggunakan Metode You Only Look Once Pada Robot Pengambil Bola. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(1), 210–217. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5151>
- Albab, A. N., & Rahmawati, E. (2019). Rancang Bangun Sistem Navigasi Mobile Robot Berbasis Sensor Rotary Encoder Menggunakan Metode Odometri. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 08(2017), 23–27.
- Aprilianto, M. R., Setyawan, G. E., & Setiawan, E. (2020). *Perancangan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Navigasi Robot Beroda*. 4(5), 1572–1579.
- Darmawan Yudi, E., & Yani No, J. A. (2023). Literature Review : Implementasi Sistem Monitoring Robot Bawah Air (Underwater Robot) berbasis IoT menggunakan metode Fuzzy Logic. *Jurnal Ilmu Data Dan Kecerdasan Buatan*, 1(1), 5–8.
- Gun Gun Maulana, Aris Budiarto, V. S. (2020). Robot Pendeteksi Gas Beracun dengan Menggunakan Metode Multi Layer Perceptron. *Ensiklopedia of Jurnal*, Vol 2, No(2), 144–154.
- Mardiana, M., Despa, D., Ardhi Muhammad, M., Septiana, T., & Lorenza, T. A. (2022). Sistem Navigasi Augmented Reality Dengan Pencarian Jalur Terbaik Menuju Lokasi Pustaka (Studi Kasus Pada Upt Perpustakaan Unila). *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 3(2), 36–42. <https://doi.org/10.23960/jpi.v3n2.78>
- Maulana, Q., Prihatini, E., Latifah Husni, N., Anisah Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang, M., & Penulis Korespondensi, I. (n.d.). Perancangan Kendali Sistem Navigasi Smart Trash Robot Berbasis Artificial Intelligence. In *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya* (Vol. 1, Issue 2).
- Pranoto, H., Sutisna, S. P., Tp, S., Si, M., & Sutoyo, E. (2020). *RANCANG BANGUN SISTEM PENYAPU PADA ROBOT PEMBERSIH LANTAI*.
- Puspita Sari, A., Azizul Hakim, E., Arman Prasetya, D., Arifuddin, R., Dani Prasetyo Adi, P., Person, K., & Puspita Sari Jl Terusan Dieng, A. (2021). SISTEM PREDIKSI KECEPATAN DAN ARAH ANGIN MENGGUNAKAN BIDIRECTIONAL LONG SHORT-TERM MEMORY. In *Seminar Keinsinyuran*.



- Satriansyah, M., Siradjuddin, I., & Sungkono, S. (2022). Sistem Navigasi Mobile Robot Penggerak Mekanum Menggunakan Sensor Kompas. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 9(3), 154–160. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v9i3/305>
- Shema, D. I. (2022). Implementasi Metode Logika Fuzzy Sugeno Pada Prototipe Robot Pemadam Api Dengan Kemampuan Navigasi. *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(1), 55. <https://doi.org/10.22441/jte.2022.v13i1.010>
- Sidiq, I. M., Ihsanto, E., & Yuliza, Y. (2020). Rancang Bangun Sistem Navigasi Robot Hexapod 3 DOF di Ruangan Labirin Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno Berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(3), 133. <https://doi.org/10.22441/jte.2020.v11i3.004>
- Sugianti, N., Mardhiyah, A., & Fadilah, N. R. (2020). Komparasi Kinerja Algoritma BFS, Dijkstra, Greedy BFS, dan A* dalam Melakukan Pathfinding. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 5(3), 194–204. <https://doi.org/10.14421/jiska.2020.53-07>
- Susanthi, Y. (n.d.). *Mapping dan Navigasi untuk Robot Pengantar Makanan di Restoran Berbasis ROS*.
- Zahra, L., Ikhsan Sani, M. S., & Siregar, S. (n.d.). *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI MAPPING SYSTEM UNTUK NAVIGASI RONER (ROBOT CLEANER)*.