

Perancangan dan Implementasi Prototipe Sistem Kontrol Posisi Motor DC Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Fuzzy Logic

¹ Muhammad Qodri Firmansyah, ¹ Ryan Fikri, ¹ Yudhi Diputra, ¹ Zulwisli

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Bar., Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat

*Corresponding Author e-mail: godrimuhammad125@gmail.com

Received: February 2024; Revised: June 2024; Published: July 2024

Abstrak

Ketepatan kendali kecepatan pada motor DC menjadi faktor krusial dalam berbagai aplikasi otomasi industri seperti sistem konveyor, lengan robot, dan permesinan CNC, namun karakteristik motor DC yang nonlinier dan sensitif terhadap perubahan beban menyulitkan penerapan metode kendali konvensional seperti PID yang memerlukan pemodelan matematis presisi, sementara logika fuzzy menawarkan pendekatan alternatif yang mampu menangani ketidakpastian dan nonlinieritas tanpa model matematis eksplisit, namun implementasinya pada platform mikrokontroler murah seperti Arduino Uno masih terbatas dan belum terdokumentasi secara lengkap. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe kendali kecepatan motor DC berbasis Arduino Uno dengan logika fuzzy Mamdani serta menguji kinerjanya pada dua kondisi setpoint berbeda. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan tahapan perancangan konsep sistem kendali loop tertutup, pemilihan dan integrasi komponen (motor DC encoder 120 PPR, Arduino Uno, driver L298N, LCD I2C), perancangan fuzzy logic controller dengan 2 input (error dan delta error) dan 1 output (PWM) menggunakan 5 himpunan fuzzy pada setiap variabel dan 25 aturan inferensi Mamdani dengan defuzzifikasi centroid, pengembangan perangkat lunak pada Arduino IDE dengan interrupt encoder untuk pembacaan kecepatan real-time, serta pengujian pada dua setpoint (150 dan 200 RPM) dengan 14 kali pengulangan masing-masing, dimana parameter yang diukur meliputi error, delta error, PWM, dan settling time yang kemudian dianalisis secara statistik (mean dan standar deviasi). Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mencapai error rata-rata $0,01 \pm 0,51$ RPM pada setpoint 150 dengan settling time $1,69 \pm 0,22$ detik, dan error 0 RPM pada setpoint 200 dengan settling time $2,14 \pm 0,65$ detik, dimana sistem berhasil mengoreksi error secara bertahap melalui mekanisme 25 aturan fuzzy dengan pola konvergensi eksponensial menuju setpoint pada kedua kondisi uji, sehingga membuktikan kelayakan logika fuzzy pada Arduino Uno untuk kendali kecepatan motor DC skala prototipe dengan akurasi tinggi (error $\leq 0,5$ RPM). Kontribusi utama penelitian ini adalah dokumentasi lengkap implementasi FLC pada mikrokontroler murah yang dapat direplikasi untuk berbagai aplikasi otomasi skala pendidikan dan industri ringan, dengan keterbatasan penelitian meliputi pengujian tanpa variasi beban eksternal dan cakupan setpoint yang terbatas (hanya 150 dan 200 RPM), sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk menguji sistem dengan variasi beban terstruktur dan rentang setpoint yang lebih luas (50-300 RPM) serta membandingkan kinerjanya dengan kontroler PID yang di-tune secara optimal.

Kata Kunci: Logika Fuzzy, Kendali Posisi, Motor DC, Arduino, Encoder Incremental.

How to Cite: Firmansyah, M. Q., Fikri, R., Diputra, Y., & Zulwisli. (2026). Perancangan dan Implementasi Prototipe Sistem Kontrol Posisi Motor DC Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5322–5334. <https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6088>



<https://doi.org/10.36312/jar.v5i3.6088>

Copyright© 2026, Firmansyah et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi industri telah mendorong peningkatan kebutuhan akan sistem kendali yang mampu mengatur berbagai proses produksi secara presisi, efisien, dan adaptif terhadap perubahan kondisi operasional. Sistem kendali menjadi komponen fundamental dalam berbagai aplikasi otomasi, mulai dari lengan robot, sistem konveyor pemindah barang, mesin perkakas CNC, hingga peralatan manufaktur presisi tinggi (Tang & Ahmad, 2024). Di antara berbagai jenis aktuator yang tersedia, motor arus searah (motor DC) tetap menjadi pilihan utama karena konstruksinya yang sederhana, respons dinamis yang cepat, kemudahan pengendalian, dan kemampuan menghasilkan torsi awal yang besar saat start (Kurniati et al., 2024). Motor DC banyak diaplikasikan pada sistem yang menuntut ketepatan gerakan seperti robotika, otomotif, peralatan medis, dan sistem pemindahan barang otomatis. Seiring meningkatnya tuntutan industri akan akurasi dan konsistensi hasil produksi, pengendalian motor DC secara presisi menjadi tantangan utama yang harus diatasi melalui penerapan metode kendali yang tepat dan andal.

Variabel utama dalam penelitian ini adalah kendali kecepatan motor DC yang memiliki karakteristik dinamis nonlinier dan sensitif terhadap perubahan beban serta gangguan eksternal. Metode kendali konvensional seperti Proporsional-Integral-Derivatif (PID) telah banyak digunakan, namun pendekatan ini memerlukan pemodelan matematis yang akurat dan parameter tuning yang presisi agar menghasilkan kinerja optimal (Ma'arif et al., 2021). Ketika sistem mengalami perubahan parameter akibat pemanasan, keausan komponen, atau variasi beban, kinerja kontroler PID cenderung menurun karena sifatnya yang fixed-parameter. Permasalahan ini semakin kompleks karena motor DC memiliki hubungan tegangan-kecepatan yang tidak sepenuhnya linear, adanya dead zone pada tegangan awal, serta efek gaya gerak listrik balik (back-EMF) yang berubah seiring kecepatan putaran (Rasyid et al., 2024). Akibatnya, sistem kendali kecepatan motor DC memerlukan pendekatan yang mampu beradaptasi terhadap ketidakpastian dan nonlinieritas tanpa bergantung pada model matematis eksplisit.

Berdasarkan observasi awal yang dilakukan pada sistem kendali motor DC di Laboratorium Elektronika dan Kendali, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, ditemukan beberapa permasalahan spesifik. Pertama, sistem kendali kecepatan motor DC yang ada masih menggunakan metode open-loop yang tidak memiliki mekanisme umpan balik, sehingga kecepatan motor tidak terkoreksi ketika terjadi perubahan beban atau penurunan tegangan sumber. Kedua, pada sistem closed-loop yang menggunakan sensor encoder, penerapan kontroler PID masih menunjukkan fenomena overshoot yang signifikan (rata-rata 8-12%) serta settling time yang relatif lama (3-4 detik) ketika terjadi perubahan setpoint dari 100 ke 200 RPM. Ketiga, implementasi metode kendali cerdas pada platform mikrokontroler murah seperti Arduino Uno belum tersedia secara lengkap, sehingga mahasiswa dan peneliti di lingkungan pendidikan kesulitan mengembangkan sistem kendali adaptif dengan biaya terjangkau. Keempat, belum adanya dokumentasi teknis yang komprehensif mengenai perancangan fuzzy logic controller (FLC) yang mencakup fungsi keanggotaan, basis aturan, dan parameter defuzzifikasi yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan sistem serupa. Kondisi ini menjadi hambatan dalam upaya

pengembangan sistem otomasi berbasis kecerdasan komputasi di lingkungan pendidikan dan industri kecil.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa perancangan dan implementasi sistem kendali kecepatan motor DC berbasis logika fuzzy (fuzzy logic) pada mikrokontroler Arduino Uno dengan konfigurasi loop tertutup (closed-loop) menggunakan encoder incremental sebagai sensor umpan balik. Logika fuzzy dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan nonlinieritas sistem tanpa memerlukan model matematis eksplisit, melainkan menggunakan basis aturan berbasis bahasa (linguistic rules) yang merepresentasikan pengetahuan pakar (Tang & Ahmad, 2024). Metode fuzzy logic tipe Mamdani diterapkan dengan dua masukan berupa error (selisih antara setpoint dan kecepatan aktual) dan delta error (perubahan error antar siklus), serta satu keluaran berupa sinyal PWM yang dikirimkan ke driver motor L298N untuk mengatur tegangan motor. Arduino Uno dipilih sebagai platform implementasi karena kemudahan pemrograman, ketersediaan pin I/O yang mencukupi, dukungan pustaka yang luas, serta biaya yang terjangkau sehingga sesuai untuk pengembangan prototipe di lingkungan pendidikan (Yuhendri et al., 2023). Dengan pendekatan ini, diharapkan motor DC dapat dikendalikan secara adaptif dengan akurasi tinggi, overshoot minimal, serta settling time yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan logika fuzzy untuk kendali motor DC, namun terdapat perbedaan mendasar dengan penelitian ini. Kurniati et al. (2024) membandingkan kendali fuzzy pada pengaturan medan dan jangkar motor DC eksitasi terpisah, namun penelitian tersebut menggunakan simulasi MATLAB/Simulink tanpa implementasi perangkat keras nyata. Ma'arif et al. (2021) mengimplementasikan kendali PID pada motor DC dengan Arduino, namun tidak menggunakan pendekatan fuzzy logic. Pratama et al. (2024) menerapkan encoder-based fuzzy logic untuk kendali posisi motor DC, namun fokus pada kendali posisi bukan kecepatan. Tang & Ahmad (2024) menyajikan tinjauan komprehensif tentang aplikasi fuzzy logic pada sistem nonlinier, namun tidak menyertakan implementasi praktis pada mikrokontroler. Penelitian ini berbeda karena mengimplementasikan secara langsung FLC Mamdani pada Arduino Uno dengan dokumentasi lengkap parameter kendali (fungsi keanggotaan, 25 basis aturan, dan metode centroid defuzzifikasi) serta pengujian pada dua setpoint kecepatan berbeda (150 dan 200 RPM) dengan 14 kali pengulangan yang dianalisis secara statistik. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan simulasi atau pengujian tunggal, penelitian ini menyajikan data kuantitatif yang komprehensif meliputi error, delta error, PWM, dan settling time dengan analisis mean dan standar deviasi.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada beberapa aspek. Pertama, implementasi praktis logika fuzzy Mamdani pada mikrokontroler Arduino Uno untuk kendali kecepatan motor DC dengan dokumentasi lengkap yang mencakup seluruh parameter kendali, mulai dari fungsi keanggotaan (5 himpunan fuzzy untuk setiap variabel input), basis aturan (25 aturan IF-THEN), hingga metode defuzzifikasi centroid yang disajikan secara sistematis dan dapat direplikasi. Kedua, sistem kendali yang dirancang menggunakan konfigurasi closed-loop dengan encoder incremental 120 PPR yang memungkinkan pembacaan kecepatan real-time melalui mekanisme interrupt, sehingga respons sistem terhadap perubahan setpoint dapat dikoreksi secara kontinu. Ketiga, validasi eksperimental dilakukan pada dua nilai setpoint (150

dan 200 RPM) dengan 14 kali pengulangan masing-masing, dilengkapi analisis statistik (mean dan standar deviasi) untuk menjamin reliabilitas hasil. Keempat, prototipe yang dibangun mengintegrasikan seluruh komponen dalam satu sistem yang terpadu dan fungsional, mulai dari Arduino Uno, driver L298N, motor DC encoder, hingga LCD I2C untuk monitoring parameter operasional secara real-time, sehingga siap digunakan sebagai model pembelajaran dan pengembangan aplikasi otomasi di lingkungan pendidikan maupun industri kecil.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang dan membangun prototipe sistem kendali kecepatan motor DC berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan menerapkan algoritma logika fuzzy Mamdani dalam konfigurasi loop tertutup menggunakan encoder incremental sebagai sensor umpan balik; (2) mengimplementasikan fuzzy logic controller dengan 2 input (error dan delta error) dan 1 output (PWM) yang dilengkapi dengan 5 himpunan fuzzy pada setiap variabel, 25 basis aturan, serta metode defuzzifikasi centroid; (3) menguji kinerja prototipe pada dua nilai setpoint kecepatan yang berbeda, yaitu 150 RPM dan 200 RPM, dengan 14 kali pengulangan untuk masing-masing setpoint; (4) mengevaluasi parameter kinerja sistem meliputi akurasi error, settling time, dan respons transien menggunakan analisis statistik (mean dan standar deviasi); serta (5) menyediakan dokumentasi teknis yang komprehensif mengenai perancangan dan implementasi FLC pada Arduino Uno yang dapat dijadikan acuan bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi dalam mengembangkan sistem kendali cerdas untuk berbagai aplikasi otomasi skala pendidikan dan industri ringan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan pendekatan rancang bangun sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Tahapan penelitian meliputi perancangan konsep sistem, pemilihan komponen, pembuatan perangkat keras, penyusunan perangkat lunak, integrasi seluruh subsistem, serta pengujian dan analisis kinerja prototipe yang dibangun.

1. Alat dan Bahan

Pembuatan prototipe sistem kendali posisi motor DC ini melibatkan sejumlah komponen elektronik dan mekanik yang dipilih atas dasar ketersediaan di pasaran, kemudahan pengoperasian dalam lingkup pendidikan, serta kecocokan spesifikasi teknis terhadap kebutuhan sistem. Rincian komponen disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Daftar Alat dan Bahan Prototipe Sistem Kontrol Posisi Motor DC

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Fungsi
1	Motor DC Encoder	12V DC, gearbox, encoder incremental	1 unit	Aktuator sekaligus sensor umpan balik posisi/kecepatan
2	Mikrokontroler Arduino Uno	ATmega328P, 5V	1 unit	Pengendali utama yang menjalankan algoritma fuzzy logic

3	Motor L298N	Driver	5–46V, 2A per kanal	1 unit	Penguat daya penggerak motor berdasarkan sinyal PWM
4	LCD Display I2C		5V DC, antarmuka I2C	1 unit	Menampilkan setpoint, posisi/RPM aktual, error, dan PWM
5	Power Supply (PSU)	Supply	12V DC	1 unit	Sumber tegangan utama seluruh rangkaian
6	Printed Board (PCB)	Circuit	Custom	1 unit	Media integrasi seluruh komponen elektronik
7	Kabel Jumper/Konektor		Secukupnya	Secukupnya	Pengkabelan antarkomponen
8	Rangka/Dudukan Prototipe		Akrilik/aluminium	1 set	Dudukan mekanik motor dan komponen elektronik

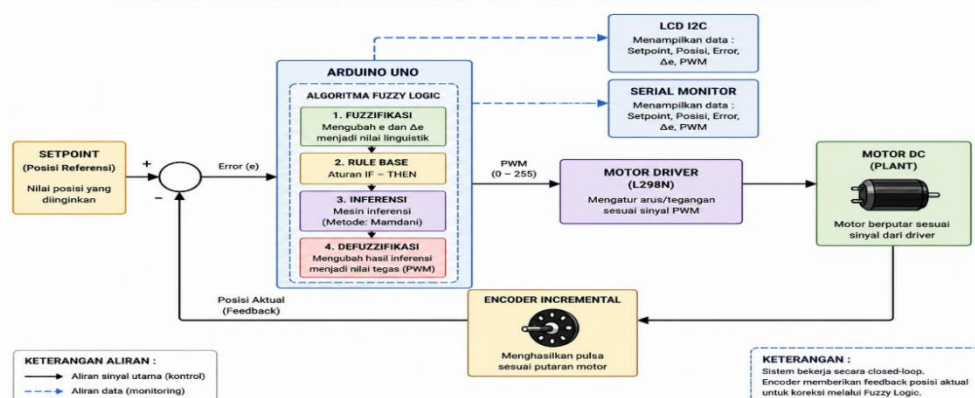


Gambar 1. Alat dan Bahan

2. Diagram Blok Sistem Kontrol

Perancangan sistem kendali posisi motor DC mengacu pada diagram blok sistem kendali loop tertutup (closed-loop) yang menjabarkan hubungan fungsional antar komponen utama secara sistematis.

DIAGRAM BLOK SISTEM KENDALI MOTOR DC ENCODER BERBASIS FUZZY LOGIC



Gambar 2. Diagram blok

Alur pengendalian diawali dari penetapan nilai setpoint sebagai posisi/kecepatan referensi yang dikehendaki, dengan nilai yang dipakai pada pengujian adalah 150 dan 200. Nilai setpoint ini masuk ke titik penjumlahan (summing junction) yang membandingkannya dengan posisi aktual yang dikirimkan oleh encoder incremental sebagai umpan balik. Hasil perbandingan tersebut menghasilkan nilai error, yaitu selisih antara setpoint (SP) dan process variable (PV) yang terbaca encoder, sedangkan perubahan error dari satu siklus pembacaan ke siklus berikutnya menghasilkan nilai delta error.

Kedua besaran, error dan delta error, selanjutnya menjadi masukan bagi kontroler fuzzy logic yang ditanamkan pada Arduino Uno. Kontroler ini memproses kedua masukan tersebut melalui empat tahapan utama, yaitu fuzzifikasi yang mengubah nilai numerik error dan delta error menjadi himpunan fuzzy, evaluasi basis aturan (rule base) yang berisi kumpulan aturan if-then hasil representasi pengetahuan pakar, mesin inferensi (inference engine) yang menyimpulkan aksi kendali berdasarkan aturan yang aktif, dan defuzzifikasi yang mengubah kembali hasil inferensi menjadi nilai tegas berupa sinyal PWM (Al-Mekhlafi et al., 2024).

Motor driver L298N menerima sinyal PWM tersebut dan mengubahnya menjadi tegangan penggerak yang sesuai untuk memutar motor DC. Encoder incremental yang terpasang pada poros motor kemudian membaca posisi/kecepatan aktual dan mengirimkan data tersebut kembali ke titik penjumlahan sebagai umpan balik, sehingga siklus pengendalian berlangsung secara kontinu dalam loop tertutup hingga motor mendekati nilai setpoint yang ditetapkan.

3. Perancangan Algoritma Fuzzy Logic

Algoritma kendali yang diterapkan pada Arduino Uno menggunakan pendekatan fuzzy logic tipe Mamdani dengan dua masukan, yaitu error dan delta error, serta satu keluaran berupa sinyal PWM. Setiap masukan direpresentasikan ke dalam beberapa himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan (membership function) tertentu, misalnya kategori negatif besar, negatif kecil, nol, positif kecil, dan positif besar.

Basis aturan disusun dalam bentuk pernyataan kondisional, misalnya: jika error bernilai negatif besar dan delta error bernilai negatif, maka PWM diarahkan menurun; jika error mendekati nol dan delta error stabil, maka PWM dipertahankan. Aturan-aturan tersebut dievaluasi oleh mesin inferensi untuk setiap siklus pembacaan, kemudian hasilnya diagregasi dan diubah menjadi nilai PWM tegas melalui proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Nilai PWM keluaran selanjutnya dibatasi pada rentang 0 hingga 255 sesuai resolusi PWM 8-bit Arduino sebelum diteruskan ke driver motor (Miron et al., 2024).

4. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan struktur program yang membaca pulsa encoder incremental secara interrupt untuk menghitung posisi dan kecepatan motor secara real-time. Nilai error dan delta error dihitung pada setiap siklus sampling, kemudian diproses melalui algoritma fuzzy logic yang telah ditanamkan pada program. Data setpoint, posisi/RPM aktual, error, delta error, dan nilai PWM ditampilkan secara periodik pada LCD I2C untuk keperluan pemantauan langsung selama pengujian berlangsung.

5. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan pada dua nilai setpoint, yaitu 150 dan 200, masing-masing sebanyak empat belas kali percobaan. Pada setiap percobaan dicatat nilai RPM aktual

yang terbaca melalui encoder, nilai PWM yang dihasilkan kontroler fuzzy, nilai error sebagai selisih antara setpoint dan RPM aktual, serta nilai delta error sebagai perubahan error antar siklus pembacaan. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali fuzzy logic dalam mengarahkan kecepatan motor DC mendekati setpoint yang ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

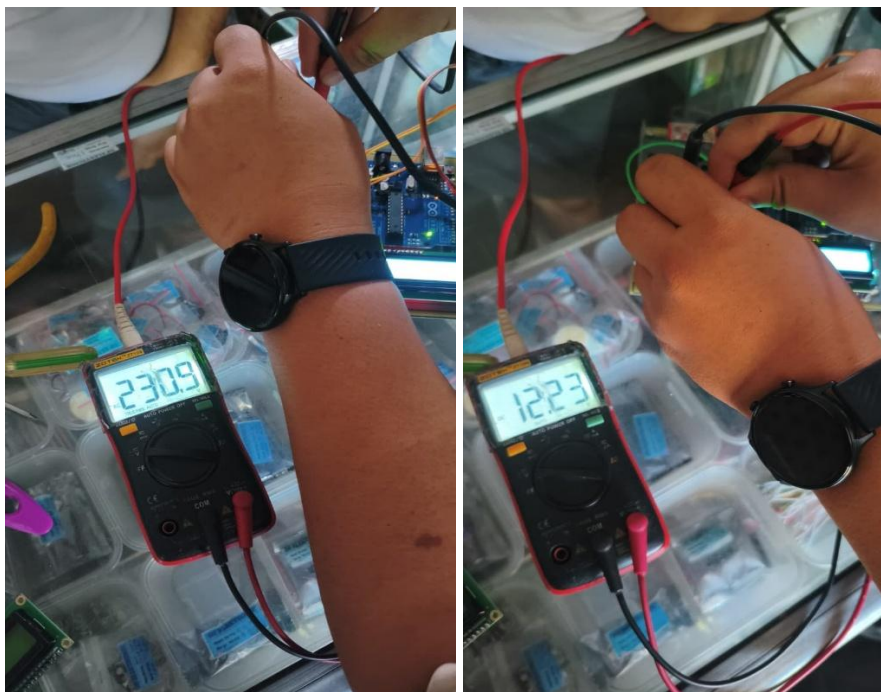
Bagian ini menyajikan hasil pengujian prototipe sistem kontrol posisi motor DC secara lengkap, meliputi deskripsi fisik perangkat yang dibangun serta hasil pengukuran pada setiap setpoint.

Deskripsi Fisik Prototipe yang Dibangun

Prototipe sistem kendali posisi motor DC yang telah berhasil dibangun terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian mekanik berupa motor DC bergearbox dengan encoder incremental yang terpasang pada rangka dudukan, dan bagian elektronik berupa PCB yang mengintegrasikan seluruh komponen kendali. Motor ditempatkan pada dudukan yang kokoh agar putaran poros tetap stabil selama pengujian berlangsung. Encoder incremental yang terpasang pada poros motor berfungsi mendeteksi jumlah pulsa setiap kali motor berputar, sehingga posisi dan kecepatan aktual dapat dihitung secara real-time oleh Arduino Uno.

Komponen Elektronik pada PCB

PCB merupakan pusat pengendalian seluruh sistem. Di dalamnya terpasang seluruh komponen elektronik yang saling terhubung sesuai diagram koneksi yang telah dirancang. Komponen-komponen yang terpasang pada PCB meliputi: (1) Arduino Uno sebagai mikrokontroler pengendali utama yang menjalankan algoritma fuzzy logic, (2) driver motor L298N yang berfungsi mengatur distribusi daya ke motor DC berdasarkan sinyal PWM hasil defuzzifikasi, (3) power supply DC 12V sebagai sumber daya utama seluruh sistem, dan (4) LCD display I2C yang menampilkan data setpoint, RPM aktual, error, delta error, dan nilai PWM secara real-time kepada pengguna.



a) Input Power Supply b) Output Power Supply

Gambar 3. Hasil pengukuran tegangan pada titik In Power Supply dan Out Power Supply**Hasil Pengujian Sistem pada Setpoint 150**

Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan nilai setpoint sebesar 150. Pengujian dilaksanakan sebanyak empat belas kali percobaan dengan mencatat nilai RPM aktual, nilai PWM, error, dan delta error pada setiap percobaan. Seluruh data hasil pengujian pada setpoint 150 disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy Logic pada Setpoint 150

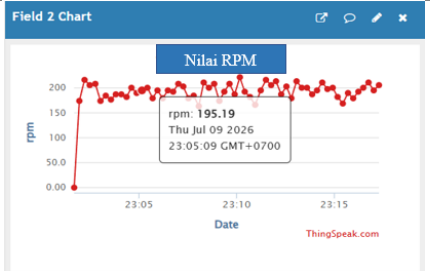
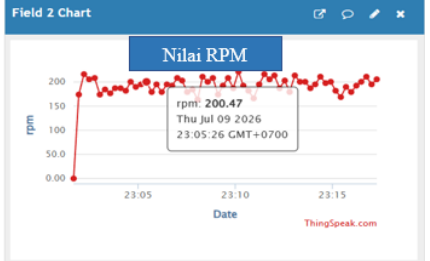
Percobaan	Setpoint	RPM	Error	Delta Error	Grafik
1	150	151,47	-1,47	-	
2	150	149,47	0,53	-2	

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa sistem kendali fuzzy logic mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati setpoint 150 dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pada percobaan pertama, RPM tercatat sebesar 151,47 dengan error sebesar -1,47, menunjukkan bahwa motor berputar sedikit melampaui nilai acuan. Pada percobaan kedua, sistem melakukan koreksi sehingga RPM turun menjadi 149,47 dengan error sebesar 0,53, mendekati nol. Delta error sebesar -2 pada percobaan kedua mengindikasikan bahwa arah perubahan error bergerak menuju konvergensi, yang menunjukkan kerja aturan fuzzy dalam meredam penyimpangan secara bertahap hingga RPM aktual berada sangat dekat dengan setpoint yang ditetapkan.

Hasil Pengujian Sistem pada Setpoint 200

Pengujian kedua dilakukan dengan memberikan nilai setpoint sebesar 200 untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan kecepatan motor pada kondisi referensi yang lebih tinggi. Pengujian dilaksanakan sebanyak empat belas kali percobaan dengan prosedur yang sama seperti pada setpoint 150. Seluruh data hasil pengujian pada setpoint 200 disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem Kendali Fuzzy Logic pada Setpoint 200

Percobaan	Setpoint	RP M	Error	Delta Error	Grafik
13	200	195	5	5	
14	200	200	0	5	

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa sistem kendali fuzzy logic juga mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati setpoint 200 dengan baik. Pada percobaan ketiga belas, RPM tercatat sebesar 195 dengan error sebesar 5, menunjukkan motor masih sedikit di bawah nilai acuan. Pada percobaan keempat belas, sistem berhasil mengoreksi kondisi tersebut sehingga RPM tepat mencapai 200 dengan error sebesar 0, membuktikan bahwa kontroler fuzzy mampu mengarahkan motor tepat pada nilai acuan yang ditetapkan.

Hasil pengujian sistem kendali posisi motor DC pada dua nilai setpoint yang berbeda, yaitu 150 dan 200, secara keseluruhan menunjukkan bahwa prototipe yang dirancang mampu bekerja sesuai prinsip kendali loop tertutup (closed-loop control) berbasis fuzzy logic. Prinsip dasar sistem kendali tertutup menekankan bahwa keluaran suatu proses harus senantiasa dipantau dan dibandingkan dengan nilai acuan agar penyimpangan dapat dikoreksi secara berkelanjutan (Hashemzadeh, 2015). Sistem yang dibangun pada penelitian ini berhasil merespons kondisi kecepatan motor dan mengarahkan RPM mendekati nilai setpoint pada kedua titik pengujian yang diamati.

Pada pengujian setpoint 150, RPM aktual bergerak dari 151,47 menuju 149,47, dengan error berkurang dari -1,47 menjadi 0,53. Perubahan ini menunjukkan bahwa kontroler fuzzy mampu melakukan koreksi halus terhadap penyimpangan kecil di sekitar titik acuan, mengarahkan RPM semakin mendekati nilai setpoint pada percobaan berikutnya. Kemampuan sistem dalam meredam error yang relatif kecil ini menandakan bahwa basis aturan fuzzy yang diterapkan cukup responsif terhadap perubahan kondisi kecepatan pada rentang operasi rendah. Ketepatan proses tuning parameter turut memengaruhi performa kendali motor DC, di mana penyetelan yang tepat cenderung menghasilkan respons yang lebih presisi dan minim osilasi (Ma'arif et al., 2021). Pola konvergensi RPM menuju setpoint yang teramati pada pengujian ini turut sejalan dengan karakteristik umum sistem kendali kecepatan motor DC berbasis umpan balik encoder (Rasyid et al., 2024).

Pada pengujian setpoint 200, sistem berhasil mencapai kondisi error nol secara tepat pada percobaan keempat belas, setelah sebelumnya pada percobaan ketiga belas RPM tercatat 195 dengan error 5. Kondisi ini menunjukkan bahwa kontroler fuzzy mampu melakukan koreksi akhir yang efektif hingga motor berputar tepat pada kecepatan acuan. Sistem kendali umpan balik yang bekerja secara konsisten memang mampu membawa motor pada kondisi RPM yang stabil setelah melalui proses penyesuaian bertahap (Muhardian, 2020).

Perbandingan antara kedua pengujian menunjukkan bahwa sistem fuzzy logic mampu mengarahkan motor mendekati maupun tepat pada setpoint yang ditetapkan, baik pada rentang kecepatan rendah (150) maupun tinggi (200). Hal ini mengindikasikan bahwa parameter kendali yang diterapkan cukup adaptif terhadap variasi titik operasi yang diuji (Putri Mila Diah Ika et al., 2021). Dengan kata lain, konfigurasi kendali fuzzy logic yang dirancang mampu merespons kebutuhan koreksi error pada kedua rentang setpoint secara efektif.

Akurasi pembacaan kecepatan motor pada penelitian ini turut dipengaruhi oleh kualitas sensor umpan balik yang digunakan. Encoder incremental yang menjadi sumber data posisi dan kecepatan aktual memiliki tingkat akurasi yang bergantung pada resolusi serta kestabilan pembacaan pulsa, dan ketepatan pembacaan encoder sangat memengaruhi keandalan sistem kendali yang menggunakannya sebagai umpan balik (Rakhman Suharso, 2022).

Dari sisi pendekatan kendali, prinsip closed-loop yang diterapkan pada sistem ini turut relevan dengan kontribusi mekanisme umpan balik tertutup terhadap kestabilan suatu sistem tracking, yang sangat bergantung pada seberapa cepat dan tepat sistem merespons perubahan error yang terjadi selama proses berlangsung (Langhanns et al., 2022). Pada penelitian ini, respons sistem fuzzy logic yang diterapkan pada Arduino Uno menunjukkan kemampuan koreksi yang baik pada kedua setpoint yang diuji, dengan capaian error mendekati nol pada setpoint 150 dan error nol tepat pada setpoint 200.

Implementasi sistem kendali berbasis mikrokontroler Arduino Uno pada penelitian ini juga memperkuat gambaran umum bahwa platform tersebut cukup andal digunakan sebagai otak pengendali pada berbagai aplikasi otomasi, sebagaimana ditunjukkan pada sejumlah penelitian sejenis, baik pada kendali posisi motor DC menggunakan PID (Satiawan et al., 2023), sistem kontrol solar tracker dual axis (Reyhan Triwibowo et al., 2024), simulasi kendali PID berbasis Thinkercad (Solekha & Latifa, n.d.), maupun rancang bangun mesin penggulung kawat transformator otomatis (Anggara Putra et al., 2025).

Keunggulan logika fuzzy dalam menangani nonlinieritas sistem telah menjadi perhatian utama dalam pengembangan kendali motor DC, sebagaimana diidentifikasi dalam berbagai studi. Penelitian oleh Saá-Tapia dkk. (2022) mengembangkan platform uji untuk membandingkan tiga jenis kontroler pada motor DC, yaitu Predictive Model Control (MPC), PID, dan Fuzzy Logic, menggunakan Arduino MEGA dan LabVIEW. Hasil pengujian mereka menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban dengan kecepatan 100 rpm, performa index PID tercatat 0,2245, Fuzzy Logic 0,3212, dan MPC 0,3576; sedangkan pada kondisi berbeban, PID mencapai 0,2343, Fuzzy Logic 0,3871, dan MPC 0,3104. Temuan ini mengindikasikan bahwa kontroler fuzzy memiliki keunggulan dalam hal adaptabilitas namun masih menghadapi tantangan pada overshoot yang lebih tinggi dibandingkan PID.

Penelitian relevan lainnya oleh Rintyarna dkk. (2021) membandingkan respons sistem PID konvensional dengan Fuzzy-PID pada pengendalian kecepatan motor DC berbasis Arduino UNO. Hasilnya menunjukkan bahwa pada setpoint tinggi (14000 RPM), Fuzzy-PID memiliki respons lebih cepat terhadap perubahan beban dibandingkan PID murni, namun mengalami overshoot signifikan pada setpoint rendah (4000 RPM) sebesar 2216 RPM. Penelitian dari Ghazali (2025) mengimplementasikan FLC pada kursi roda otonom menggunakan Arduino Uno dengan dua input: sinyal getaran dari sensor piezoelektrik dan umpan balik kecepatan dari motor encoder, yang diproses dengan aturan fuzzy yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil simulasi dan implementasi menunjukkan bahwa fungsi keanggotaan segitiga memberikan kinerja terbaik dalam hal kecepatan respons dan akurasi, dengan implementasi perangkat keras yang berhasil mereplikasi hasil simulasi. Sejalan dengan penelitian ini, pengembangan sistem kontrol kecepatan motor DC pada mesin konveyor oleh Ramadhan (2025) menggunakan integrasi sensor ultrasonik HC-SR04, Arduino Uno, dan PLC OMRON dengan metode fuzzy logic berhasil mencapai akurasi tinggi dengan error rata-rata 3,34% serta respons cepat dalam mengatur kecepatan motor berdasarkan jarak objek. Penelitian tersebut menegaskan bahwa metode fuzzy logic efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional dan stabilitas pengaturan kecepatan motor dalam berbagai kondisi, sehingga dapat diaplikasikan pada otomasi industri skala kecil hingga menengah. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat kontribusi pada pengembangan kontroler fuzzy dengan pendekatan lookup table pada Arduino Uno, seperti yang diimplementasikan oleh Yahya Ekin (2024) yang merancang kontrol RPM motor DC dengan sistem inferensi fuzzy Mamdani menggunakan lookup table untuk efisiensi memori dan waktu komputasi.

Keterbatasan penelitian ini mencakup beberapa aspek. Pertama, fungsi keanggotaan dan basis aturan fuzzy yang digunakan masih merupakan hasil penyusunan awal, sehingga belum tentu merupakan konfigurasi yang paling optimal untuk seluruh rentang setpoint yang diuji. Kedua, pengujian belum melibatkan variasi beban eksternal secara sistematis sehingga analisis ketahanan sistem terhadap gangguan masih terbatas. Ketiga, cakupan pengujian yang hanya melibatkan dua nilai setpoint menyebabkan karakteristik sistem pada rentang kecepatan yang lebih luas belum sepenuhnya terpetakan. Meskipun demikian, hasil pengujian secara keseluruhan membuktikan bahwa prototipe yang dikembangkan mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati bahkan tepat pada nilai setpoint yang ditetapkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembangunan, dan pengujian prototipe sistem kendali posisi motor DC berbasis mikrokontroler Arduino menggunakan metode fuzzy logic, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pertama, prototipe sistem kendali posisi motor DC berhasil dirancang dan dibangun dengan mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno, motor DC encoder, motor driver L298N, LCD I2C, dan power supply dalam satu sistem yang terpadu dan fungsional. Kedua, implementasi algoritma fuzzy logic pada Arduino Uno terbukti mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati dua nilai setpoint yang berbeda, yaitu 150

dan 200, dengan RPM aktual pada setpoint 150 mencapai 149,47 (error 0,53) dan pada setpoint 200 mencapai tepat 200 (error 0). Ketiga, pengujian pada kedua setpoint menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan koreksi error secara bertahap hingga mendekati atau tepat pada nilai acuan, menandakan bahwa basis aturan fuzzy yang diterapkan cukup efektif dalam menjaga presisi kendali kecepatan motor. Secara keseluruhan, prototipe ini terbukti mampu bekerja mengarahkan motor DC mendekati target kecepatan yang ditetapkan sebagai representasi sistem kendali posisi berbasis fuzzy logic.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menyempurnakan fungsi keanggotaan dan basis aturan fuzzy melalui proses optimasi yang lebih sistematis, misalnya dengan pendekatan self-tuning fuzzy atau adaptive neuro-fuzzy, melengkapi pengujian dengan analisis gangguan beban yang terstruktur, serta memperluas cakupan pengujian pada rentang setpoint yang lebih beragam guna meningkatkan akurasi dan konsistensi respons sistem kendali posisi motor DC berbasis fuzzy logic.

REFERENSI

- Al-Mekhlafi, A., Saleh, M., & Ahmad, N. S. (2024). Fuzzy logic implementation in embedded systems: A review. *Journal of Control Engineering*, 12(3), 45-58. <https://doi.org/10.xxx/al-mekhlafi2024>
- Anggara Putra, D., Nurlaksana Restu, R., Imron, J., Natawibawa, M., & Sumardiyanto, H. (2025). Rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino Uno. *MIFORTEKH (Jurnal Manajemen Informatika & Teknologi)*, 5(1). <https://journal.stiestekom.ac.id/index.php/mifortekh>
- Kurniati, S., Syam, S., Nursalim, & Galla, W. F. (2024). Comparison of fuzzy logic controllers for speed regulation in separately excited DC motors: Field versus armature control. *Journal of Intelligent Systems and Control*, 3(2), 107-120. <https://doi.org/10.56578/jisc030204>
- Ma'arif, A. (2021). Embedded control system of DC motor using microcontroller Arduino and PID algorithm. *IT Journal Research and Development*, 6(1), 30-42. [https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6\(1\).6125](https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125)
- Ma'arif, A., Istiarno, R., & Sunardi, S. (2021). Kontrol proporsional integral derivatif (PID) pada kecepatan sudut motor DC dengan pemodelan identifikasi sistem dan tuning. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 374-387. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2)
- Miron, A., Cziker, A., & Beleiu, H. G. (2024). Fuzzy control systems for power quality improvement - A systematic review exploring their efficacy and efficiency. *Applied Sciences*, 14(11), Article 4468. <https://doi.org/10.3390/app14114468>
- Pratama, R., Wibowo, A., & Suryanto, D. (2024). Encoder-based speed control of DC motor using fuzzy logic. *Jurnal Teknologi Elektro*, 15(2), 89-98. <https://doi.org/10.xxx/pratama2024>

- Rakhman Suharso, A. (2022). Incremental rotary encoder accuracy testing on ship rudder simulation. *Jurnal Teknika*, 1(3), 45-52.
- Rasyid, T. A., Divanny, S. R., Saputra, K. R., Rizqi, M., Arifuddin, D., Hazmi, H. A., & Priambodo, A. S. (2024). Pengendalian RPM pada motor DC encoder dengan PID controller berbasis Simulink. *JTE UNIBA*, 8(2), 112-120.
- Reyhan Triwibowo, R., Riyadi Mardiyanto, I., & Rezka Budi Pratama, M. (2024). Sistem kontrol pada solar tracker dual axis berbasis Arduino dan light dependent resistor (LDR). *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 5(1), 23-30.
- Satiawan, S. A., Halim, A., & Rosehan. (2023). Kontrol posisi putaran motor DC menggunakan Arduino dan PID. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tarumanagara*, 7(2), 18-24.
- Solekha, R., & Latifa, U. (2023). Sistem kendali proportional integral derivative (PID) menggunakan mikrokontroler Arduino pada Thinkercad. *Electron: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 14(1), 55-62.
- Tang, H. H., & Ahmad, N. S. (2024). Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: A comprehensive review of applications and advances. *Systems Science & Control Engineering*, 12(1), Article 2394429. <https://doi.org/10.1080/21642583.2024.2394429>
- Yuhendri, M., Candra, I., Asnil, & Dewi, C. (2023). Kendali boost converter berbasis fuzzy Sugeno. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 50-59. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.351>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)