

PROTOTYPE ROBOT PEMINDAH BARANG MENGGUNAKAN NAVIGASI QR CODE DAN FUZZY LOGIC

Aswadi

Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak

Email: aswadi2k20@gmail.com

Medi Yuwono Tharam dan Eko Mardianto

Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak

Email: mediyuwonotharam@polnep.ac.id , eko.mardianto@polnep.ac.id

Abstrak

Di era industri 4.0, kebutuhan akan sistem otomatisasi dalam distribusi barang semakin meningkat, terutama di sektor logistik dan pergudangan. Forklift manual memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi berdasarkan data Harjum dkk. (2022) dengan 24.960 kasus kecelakaan dan 73 kematian selama 2021–2022. Penelitian ini mengintegrasikan navigasi *QR Code* yang fleksibel dengan *Fuzzy Logic* metode Mamdani untuk mengatur arah dan kecepatan robot secara *real-time*. Sistem berupa robot miniatur dengan mekanisme forklift, lima sensor ultrasonik HC-SR04, modul ESP32-CAM, dan Arduino Mega 2560 Pro Mini. Hasil pengujian menunjukkan sistem navigasi dan kendali berfungsi sesuai perancangan, dengan waktu pembacaan *QR Code* rata-rata 1–3 detik.

Kata Kunci: Robot Pemindah Barang, QR Code, Fuzzy Logic, Arduino, Otomatisasi

Abstract

In the era of Industry 4.0, the need for automation in goods distribution is increasing, especially in the logistics and warehousing sectors. Manual forklifts have a high risk of accidents based on data from Harjum et al. (2022) with 24,960 accident cases and 73 deaths during 2021–2022. This research integrates flexible QR Code navigation with Mamdani Fuzzy Logic to regulate the robot's direction and speed in real-time. The system is a miniature robot equipped with a forklift mechanism, five HC-SR04 ultrasonic sensors, ESP32-CAM module, and Arduino Mega 2560 Pro Mini. Test results show that the navigation and control system works according to design, with an average QR Code reading time of 1–3 seconds.

Keywords: Goods Transport Robot, QR Code, Fuzzy Logic, Arduino, Automation

PENDAHULUAN

Di era industri 4.0, otomatisasi di sektor manufaktur dan logistik menjadi kebutuhan mendasar. Salah satu tantangan utama adalah pengelolaan dan pemindahan material secara efisien dan aman di lingkungan pabrik dan gudang.

Berdasarkan data Harjum dkk. (2022), tercatat 24.960 kasus kecelakaan forklift selama 2021–2022, dengan 73 kematian. Kondisi ini mendorong kebutuhan sistem otomatisasi pengganti forklift manual skala kecil yang lebih aman dan efisien.

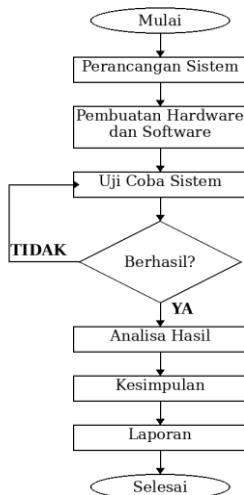
Beberapa penelitian sebelumnya memiliki keterbatasan. Li dan Xiong (2023) mengusulkan navigasi *QR Code* dengan kompleksitas tinggi yang membutuhkan perangkat keras khusus. Riman dan Abi-Char (2023) mengembangkan navigasi *fuzzy logic* tanpa penanda visual sehingga robot tidak mampu mengenali posisi global. Hilmy dkk. (2020) merancang AGV berbasis warna yang bergantung pada garis fisik di lantai. Bach dkk. (2023) mengembangkan sistem lokalisasi robot *indoor* menggunakan *QR Code* yang dipasang pada dinding dengan Extended Kalman Filter untuk mengoreksi error lokalisasi, namun tidak mengintegrasikan sistem kendali cerdas untuk mengatur

kecepatan secara adaptif. Nisa dkk. (2022) mengimplementasikan logika fuzzy Mamdani pada robot penghindaran rintangan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan Arduino, namun belum mengintegrasikan navigasi berbasis penanda visual maupun mekanisme pemindahan barang.

Penelitian ini menawarkan solusi dengan mengintegrasikan navigasi *QR Code* yang fleksibel, dikombinasikan dengan *Fuzzy Logic* sebagai pengendali kecepatan dan arah robot berdasarkan jarak rintangan secara *real-time* tanpa jalur fisik permanen.

METODE

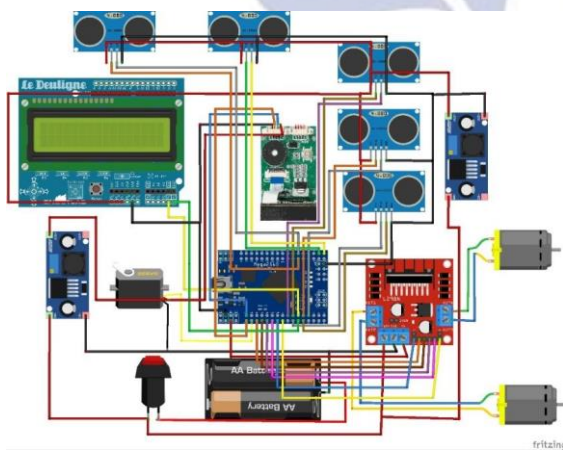
Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menguji robot pemindah barang skala kecil yang dilengkapi mekanisme forklift, navigasi berbasis *QR Code*, dan pengendalian menggunakan *Fuzzy Logic*. Alur metode perancangan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Perancangan

Perancangan Hardware

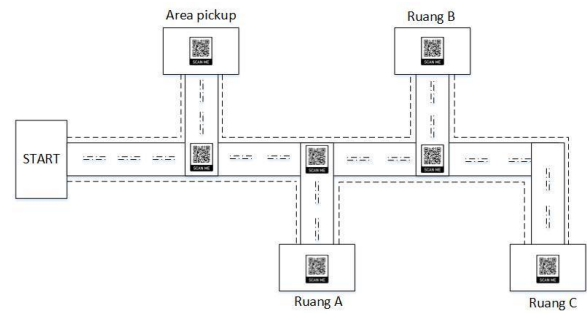
Komponen utama sistem meliputi Arduino Mega 2560 Pro Mini sebagai mikrokontroler, ESP32-CAM untuk pembacaan *QR Code*, lima sensor ultrasonik HC-SR04 (depan, kiri, kanan, serong kiri, serong kanan), motor DC, servo forklift, driver motor L298N, LCD I2C, *push button*, dan dua *buck converter* (LM2596 dan XL4005) penurun tegangan 12 V ke 5 V. Dimensi robot: tinggi 22 cm, lebar 21 cm, panjang 30 cm, dengan area simulasi 360 cm × 150 cm.



Gambar 2. Wiring Diagram Sistem

Perancangan Sistem Navigasi QR Code

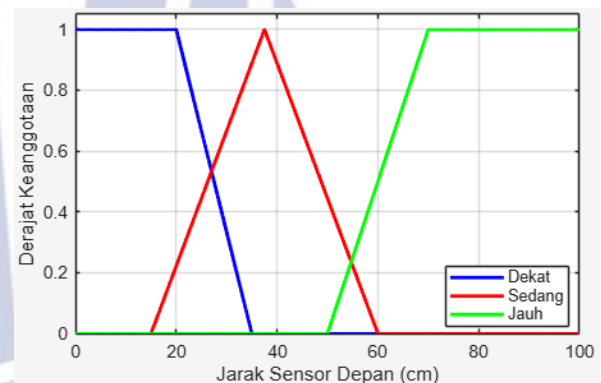
QR Code difungsikan sebagai penanda navigasi dinamis dengan empat jenis: kode barang (lokasi tujuan), kode lokasi ruangan, kode persimpangan, dan kode arah dasar. Robot beroperasi di area simulasi dengan satu area *pickup* dan tiga ruang penyimpanan (A, B, C) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



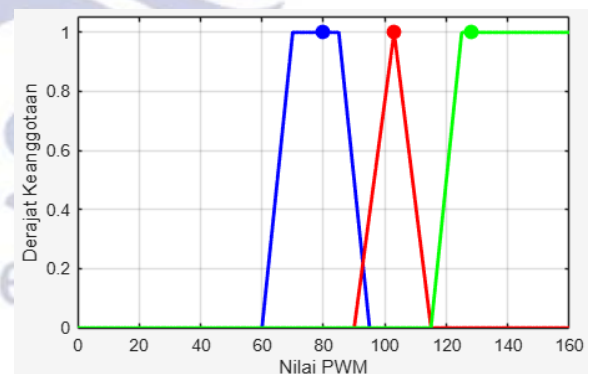
Gambar 3. Jalur Navigasi Robot

Perancangan Sistem Fuzzy Logic

Sistem kendali *Fuzzy Logic* menggunakan metode Mamdani dengan variabel input berupa jarak sensor: Dekat (0–50 cm), Sedang (25–75 cm), Jauh (50–100 cm). Variabel output berupa PWM motor: Stop (0–40), Lambat (30–130), Sedang (100–200), Cepat (>160). Grafik fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. MF Input Jarak



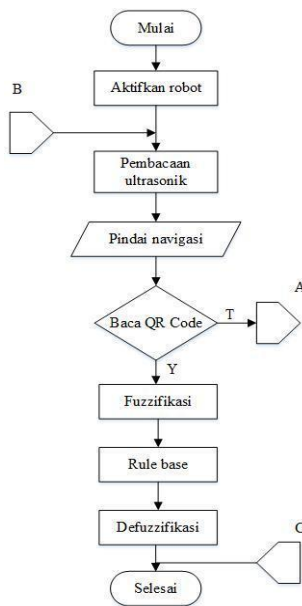
Gambar 5. Output PWM

Defuzzifikasi menggunakan metode centroid: $Z = \frac{\sum[x \cdot \mu(x)]}{\sum[\mu(x)]}$, di mana Z adalah nilai crisp hasil defuzzifikasi, x adalah nilai output dalam domain fuzzy, dan $\mu(x)$ adalah derajat keanggotaan.

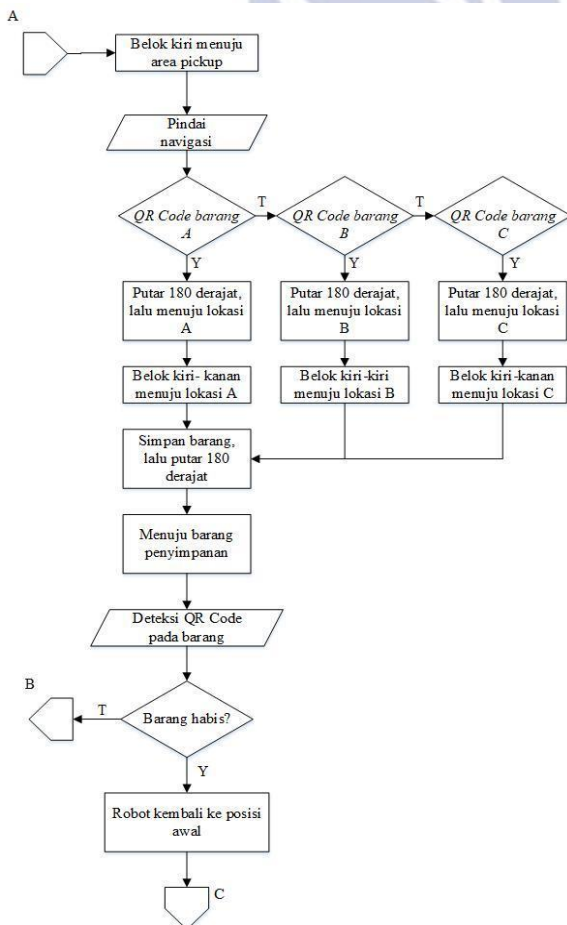
Pembuatan Hardware dan Software

Rangka robot dibuat dari akrilik dan aluminium profil dengan mekanisme forklift servo di bagian depan. Program dikembangkan menggunakan Arduino IDE mencakup modul pembacaan sensor, komunikasi serial

ESP32-CAM, pemrosesan *fuzzy logic*, kendali motor, dan tampilan LCD. Flowchart sistem dan navigasi *QR Code* ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Flowchart Sistem Robot

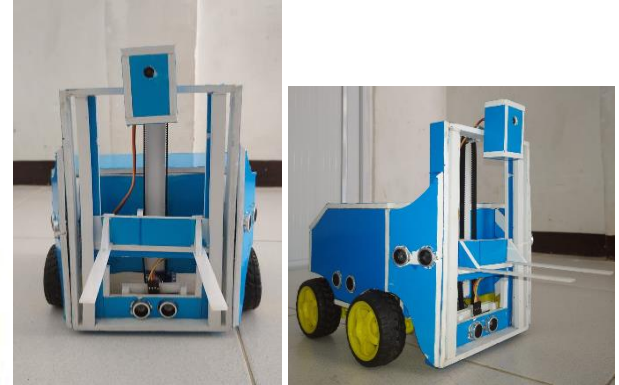


Gambar 7. Flowchart Navigasi QR Code

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembuatan Alat

Robot pemindah barang berhasil direalisasikan sesuai desain dengan mekanisme forklift, ESP32-CAM, dan lima sensor ultrasonik pada posisi strategis seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pembuatan Robot

Pengujian Sistem Elektrik

Pengujian menggunakan multimeter digital menunjukkan *buck converter* LM2596 menghasilkan 7,97 V untuk Arduino dan XL4005 menghasilkan 5,01 V untuk ESP32-CAM dan servo. Seluruh komponen beroperasi sesuai spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan dan Arus Komponen

No	Komponen	V (Volt)	A (Ampere)	W (Watt)	Keterangan
1	Supply tegangan	11,3	0,14	1,58	Daya maksimum supply
2	Output Buck Converter LM2596	7,97	0,12	0,96	Menyuplai Arduino
3	Output Buck Converter XL4005	5,01	0,55	2,76	ESP32-CAM + Servo
4	Arduino Mega 2560 Pro Mini	7,97	0,12	0,96	Kondisi umum
5	ESP32-CAM	4,78	0,16	0,76	Kamera + WiFi aktif
6	Motor Servo	5,00	0,16	0,80	Arus maksimum
7	Motor DC	5,64	0,23	1,30	Beban maksimum

Pengujian Servo Forklift

Pengujian tanpa beban menunjukkan pergerakan naik menghasilkan ketinggian 1,5–4,0 cm dan turun

konstan 2,5 cm. Ketidakkonsistenan disebabkan gesekan poros dan ketidaksejajaran komponen mekanis (Tabel 2).

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Servo Forklift

No	Naik		Turun	
	Waktu (s)	Ketinggian (cm)	Waktu (s)	Ketinggian (cm)
1	0,5	1,5	0,25	2,5
2	0,5	1,7	0,25	2,5
3	0,5	2,0	0,25	2,5
4	0,5	2,3	0,25	2,5
5	0,5	2,5	0,25	2,5
6	0,5	3,0	0,25	2,5
7	0,5	3,2	0,25	2,5
8	0,5	3,5	0,25	2,5
9	0,5	3,8	0,25	2,5
10	0,5	4,0	0,25	2,5

Pengujian Sensor Ultrasonik dan Fuzzifikasi

Seluruh sensor membaca dengan baik pada jarak dekat hingga menengah. Pada jarak jauh selisih pembacaan meningkat akibat sudut pantulan gelombang ultrasonik. Tabel 3 merangkum hasil pembacaan kelima sensor sekaligus.

Tabel 3. Rekapitulasi Pengujian Sensor Ultrasonik (cm terbaca)

No	Aktual (cm)	Depan (cm)	Kiri (cm)	Serong Kiri (cm)	Kanan (cm)	Serong Kanan (cm)
1	1	2	2	2	2	2
2	5	5	5	4	6	4
3	8	8	7	7	8	8
4	10	10	10	8	9	10
5	11	11	15	13	14	16
6	20	20	19	18	18	19
7	50	48	47	46	47	47
8	80	75	66	64	75	64
9	100	94	95	84	95	95
10	150	141	143	55	143	143

Pengujian fuzzifikasi menunjukkan pemetaan nilai jarak ke himpunan *fuzzy* berjalan sesuai fungsi keanggotaan yang dirancang, dengan hasil pengujian lengkap pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Fuzzifikasi

No	IF-AND					Output		Keterangan
	Serong Kiri	Kiri	Depan	Kanan	Serong Kanan	PWM Kiri	PWM Kanan	
1	15	16	59	15	15	95	95	Lurus
2	11	9	65	21	23	65	95	Lurus
3	90	6	80	7	26	87	95	Lurus
4	17	16	49	14	16	95	89	Lurus
5	10	10	22	7	8	90	90	Lurus
6	15	15	10	15	16	0	0	Berhenti
7	30	8	9	8	25	0	0	Berhenti
8	9	15	13	15	11	0	0	Berhenti
9	7	5	18	4	5	0	0	Berhenti
10	17	6	63	35	107	90	65	Belok Kanan Lambat
11	9	5	28	36	84	95	65	Belok Kanan Sedang
12	5	5	23	54	20	95	90	Belok Kanan Cepat

Pengujian Output PWM Motor

Nilai PWM dan tegangan analog sesuai kategori kecepatan. Contoh: jarak 40 cm $\rightarrow \mu$ Dekat = 0,4, μ Sedang = 0,33 $\rightarrow$ PWM = 89 ($\pm 4,19$ V). Hasil lengkap pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Output PWM Motor

No	Kondisi	Nilai analog (v) Motor Kanan	Nilai analog (v) Motor Kiri	Nilai PWM Motor Kanan	Nilai PWM Motor Kiri
1	Lurus	4,58	4,61	95	95
2	Berhenti	0	0	0	0
3	Belok kanan lambat	4,44	4,82	65	90
4	Belok kanan sedang	5,89	4,41	65	95
5	Belok kanan cepat	4,42	4,59	90	95

No	Kondisi	Nilai analog (v) Motor Kanan	Nilai analog (v) Motor Kiri	Nilai PWM Motor Kanan	Nilai PWM Motor Kiri
6	Belok kiri lambat	4,63	5,04	90	65
7	Belok kiri sedang	4,49	6,23	95	65
8	Belok kiri cepat	4,52	4,96	95	90

Pengujian Pembacaan QR Code

Sistem berhasil membaca seluruh jenis *QR Code* dengan rata-rata waktu 1–3 detik. Keterlambatan dipengaruhi posisi robot terhadap *QR Code*, kondisi jaringan WiFi, dan intensitas cahaya lingkungan (Tabel 6).

Tabel 6. Pembacaan QR Code ESP32-CAM

No	Fungsi Kode	Isi QR Code	Jarak (cm)	Waktu Baca (s)	Status
1	Kode QR Code barang	DEST_A	15	5,3	Terbaca
		DEST_B	17	8,4	Terbaca
		DEST_C	16	2,4	Terbaca
		AREA_PICKUP	17	36,7	Terbaca
2	Kode QR Code Lokasi Ruangan	ROOM_A	18	3,8	Terbaca
		ROOM_B	19	1,4	Terbaca
		ROOM_C	17	17,7	Terbaca
		FINISH	18	10,4	Terbaca
		TO_PICKUP	16	15,4	Terbaca
3	Kode QR Code persimpangan	TO_ROOM_A	18	18,6	Terbaca
		TO_ROOM_B	17	8,4	Terbaca
		TO_ROOM_C	15	20,1	Terbaca
		LEFT	20	27,7	Terbaca
4	Kode QR Code arah	RIGHT	18	16,1	Terbaca
		FORWARD	28	3,70	Terbaca

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian: (1) Sistem navigasi robot menggunakan *QR Code* berhasil dirancang dan

diimplementasikan secara fungsional. (2) Metode *Fuzzy Logic* berhasil diterapkan sebagai pengendali arah dan kecepatan, meskipun kestabilan jalur masih perlu disempurnakan akibat faktor mekanis. (3) Mekanisme forklift mini berhasil direalisasikan namun masih terbatas torsi dalam mengangkat beban secara stabil.

Saran

(1) Tingkatkan algoritma pengolahan citra untuk navigasi lebih akurat. (2) Sempurnakan parameter dan fungsi keanggotaan *Fuzzy Logic*. (3) Gunakan aktuator bertorsi lebih besar untuk mekanisme forklift. (4) Tingkatkan spesifikasi komponen penggerak robot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, Bapak Dr. H. Widodo P.S., S.T., M.T., MCE. selaku Direktur Polnep, Bapak Hasan, S.T., M.T. selaku Kajur Teknik Elektro, Bapak Agus Riyanto, S.T., M.T. selaku Koordinator Prodi TRSE, Bapak Medi Yuwono Tharam, S.T., M.T. dan Bapak Eko Mardianto, S.ST., M.T. selaku dosen pembimbing, Prof. Dr. Ardi Marwan, S.Pd., M.Ed. dan Mariana Syamsudin, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji, serta seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Polnep.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, M. S. (2018). *Logika Fuzzy: Teori dan Aplikasi*. <https://agung73.com>
- AI-Thinker. (n.d.). *ESP32-CAM Documentation*. <https://docs.ai-thinker.com/en/esp32-cam>
- Bach, S. H., Khoi, P. B., & Yi, S. Y. (2023). Application of QR code for localization and navigation of indoor mobile robot. *IEEE Access*, 11, 28384–28390. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250253>
- Digiware Store. (n.d.). *Arduino Mega 2560 Pro Mini*. <https://digiwarestore.com>
- Harjum, L. B., Safli, M. F., Sudarsono, & Barata, L. O. A. (2022). Analisa K3 pada pengoperasian forklift di PT. Equiport Inti Indonesia. *PISTON: Jurnal Teknologi*, 7(2), 7–15.
- Hilmy, R., Rusdinar, A., & Cahyadi, W. A. (2020). Penerapan sensor vision pada sistem navigasi fuzzy logic untuk AGV. *e-Proceeding of Engineering*, 7(3), 8679–8684.
- Li, H., & Xiong, T. (2024). Robot location method based on QR code. *IEEE Access*, 12, 67046–67051.
- Nisa, W., Midyanti, D. M., Triyanto, D., & Nirmala, I. (2022). Implementation of Mamdani fuzzy logic on obstacle avoidance robots. *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, 7(2). <https://doi.org/10.24114/cess.v7i2.36300>
- Riman, C. F., & Abi-Char, P. E. (2023). Fuzzy logic control for mobile robot navigation. *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, 12(5), 313–323