Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778

Perancangan Sistem Kendali Motor DC dengan Fuzzy Menggunakan Simulink Matlab

Author:
Bagus Dharmawan Hadi[1]
Rahajeng Kurnianingtyas[2]

Afiliation:
Politeknik Negeri Indramayu[1,2]

Corresponding email
bagusdharmawanhadi@polindra.ac.id

Histori Naskah:
Submit: 2025-04-15
Accepted: 2025-04-23
Published: 2025-04-23

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstrak:
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem kendali kecepatan motor DC menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) untuk meningkatkan respons dinamis dan kestabilan sistem. Motor DC memiliki karakteristik torsi awal yang tinggi dan kemudahan pengendalian, menjadikannya komponen vital dalam kendaraan listrik. Namun, sistem kendali konvensional seperti PID dan LQR-PID memiliki keterbatasan, seperti respon yang kaku dan rentan terhadap gangguan eksternal. Pada penelitian sebelumnya oleh Kurnianingtyas (2024), sistem LQR-PID menunjukkan waktu stabilisasi sekitar 2 detik. Sebagai perbandingan, dalam penelitian ini digunakan metode FLC yang dinilai lebih fleksibel dan adaptif terhadap kondisi sistem yang nonlinier. Tahapan penelitian meliputi pemodelan motor DC dalam bentuk state-space, konversi ke fungsi transfer, perancangan sistem kendali fuzzy, dan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Sistem fuzzy dirancang dengan 25 aturan IF-THEN dan dua input utama yaitu error dan delta error. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kendali yang dirancang memiliki waktu naik (*rise time*) sebesar 1,05 detik dan waktu tunak (*settling time*) sebesar 1,1 detik, lebih cepat dibandingkan pendekatan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa FLC memberikan performa yang lebih baik dalam mengatur kecepatan motor DC dengan *overshoot* yang minimal dan respon yang stabil. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem kendali motor DC yang lebih efisien dan adaptif. FLC memberikan alternatif dengan menggunakan aturan fuzzy untuk pengambilan keputusan, meningkatkan stabilitas, akurasi, dan respons dinamis dalam berbagai kondisi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui parameter kontrol yang optimal untuk motor DC dengan menggunakan FLC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rise time sekitar 1,05 detik dan settling time sekitar 1,1 detik. Simulasi yang dilakukan di Simulink Matlab menunjukkan bahwa FLC memungkinkan sistem mencapai titik yang diinginkan dengan overshoot minimal.

Kata kunci: Fuzzy Logic Controller, Motor DC, Optimalisai Kinerja, Simulink Matlab

Pendahuluan

Di Indonesia, perkembangan transportasi seperti motor, mobil, bus mulai beralih dari yang dulunya menggunakan energi minyak bumi sebagai bahan bakar utama menjadi energi listrik dari sebuah motor. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar minyak bumi yang berkontribusi lebih banyak dalam emisi gas buang yang dapat menyebabkan polusi dan pemanasan global (Kurnia & Sudarti, 2021). Dari isu yang mulai meresahkan ini, pergantian transportasi berbahan minyak menjadi energi listrik mulai digiatkan oleh pemerintah (Ehsani et al., 2018) (Liun, 2018). Wacana ini juga didukung dengan adanya teknologi baterai yang lebih baik sebagai tempat penyimpanan energi listrik (Hannan et al., 2018). Dengan teknologi baterai yang mendukung sebagai penyedia listrik DC, maka penggunaan motor DC sebagai penggerak utama dari kendaraan listrik, menggantikan kendaraan konvensional.

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778

Kemudian, motor DC membutuhkan sistem kendali yang dapat menjaga performa motor DC tetap optimal (Nise, 2020). Sistem kendali sudah banyak diterapkan pada industri maupun non-industri. Sistem pengendalian motor yang sering digunakan adalah sistem kendali PID (Suman & Giri, 2016) (Ma'arif et al., 2021). Sistem kendali PID ini memiliki kelemahan sehingga biasanya sistem kendali ini dikombinasikan dengan pengendali lain LQR-PID (Alwal et al., 2022) (Kurnianingtyas, 2024). Namun, LQR-PID ini tetap memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap gangguan dan respon yang cenderung kaku. Sistem kendali lain yang dapat mengendalikan kecepatan motor DC adalah sistem kendali fuzzy. Sistem kendali fuzzy memiliki kelebihan yaitu lebih fleksibel untuk diterapkan pada motor DC dengan karakteristik yang kompleks atau nonlinier dan memberikan respon kontrol yang lebih halus (Almatheel & Abdelrahman, 2017) (Ardiansyah et al., 2020).

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Kurnianingtyas (2024), model motor DC yang sama dikendalikan dengan sistem kendali LQR-PID. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa motor DC membutuhkan waktu sekitar 2 detik untuk mencapai keadaan stabil. Meskipun LQR-PID mampu mengendalikan sistem secara presisi, namun pendekatan tersebut cenderung memberikan respons yang kaku dan kurang adaptif terhadap perubahan kondisi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan sistem kendali berbasis Fuzzy Logic yang lebih fleksibel dan adaptif, dengan harapan dapat menghasilkan waktu respon yang lebih cepat dan kestabilan sistem yang lebih baik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk pendekatan baru yang mampu mengoptimalkan performa motor DC secara lebih efisien.

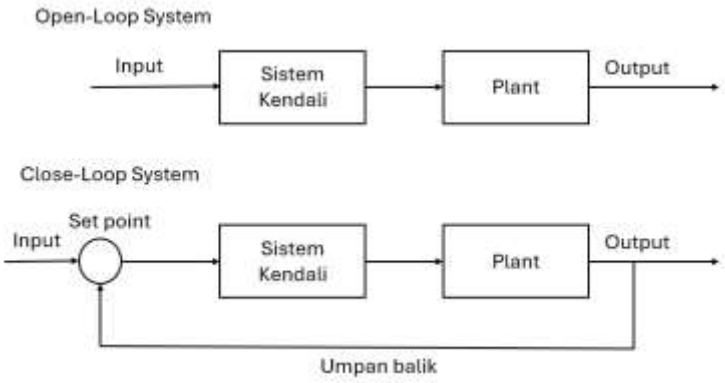
Dalam perancangan sistem pengendalian ini dibutuhkan perangkat lunak yang dapat melakukan simulasi kendali kecepatan motor DC menggunakan *Fuzzy Logic Controller* yaitu Simulink Matlab. Hal ini berguna untuk mengetahui respon sistem motor DC untuk mengikuti nilai yang ditentukan (*set point*) sehingga diperoleh nilai unjuk kerja yang optimal.

Studi Literatur

Motor DC adalah salah satu alat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik atau kinetik. Motor DC ini disuplai dari arus listrik searah seperti baterai berkapasitas besar seperti aki atau dengan mengubah arus listrik AC dari listrik PLN menjadi arus listrik DC. Keuntungan dari motor DC adalah perawatan yang lebih mudah dan nilai torsi awal yang cukup besar serta mudah untuk dikendalikan (Ibrahim et al., 2016). Dari nilai lebih ini yang menyebabkan motor DC banyak digunakan terutama pada bagian industri. Beberapa komponen dari motor DC adalah stator, rotor, kumparan rotor (*armature*) dan sikat (*brush*) (Yuski et al., 2017). Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan (*armature*) maka akan terjadi medan magnet yang berinteraksi dengan medan magnet pada stator. Hasil yang diberikan dari interaksi ini adalah gaya Lorentz yang membuat kumparan rotor berputar. Putaran rotor ini yang akan dimanfaatkan untuk menggerakan alat atau beban lainnya. Untuk mendapatkan nilai yang optimal dari putaran sebuah motor maka dibutuhkan sistem kendali yang baik.

Sistem kendali adalah sebuah mekanisme yang dirancang oleh manusia untuk mengatur atau mengarahkan sistem untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam kehidupan sehari-hari, sistem kendali banyak digunakan pada berbagai perangkat elektronik, mesin, dan proses industri untuk memastikan bahwa suatu proses berjalan sesuai dengan keinginan (Roni & Cekdin, 2020). Sistem kendali memungkinkan manusia untuk mengotomatisasi berbagai tugas yang sebelumnya memerlukan pengawasan manual, sehingga meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keandalan. Pada dasarnya, sistem kendali bekerja sesuai dengan nilai masukan (*input*), memproses nilai tersebut, dan menghasilkan nilai keluaran (*output*) yang sesuai (Setiawan, 2017).

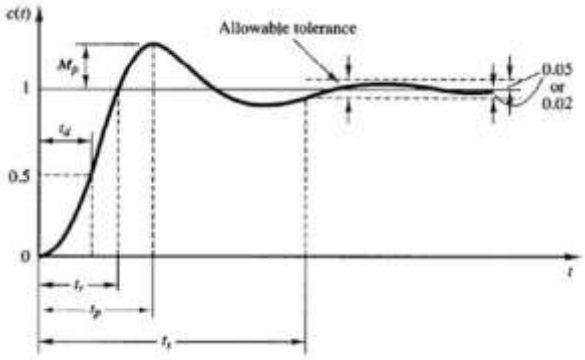
Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778



Gambar 1. Sistem kendali terbuka dan tertutup

Seperti yang kita ketahui, sistem kendali dibagi menjadi dua yaitu sistem kendali terbuka dan sistem kendali tertutup. Gambar 1 menunjukkan sistem kendali terbuka dan sistem kendali tertutup. Pada sistem kendali terbuka (*open-loop system*), sistem hanya dipengaruhi oleh nilai ketetapan (*set point*) yang diberikan. Sedangkan pada sistem kendali tertutup (*close-loop system*) terdapat umpan balik yang kembali ke input sebagai nilai koreksi.

Tujuan utama dari sistem pengendalian secara umum adalah untuk mendapatkan nilai yang optimal dari respon sistem yang diberikan dengan menggunakan sistem pengendali. Secara umum, karakteristik respon sistem dapat ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik sistem orde dua

Terdapat beberapa karakteristik pada sistem orde dua seperti waktu tunda (*delay time*), waktu naik (*rise time*), waktu puncak (*peak time*), waktu tunak (*settling time*) dan *eror steady state*. Pada sistem kendali tertutup membutuhkan algoritma, salah satunya adalah logika fuzzy.

Logika fuzzy adalah sebuah metode berdasarkan pada logika-logika manusia yang digunakan untuk menangani data yang tidak pasti atau tidak jelas (Rajagiri et al., 2019). Hal ini berbeda dengan biner yang memiliki nilai angka 0 dan 1 yang bersifat absolut menilai benar dan salah, logika fuzzy bekerja dengan data yang bersifat ambigu atau tidak presisi sehingga keputusannya tidak hanya berada pada benar atau salah tetapi juga di antaranya. Kendali logika fuzzy efektif dalam mengendalikan sistem nonlinier kompleks seperti motor DC ketika dikombinasikan dengan integral untuk menghilangkan eror steady state (Al Tahtawi et al., 2024).

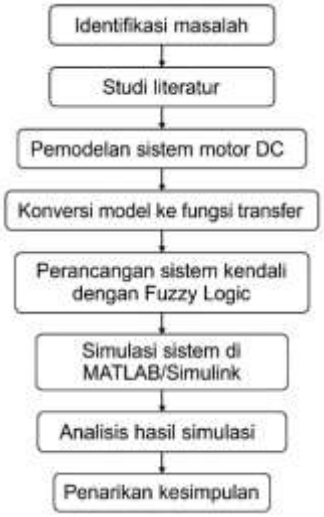
Tahapan pertama pada sistem fuzzy adalah Fuzzifikasi, pada tahap ini proses mengubah data input menjadi bentuk fuzzy dengan derajat keanggotaan tertentu. Kemudian pada tahap kedua adalah Inferensi Fuzzy, tahap ini terjadi proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan Fuzzy (IF – THEN) yang telah

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778

ditentukan. Tahapan terakhir dari logika fuzzy adalah Defuzzifikasi yaitu proses mengubah keluaran dari fuzzy menjadi bilangan numerik kembali sehingga dapat digunakan untuk melakukan kontrol pada sistem.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi untuk merancang sistem kendali kecepatan motor DC dengan menggunakan kendali logika fuzzy. Untuk memastikan bahwa proses penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terarah, maka disusunlah tahapan kegiatan dalam bentuk diagram alir (flowchart). Langkah awal dari penelitian adalah dengan identifikasi masalah dan studi literatur. Selanjutnya dilakukan pemodelan matematis dari motor DC menggunakan pendekatan ruang keadaan, kemudian dikonversi ke dalam bentuk fungsi transfer untuk mempermudah proses perancangan sistem kendali. Setelah model diperoleh, perancangan kendali dilakukan menggunakan metode Fuzzy Logic Controller (FLC), yang kemudian diuji melalui simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Hasil simulasi dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem kendali, dan dari analisis tersebut ditarik kesimpulan terhadap keberhasilan metode yang diterapkan. Berikut merupakan diagram alur dari keseluruhan proses penelitian.



Gambar 3. Flowchart penelitian

Berdasarkan data dari penelitian sebelumnya yang dilakukan, pemodelan dari motor DC yaitu MS150DC servo modular dapat dituliskan dalam bentuk matriks ruang keadaan (*state space*) sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix}\dot{\omega}\\ \dot{i}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-1/\tau_\omega & 0\\ 0 & -1/\tau_i\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\omega\\ i\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}K_\omega/\tau_\omega\\ K_i/\tau_i\end{bmatrix} V \qquad (1)$$

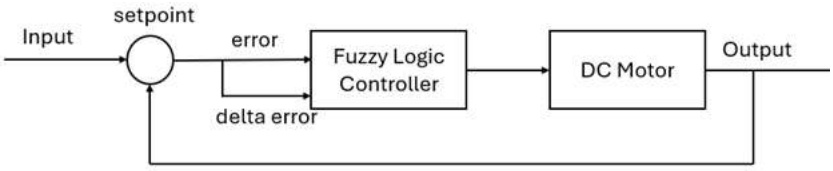
$$\begin{bmatrix}\dot{\omega}\\ \dot{i}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-1/5 & 0\\ 0 & -1/0.01\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\omega\\ i\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}2.8/5\\ 0.99/0.01\end{bmatrix} V \qquad (2)$$

Pada model motor DC yang telah diperoleh pada persamaan (2), maka selanjutnya adalah melakukan konversi dari persamaan ruang keadaan ke dalam fungsi transfer. Fungsi transfer adalah fungsi matematika yang memodelkan keluaran sistem pada setiap masukan. Persamaan yang dikonversi menjadi fungsi transfer adalah dalam bentuk numerator dan denumerator. Pengkonversian dilakukan untuk mempermudah perancangan sistem kendali. Fungsi transfer hanya melibatkan hubungan antara output dan inputnya sehingga analisis sistem lebih sederhana.

$$Fungsi\ transfer = \frac{numerator}{denumerator} = \frac{0.56s+56}{s^2+100.2s+20} \qquad (3)$$

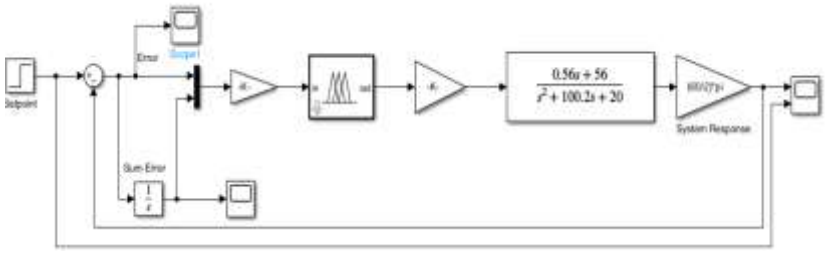
Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778

Setelah mengetahui fungsi transfer, selanjutnya adalah tahap perancangan sistem kendali dengan Fuzzy. Oleh karena itu, dibutuhkan blok diagram untuk membantu perancangan sistem kendali.



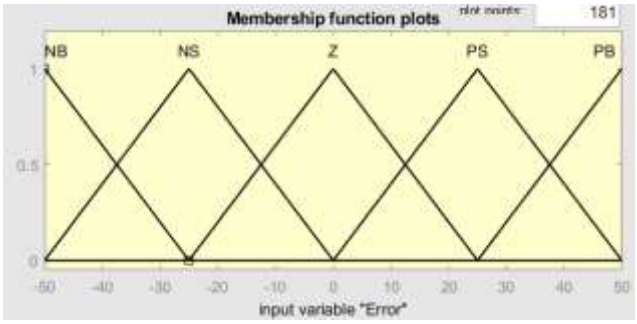
Gambar 4. Blok diagram sistem dengan *Fuzzy Logic Controller*

Dari gambar blok diagram tersebut merupakan diagram blok jenis tertutup atau dengan adanya umpan balik yang akan menjadi nilai koreksi terhadap nilai masukan. Kemudian perancangan pada Simulink adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Simulasi menggunakan Simulink

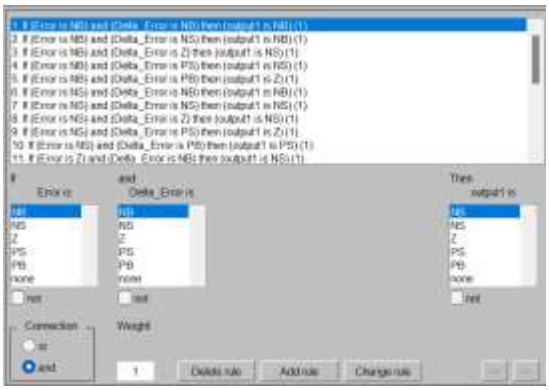
Sinyal step diberikan sebagai nilai masukan dan nilai yang keluar dari plant akan kembali ke *set point* sebagai koreksi. Selanjutnya nilai tersebut akan disebut sebagai *error* dan delta *error* yang akan diproses oleh sistem kendali fuzzy. Di dalam *Fuzzy Logic Controller* (FLC), nilai *error* dan delta *error* akan diproses menjadi nilai fuzzy atau yang disebut dengan fuzzifikasi.



Gambar 6. Penentuan fungsi keangggotaan

Nilai fungsi keanggotaan terdiri dari negatif besar (NB), negatif kecil (NS), nol (Z), positif kecil (PS) dan positif besar (PB). Setelah dilakukan pengaturan fungsi keanggotaan pada variabel *error* dan delta *error*, maka selanjutnya adalah penetapan aturan-aturan (IF-THEN). Aturan-aturan tersebut menentukan keputusan apa yang akan diambil untuk menghasilkan nilai keluaran dari pengendali. Nilai keluaran dari pengendali ini yang akan mempengaruhi nilai keluaran dari sistem motor DC yang dikendalikan untuk mencapai nilai optimal.

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778



Gambar 7. Penetapan aturan fuzzy (IF-THEN)

Jumlah aturan (IF-THEN) yang digunakan adalah sejumlah 25 aturan. Berikut adalah tabel aturan tersebut

Tabel 1. Aturan-aturan fuzzy

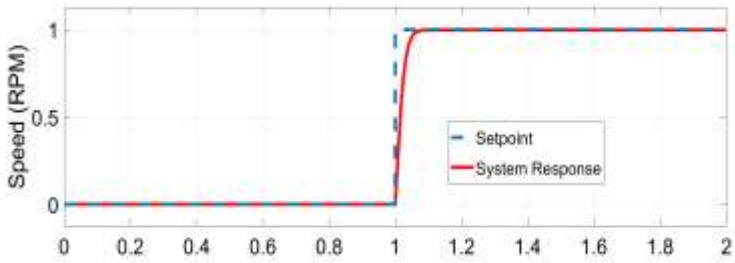
Aturan	Error	Delta Error	Nilai Keluaran
1	NB	NB	NB
2	NB	NS	NB
3	NB	Z	NS
4	NB	PS	NS
5	NB	PB	Z
6	NS	NB	NB
7	NS	NS	NS
8	NS	Z	NS
9	NS	PS	Z
10	NS	PB	PS
11	Z	NB	NS
12	Z	PB	PS
13	Z	Z	Z
14	Z	PS	Z
15	Z	PB	PS
16	PS	NB	NS
17	PS	NS	Z
18	PS	Z	PS
19	PS	PS	PS
20	PS	PB	PB
21	PB	NB	Z
22	PB	NS	PS
23	PB	Z	PS
24	PB	PS	PB
25	PB	PB	PB

Setelah aturan fuzzy dibuat, maka proses selanjutnya adalah Defuzzifikasi. Pada proses ini bilangan fuzzy diubah kembali menjadi bilangan numerik pada nilai output pada pengendali dengan tujuan untuk mengendalikan motor DC agar sesuai dengan nilai yang telah diatur atau diinginkan.

Hasil

Dengan adanya sistem kendali pada motor DC, tentunya kinerja dari pengoperasian motor DC diharapkan dapat mengikuti nilai yang ditentukan. Sistem kendali berbasis logika fuzzy berfungsi untuk memastikan bahwa kecepatan motor dapat dikendalikan sesuai dengan setpoint yang diinginkan, dengan mengacu pada aturan-aturan yang telah ditetapkan.

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 15, Number 01, April 2025
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v15i01.5778



Gambar 8. Grafik respon sistem dengan menggunakan FLC

Hasil simulasi menunjukkan bahwa respon dari sistem kendali menggunakan FLC dapat mengikuti nilai yang ditentukan. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai set point (*rise time*) adalah sebesar 1,05 detik dan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai keadaan stabil (*settling time*) atau memasuki *steady state* adalah sekitar 1,1 detik.

Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 8, sistem kendali berbasis FLC mampu mengikuti perubahan setpoint dengan cukup baik. Sistem menunjukkan waktu naik (*rise time*) sebesar 1,05 detik, yang menunjukkan kecepatan sistem dalam merespons perubahan setpoint. Selain itu, waktu tunak (*settling time*) yang dicapai adalah sekitar 1,1 detik, menandakan bahwa sistem dapat mencapai kondisi stabil dalam waktu yang singkat setelah terjadinya perubahan.

Dari hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali fuzzy pada motor DC memberikan hasil yang cukup baik dalam pengaturan kecepatan yaitu dengan nilai *overshoot* yang sangat kecil serta respon yang cepat dan stabil. Apabila hasil simulasi pada penelitian ini dibandingkan pada penelitian sebelumnya dengan LQR-PID, sistem kendali fuzzy dapat mendekati setpoint lebih cepat 1 detik dan lebih cepat stabil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali kecepatan motor DC menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) mampu memberikan performa yang cukup baik. Sistem kendali ini mengendalikan kecepatan motor DC agar dapat mengikuti nilai setpoint yang telah ditentukan, dengan respon yang cepat dan stabil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu naik (rise time) sebesar 1,05 detik dan waktu tunak (settling time) sebesar 1,1 detik, yang mengindikasikan kemampuan sistem untuk mencapai keadaan steady state dalam waktu singkat. Dengan pendekatan logika fuzzy, sistem mampu menghasilkan kontrol yang lebih halus, mengurangi *overshoot*, serta menjaga kestabilan sistem meskipun terdapat perubahan pada masukan.

Referensi

Al Tahtawi, A. R., Wijayanto, K., & Surya Putra, R. A. B. (2024). [kendali kecepatan; motor DC; fuzzy integral controller; error steady-state]. *2024*. https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2022.14313

Almatheel, Y. A., & Abdelrahman, A. (2017, 16-18 Jan. 2017). Speed control of DC motor using Fuzzy Logic Controller. 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE),

Alwal, L. A., Kihato, P. K., & Kamau, S. I. (2022). DC Servomotor-based Antenna Positioning Control System Design using PID and LQR Controller. Proceedings of the Sustainable Research and Innovation Conference,

Ardiansyah, M. A., Rakhmawati, R., Suharyanto, H. E. H., & Purwanto, E. (2020). Evaluasi performa fuzzy logic controller untuk mengatur kecepatan motor dc penguatan terpisah. *Energi & Kelistrikan*, *12*(2), 100-110.

Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press.

Hannan, M. A., Hoque, M. M., Hussain, A., Yusof, Y., & Ker, P. J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. *IEEE Access*, *6*, 19362-19378. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2817655

Ibrahim, A. W., Widodo, T. W., & Supardi, T. W. (2016). Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC. *IJEIS*, *6*(1), 93-104.

Kurnia, A., & Sudarti, S. (2021). Efek Rumah Kaca Oleh Kendaraan Bermotor. *Gravitasi*, *4*(02), 1-9.

Kurnianingtyas, R. (2024). PERANCANGAN MOTOR DC DENGAN SISTEM KENDALI LINEAR QUADRATIC REGULATOR MENGGUNAKAN SOFTWARE MATLAB. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, *9*(2), 128-133.

Liun, E. (2018). Dampak Peralihan Massal Transportasi Jalan Raya Ke Mobil Listrik. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, *19*(2), 113-122.

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.

Nise, N. S. (2020). *Control systems engineering*. John Wiley & Sons.

Rajagiri, A. K., Rani, S., & Nawaz, S. S. (2019). Speed control of DC motor using fuzzy logic controller by PCI 6221 with MATLAB. E3S Web of Conferences,

Roni, K. A., & Cekdin, C. (2020). *Sistem Kendali Proses Industri*. Penerbit Andi.

Setiawan, D. (2017). Sistem Kontrol Motor Dc Menggunakan Pwm Arduino Berbasis Android System. *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, *15*(1), 7-14.

Suman, S. K., & Giri, V. K. (2016). Speed control of DC motor using optimization techniques based PID Controller. 2016 IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH),

Yuski, M. N., Hadi, W., & Saleh, A. (2017). Rancang Bangun Jangkar Motor DC. *Yuski et al*, *2*, 98-103.