

Kendali Kecepatan Motor DC untuk Sistem Sirkulasi Air Berbasis Fuzzy Sugeno

Farda Mariam Al Jamilah^{1*)}, Arnisa Stefanie², Egi Sunardi³, Ulinnuha Latifa⁴, Sulthon Muakhor Arifin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang, Jalan HS.Ronggo Waluyo Karawang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: 2210631160037@student.unsika.ac.id

Received: 19/04/2026

Revised: 19/05/2026

Accepted: 19/05/2026

ABSTRAK

DC yang stabil agar kualitas air tetap terjaga. Perubahan beban akibat fluktuasi tekanan dan penyumbatan filter sering menyebabkan ketidakstabilan kecepatan motor. Kendali PID dengan metode Ziegler–Nichols cenderung menghasilkan overshoot yang tinggi dan respon yang kurang adaptif terhadap perubahan beban. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja kendali PID dan Fuzzy Logic metode Sugeno pada sistem pengaturan kecepatan motor DC, serta memberikan analisis karakteristik respon dari masing-masing metode kendali. Pemodelan motor dilakukan menggunakan fungsi alih, sedangkan kendali Fuzzy Sugeno dirancang berdasarkan variabel error dan delta error. Evaluasi dilakukan melalui simulasi respon waktu menggunakan perangkat lunak, sehingga hasil yang diperoleh terbatas pada studi simulasi dan belum merepresentasikan pengujian pada sistem nyata. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kendali PID menghasilkan overshoot sebesar 60,484% dan error steady-state $-0,587$. Sementara itu, kendali Fuzzy Sugeno memberikan rise time lebih cepat sebesar 480,331 ms tanpa overshoot serta respon yang lebih stabil. Namun, kendali Fuzzy Sugeno masih memiliki error steady-state sebesar 0,503 dan tidak menunjukkan keunggulan pada seluruh parameter yang diuji. Oleh karena itu, kendali Fuzzy Sugeno dapat menjadi alternatif yang cukup baik dalam meningkatkan performa sistem pada kondisi tertentu, meskipun masih memerlukan pengujian lebih lanjut pada implementasi nyata.

Kata Kunci: Motor DC, Kendali PID, Fuzzy Sugeno, Pompa Sirkulasi Air, Budidaya Perikanan

ABSTRACT

A stable DC motor maintains water quality. Load changes due to pressure fluctuations and filter clogging often cause motor speed instability. PID control with the Ziegler–Nichols method tends to produce high overshoot and less adaptive response to load changes. This study aims to compare the performance of PID and Fuzzy Logic Sugeno control on a DC motor speed control system, as well as to provide an analysis of the response characteristics of each control method. Motor modeling is carried out using a transfer function, while the Fuzzy Sugeno control is designed based on error variables and delta error. Evaluation is carried out through time response simulations using software, so the results obtained are limited to simulation studies and do not represent testing on a real system. The simulation results show that the PID control produces an overshoot of 60.484% and a steady-state error of -0.587 . Meanwhile, the Fuzzy Sugeno control provides a faster rise time of 480.331 ms without overshoot and a more stable response. However, the Fuzzy Sugeno control still has a steady-state error of 0.503 and does not show superiority in all tested parameters. Therefore, Sugeno Fuzzy control can be a good alternative in improving system performance under certain conditions, although it still requires further testing in real implementations.

Keywords: DC Motor, PID Control, Fuzzy Sugeno, Water Circulation Pump, Fishery Cultivation

1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan komponen penting dalam sistem otomasi budidaya perikanan karena berfungsi menggerakkan pompa sirkulasi dan filtrasi air [1]. Sistem sirkulasi yang baik sangat menentukan kualitas air, yang pada akhirnya berpengaruh langsung terhadap kesehatan dan produktivitas [2]. Kualitas air sangat bergantung pada aliran yang konstan untuk menjaga kadar oksigen terlarut, mencegah penumpukan limbah, serta menjaga distribusi nutrisi tetap merata di seluruh area tambak [3]. Aliran air yang tidak stabil

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan perairan, yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan kesehatan ikan [4]. Pompa air berbasis motor DC menjadi pilihan yang efisien dan hemat energi, sehingga cocok digunakan untuk operasional jangka panjang dalam menjaga aliran air tetap stabil dan mendukung lingkungan budidaya yang optimal [5].

Namun, dalam aplikasinya, motor DC sering menghadapi kendala berupa perubahan beban yang dinamis akibat penyumbatan filter, fluktuasi tekanan air, perubahan elevasi permukaan air, serta variabilitas debit yang terjadi selama proses budidaya [6]. Perubahan beban ini menyebabkan torsi yang dibutuhkan motor menjadi tidak stabil, sehingga kecepatan putaran pompa dapat menurun atau meningkat secara tiba-tiba. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu konsistensi aliran air dan menurunkan efektivitas proses sirkulasi maupun filtrasi [7]. Jika tidak dikendalikan dengan baik, ketidakstabilan ini dapat berakibat pada penurunan kualitas air secara keseluruhan dan meningkatkan risiko stres atau kematian pada ikan akibat oksigen terlarut yang tidak terpenuhi atau adanya akumulasi bahan organik [8].

Untuk menjaga kestabilan kinerja pompa, umumnya digunakan kendali konvensional seperti Proportional-Integral-Derivative (PID) [9], [10]. Namun, pada sistem dengan perubahan beban yang cepat dan bersifat nonlinier pengendali PID sering menghasilkan overshoot dan respon yang kurang adaptif, sehingga berpotensi mempercepat keausan komponen mekanik pompa dan menurunkan keandalan sistem [11], [12], [13]. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya metode pengendalian yang lebih fleksibel dan adaptif [14]. Pendekatan kendali cerdas berbasis Fuzzy Logic metode Sugeno mampu menyesuaikan sinyal kendali secara dinamis tanpa memerlukan model matematis yang kompleks, sehingga kecepatan motor DC dapat dijaga tetap stabil dan presisi meskipun terjadi perubahan beban [15], [16], [17].

Penelitian ini bertujuan menerapkan pengendali Fuzzy Sugeno pada sistem pengendalian kecepatan motor DC sebagai penggerak pompa sirkulasi dan filtrasi air. Diharapkan metode ini dapat menghasilkan respon yang lebih stabil, akurat, dan cepat dibandingkan dengan pengendali PID konvensional.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pemodelan Matematika Motor DC

Pemodelan matematika motor DC dilakukan untuk merepresentasikan perilaku dinamis motor terhadap sinyal masukan berupa tegangan [18]. Model disusun menggunakan fungsi alih (*transfer function*) yang diturunkan dari parameter elektrik dan mekanik motor yang digunakan pada penelitian ini, yaitu resistansi armatur $R=1\Omega$, induktansi $L=0,5H$, konstanta motor $K=0,01$, momen inersia $J=0,01$, dan koefisien gesek $b=0,1$. Parameter-parameter tersebut dipilih untuk merepresentasikan karakteristik motor DC yang umum digunakan pada aplikasi pompa sirkulasi air [19].

Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh fungsi alih kecepatan motor DC sebagai berikut:

$$J \frac{d\omega}{dt} + b\omega = K_t i - T_L \quad (1)$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K_e \omega \quad (2)$$

$$Js\Omega(s) + b\Omega(s) = K_t i(s) - T_L(s) \quad (3)$$

$$LsI(s) + RI(s) = V(s) - K_e \Omega(s) \quad (4)$$

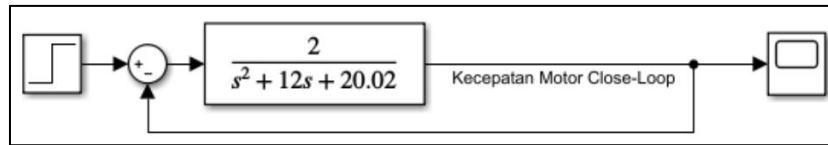
$$I(s) = \frac{V(s) - K_e \Omega(s)}{Ls + R} \quad (5)$$

$$(Js + b)\Omega(s) = K_t \frac{V(s) - K_e \Omega(s)}{Ls + R} - T_L(s) \quad (6)$$

$$G(s) = \frac{K_t}{Js^2 + (JR + bL)s + (bR + K_t K_e)} = \frac{0,01}{0,05s^2 + 0,06s + 0,1001} = \frac{2}{s^2 + 12s + 20,02} \quad (7)$$



Model ini digunakan sebagai dasar analisis dan simulasi sistem, serta untuk mengevaluasi kinerja pengendali yang dirancang, khususnya dalam mengamati respon kecepatan motor terhadap perubahan beban dan variasi sinyal kendali.

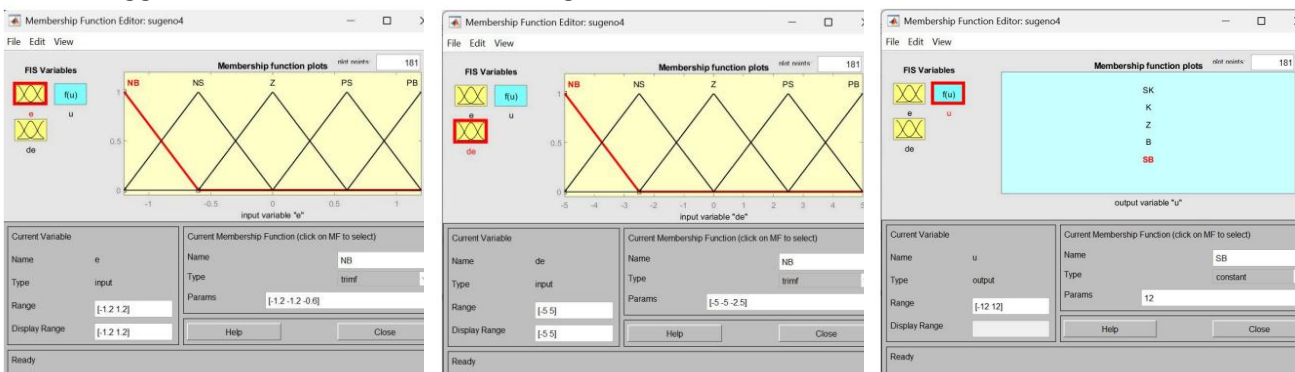


Gambar 1. Pemodelan motor DC

2.2 Perancangan Kendali Fuzzy Sugeno

Perancangan sistem kendali Fuzzy Logic metode Sugeno dilakukan dengan menggunakan dua variabel input, yaitu error (E) dan delta error (dE) [20], [21]. Error merepresentasikan selisih antara kecepatan referensi dan kecepatan aktual motor, sedangkan delta error menunjukkan perubahan error terhadap waktu [22]. Dari hasil analisis fungsi alih dan batas tegangan masukan ± 12 V, diperoleh kecepatan maksimum motor sebesar 1,2 rad/s. Dengan demikian, rentang error kecepatan ditetapkan antara $-1,2$ hingga 1,2 rad/s.

Selanjutnya, nilai delta error dihitung berdasarkan perubahan kecepatan motor terhadap selang waktu tertentu. Dengan asumsi perubahan kecepatan dari 0 hingga 1,2 rad/s dalam waktu 0,25 s, diperoleh nilai percepatan sebesar $\pm 4,8$ rad/s². Untuk mempermudah implementasi pada sistem fuzzy, nilai tersebut dibulatkan sehingga rentang delta error ditetapkan antara -5 hingga 5. Rentang nilai error dan delta error ini digunakan sebagai dasar dalam pembentukan fungsi keanggotaan fuzzy. Masing-masing input dibagi ke dalam beberapa himpunan fuzzy, seperti Negatif Besar, Negatif Kecil, Nol, Positif Kecil, dan Positif Besar, untuk menggambarkan kondisi sistem secara linguistik.



Gambar 2. Membership Function

TABEL I : MEMBERSHIP FUNCTION INPUT FUZZY SUGENO

Linguistik	Speed Error (E)	Delta Error (dE)
NB	$-1.2 ; -1.2 ; -0.6$	$-5 ; -5 ; -2.5$
NS	$-1.2 ; -0.6 ; 0$	$-5 ; -2.5 ; 0$
Z	$-0.6 ; 0 ; 0.6$	$-2.5 ; 0 ; 2.5$

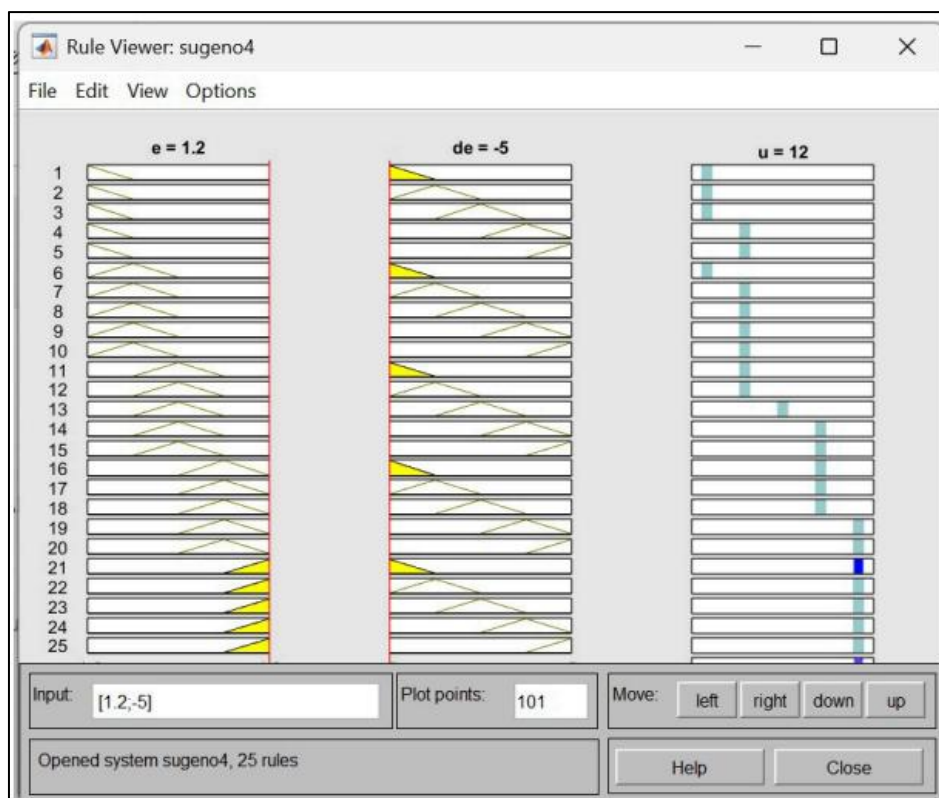


Linguistik	Speed Error (E)	Delta Error (dE)
PS	1.2 ; 0.6 ; 0	-5 ; -2.5 ; 0
PB	1.2 ; 1.2 ; 0.6	-5 ; -5 ; -2.5

TABEL II : NILAI KONSTANTA FUZZY SUGENO

Linguistik Output	Nilai Konstanta (U)
SK	-12
K	-6
Z	0
B	6
SB	12

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk IF-THEN untuk menentukan keluaran berupa nilai tegangan kendali motor [23]. Metode Sugeno dipilih karena menghasilkan keluaran tegas yang lebih mudah diproses dan memiliki waktu komputasi yang cepat, sehingga diharapkan mampu memberikan respon kecepatan motor yang stabil dan adaptif terhadap perubahan beban [24], [25].



Gambar 3. Rule Fuzzy Sugeno



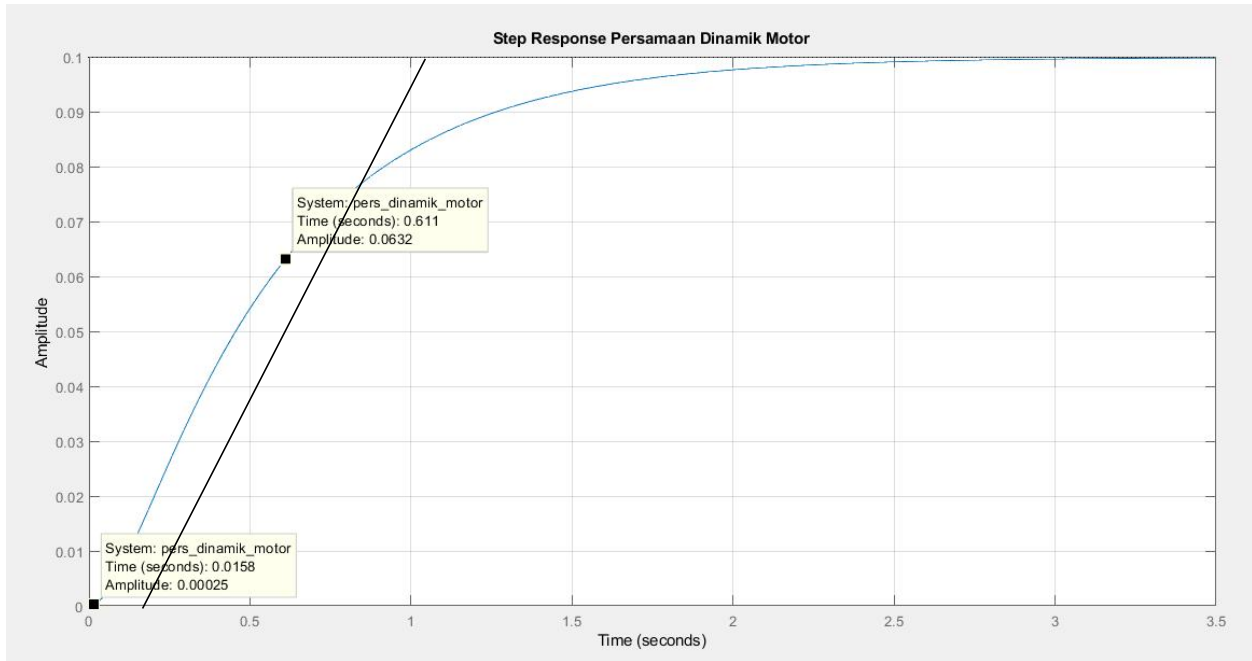
TABEL III : NILAI KONSTANTA FUZZY SUGENO

No	Error (E)	Delta Error (dE)	Output (U)
1	NB	NB	SK
2	NB	NS	SK
3	NB	Z	SK
4	NB	PS	K
5	NB	PB	K
6	NS	NB	SK
7	NS	NS	K
8	NS	Z	K
9	NS	PS	K
10	NS	PB	K
11	Z	NB	K
12	Z	NS	K
13	Z	Z	Z
14	Z	PS	B
15	Z	PB	B
16	PS	NB	B
17	PS	NS	B
18	PS	Z	B
19	PS	PS	SB
20	PS	PB	SB
21	PB	NB	SB
22	PB	NS	SB
23	PB	Z	SB
24	PB	PS	SB
25	PB	PB	SB



2.3 Perancangan Kendali PID

Perancangan kendali Proportional-Integral-Derivative (PID) pada kecepatan motor DC menggunakan metode Ziegler-Nichols tipe 1 (ZN-1) [26]. Metode ini dipilih karena sistem kecepatan motor DC yang digunakan menghasilkan respon berbentuk kurva S (S-curve) terhadap masukan langkah dan tidak mengandung elemen integrator murni (1/s) seperti yang ada pada Gambar 4, sehingga memenuhi syarat penerapan metode ZN-1 [27].



Gambar 4. Step Respon

Tahap awal perancangan dilakukan dengan memberikan sinyal masukan berupa step input pada sistem motor DC tanpa pengendali. Respon kecepatan motor kemudian diamati untuk memperoleh karakteristik kurva S. Dari kurva tersebut ditentukan dua parameter utama, yaitu waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) yang menggambarkan dinamika sistem kecepatan motor DC. Sehingga dari Gambar 4 didapat bahwa konstanta waktu (T) adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai 63,2% dari nilai steady-state. Dari hasil Step respon didaot nilai final valuenya adalah $0,0999 \approx 0,1$ maka:

$$Final\ Value \times 63,2\% = 0,1 \times 63,2\% = 0,0632 \quad (8)$$

Maka di dapatlah nilai $T = 0,611$ pada saat amplitudo $0,0632$ dan nilai $L = 0,0461$, sehingga parameter PID yang digunakan adalah sebagai beriku.

TABEL IV : PARAMETER PID

Kendali	K_p	T_i	K_i	T_d	K_d
P	13,25	0	0	0	0

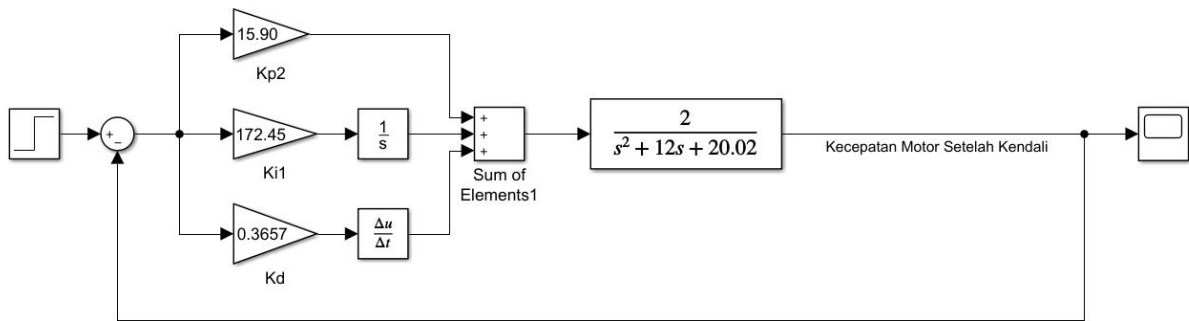


PI	11,92	0,1536	77,60	0	0
PID	15,90	0,0922	172,45	0,023	0,3657

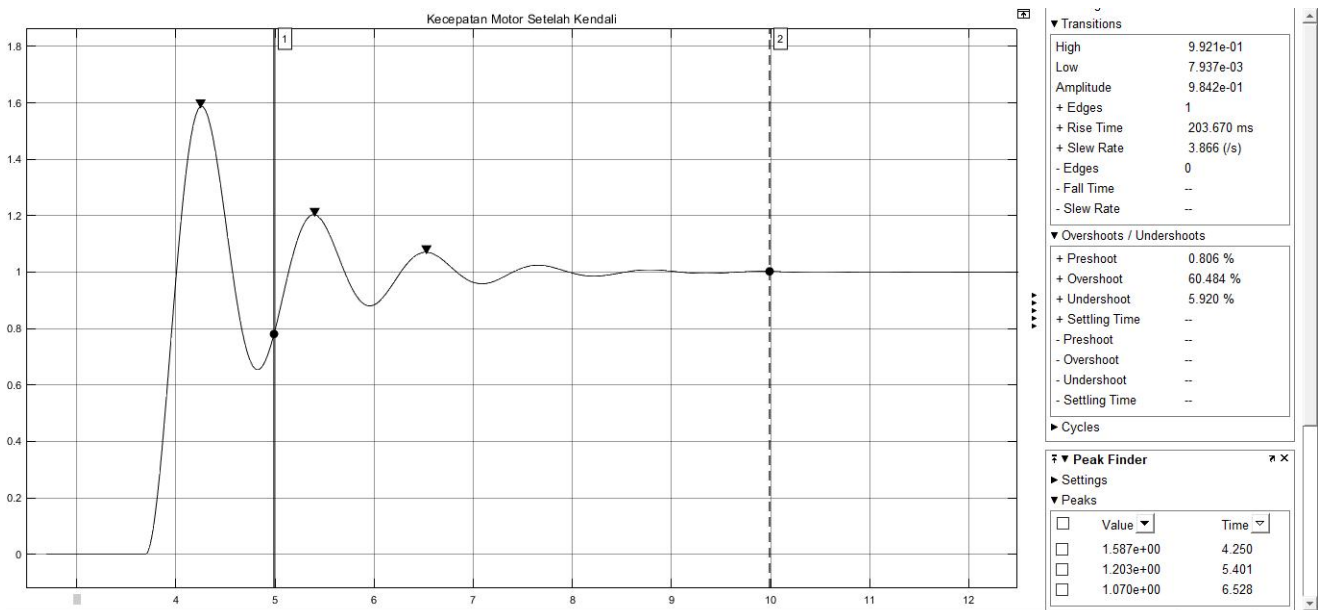
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kendali PID

Parameter pengendali PID yang telah diperoleh menggunakan metode Ziegler–Nichols I seperti yang ada pada Tabel 4, parameter ini kemudian diterapkan pada model motor DC untuk melakukan simulasi respon kecepatan terhadap setpoint sebesar 1 rad/s.



Gambar 5. Motor DC dengan PID



Gambar 6. Hasil Simulasi menggunakan PID

TABEL V : HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN PID

Parameter Kinerja	Hasil Simulasi PID	Kriteria yang Diinginkan
Rise Time	997,108 ms	1 s

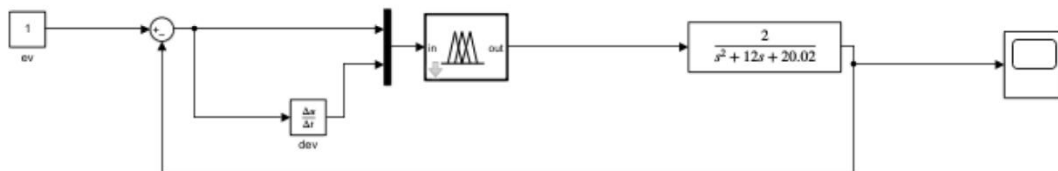


Settling Time	Tidak tercapai	$\leq 1,5$ s
Overshoot	60,484 %	≤ 5 %
Error Steady-State	-0,587	0 % / setpoint 1

Hasil simulasi respon kecepatan motor dengan pengendali PID menunjukkan nilai rise time yang diperoleh adalah sebesar 997,108 ms, yang masih mendekati nilai yang diinginkan. Namun demikian, sistem mengalami overshoot yang sangat besar, yaitu sebesar 60,484%, serta tidak menunjukkan settling time yang memenuhi kriteria $\leq 1,5$ s akibat osilasi yang terjadi. Selain itu, sistem menghasilkan error steady-state sebesar -0,587, yang menunjukkan bahwa keluaran sistem tidak mampu mencapai nilai referensi secara akurat.

3.2 Fuzzy Sugeno

Parameter yang sudah ada di Tabel 1 dan 2 diterapkan pada model motor DC berikut untuk melakukan simulasi respon kecepatan.



Gambar 7. Model Motor DC dengan Fuzzy Sugeno



Gambar 8. Hasil Simulasi menggunakan Fuzzy Sugeno



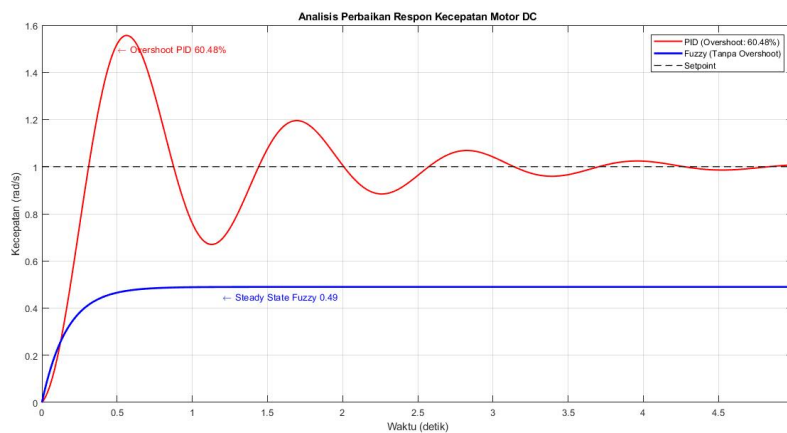
TABEL VI : HASIL MENGGUNAKAN FUZZY SUGENO

Parameter Kinerja	Hasil Fuzzy Sugeno	Kriteria yang Diinginkan
Rise Time	480,331 ms	1 s
Settling Time	< 1,5 s	≤ 1,5 s
Overshoot	Tidak terdeteksi	≤ 5 %
Nilai Steady-State	0,49	1
Error Steady-State	0,51	0 % / setpoint 1

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa Rise time sistem dengan kendali Fuzzy Sugeno mengalami penurunan yang cukup signifikan, yaitu menjadi 480,331 ms, sehingga lebih cepat dibandingkan dengan pengendali PID. Selain itu, respon sistem tidak menunjukkan adanya overshoot maupun osilasi, yang menandakan bahwa sistem berada dalam kondisi yang lebih stabil dan terkontrol.

3.3 Analisis Perbaikan Respon Motor DC

Berdasarkan perbandingan respon kendali PID dan Fuzzy Sugeno pada Gambar 9, dapat diidentifikasi beberapa peningkatan kinerja yang diperoleh melalui penerapan kendali Fuzzy Sugeno dibandingkan dengan pengendali PID.



Gambar 9. Perbaikan Respon Kecepatan Motor DC

TABEL VII : PERBANDINGAN HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN PID DAN FUZZY SUGENO

Parameter	PID	Fuzzy Sugeno
Rise Time	Lambat (~1 s)	Cepat (0,48 s)
Overshoot	Sangat besar (60,48 %)	Tidak ada



Osilasi	Ada	Tidak ada
Stabilitas	Kurang stabil	Stabil
Akurasi Steady-State	Rendah	Masih perlu perbaikan

Dari hasil grafik dapat dilihat bahwa terdapat beberapa peningkatan, peningkatan pertama terlihat pada karakteristik transien, di mana rise time berhasil diturunkan dari sekitar 1 detik (PID) menjadi 480,331 ms. Hal ini menunjukkan bahwa Fuzzy Sugeno mampu merespons perubahan setpoint lebih cepat tanpa memicu lonjakan berlebih.

Peningkatan kedua terdapat pada overshoot dan osilasi. Kendali PID menghasilkan overshoot sangat tinggi, yaitu 60,484%, disertai osilasi yang berkepanjangan sebelum mencapai kondisi tunak. Sebaliknya, Fuzzy Sugeno tidak menunjukkan overshoot dan memberikan respon yang lebih halus serta stabil. Hal ini menegaskan bahwa metode fuzzy lebih mampu meredam efek perubahan beban dan ketidaklinieran sistem. Stabilitas sistem juga mengalami perbaikan di mana respon Fuzzy Sugeno tidak menampilkan osilasi berulang, menunjukkan bahwa sinyal kendali lebih adaptif dibandingkan PID yang bersifat kaku terhadap variasi error dan delta error.

Namun, akurasi steady-state belum sepenuhnya optimal. Fuzzy Sugeno menghasilkan error steady-state sebesar 0,503, sehingga keluaran berhenti di sekitar 0,49 dari setpoint. Meskipun demikian, perbaikan pada stabilitas dan respon transien tetap menjadikan Fuzzy Sugeno lebih unggul dan lebih aman untuk motor, terutama pada sistem sirkulasi air yang sensitif terhadap perubahan tekanan. Jadi secara teknis Fuzzy Sugeno lebih direkomendasikan dibandingkan PID karena kemampuannya menjaga kestabilan dan mengurangi risiko lonjakan yang dapat merusak komponen mekanik.

4. KESIMPULAN

Jadi pengendali PID menghasilkan respon cepat tetapi tidak stabil dengan overshoot tinggi dan error steady-state besar. Sebaliknya, Fuzzy Sugeno memberikan respon yang jauh lebih cepat dan stabil tanpa overshoot, namun belum mampu mencapai setpoint karena error steady-state yang masih besar. Perbaikan lanjutan dapat dilakukan dengan menyesuaikan konstanta output Sugeno atau memodifikasi membership function agar sistem mampu mencapai nilai referensi secara penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Lelboi, U. Kadaria, and S. Pramadita, "Motor Pompa DC Sebagai Mesin Alat Pengaduk Pada Proses Koagulasi," *J. Teknol. Lingkungan. Lahan Basah*, vol. 12, no. 3, pp. 631–638, 2024, doi: 10.26418/jtlb.v12i3.78527.
- [2] Dwi Rizky Anto, Didik Sukoco, and Ii Munadhif, "Implementasi Kontrol Motor Pada Prototype Filtrasi Alami Menggunakan Sensor Flow Dan Ultrasonic," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 3, pp. 658–667, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i3.6159.
- [3] N. Roza, *Kualitas Air*, vol. 13, no. 3. 2015.
- [4] S. T. Arif Mustofa, *Pengelolaan Kualitas Air untuk Akuakultur - Arif Mustofa, S.T., M.Si - Google Buku*, 1st ed., vol. 1. UNISNU Press, 2020. Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=uEgIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA22&dq=Kualitas+air+sangat+bergantung+pada+aliran+yang+konstan+untuk+menjaga+kadar+oksigen+terlarut.&ots=fqhHLtddb&sig=IYRoHI5wcwogdVf4CUYZZKefSxI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [5] DM01, "Pompa Air DC Untuk Tambak Ikan," *suryaqua.com*. Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: <https://suryaqua.com/2025/04/12/rekomendasi-pompa-air-dc-terbaik-untuk-tambak-ikan/>
- [6] A. Andreas, G. Priyandoko, M. Mukhsim, and S. A. Putra, "Kendali Kecepatan Motor Pompa Air Dc Menggunakan Pid – Csa Berdasarkan Debit Air Berbasis Arduino," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 01, pp. 1–14, 2020, doi: 10.31328/jasee.v1i01.3.



- [7] F. Umam, H. Budiarto, and A. Dafid, "Motor Listrik," *Grup Pnb. CV BUDI UTAMA*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2017.
- [8] G. I. S. Anis Nugrahawati, *Nutrisi dan kesehatan ikan - Anis Nugrahawati, Gloria Ika Satriani, Daniel Sinaga, Prima Insamilandari Syah, Nurhayati, Nally Yans Grispinomia Frally Erbabley, Siti Lestari - Google Buku*. Ternate: PT. Kamiya Jaya Aquatic, 2025. Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=MKmIEQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Jika+tidak+dikendalikan+dengan+baik,+ketidakstabilan+ini+dapat+berakibat+pada+penurunan+kualitas+air+secara+keseluruhan+dan+meningkatkan+risiko+stres+atau+kematian+pada+ikan+akibat+oksigen+terlarut+yang+tidak+terpenuhi+atau+adanya+akumulasi+bahan+organik.&ots=ZrBe-PK-8-&sig=HqwzBltnG5jWim7_qgGSepF1VR0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [9] Ir. H. Mahbub Arfah, *SISTEM KONTROL - Ir. H. Mahbub Arfah, S.SIT., M.T., M.Mar.E. - Google Buku*. Makasar, 2025. Accessed: Jan. 30, 2026. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=BiUWEQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA263&dq=Untuk+menjaga+kestabilan+kinerja+pompa,+umumnya+digunakan+kendali+konvensional+seperti+Proportional-Integral-Derivative+\(PID\).&ots=cf9CEuV9YW&sig=Q1fEz7OmriSfbTLT-AgW8ulyR7k&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=BiUWEQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA263&dq=Untuk+menjaga+kestabilan+kinerja+pompa,+umumnya+digunakan+kendali+konvensional+seperti+Proportional-Integral-Derivative+(PID).&ots=cf9CEuV9YW&sig=Q1fEz7OmriSfbTLT-AgW8ulyR7k&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [10] Kartika, M. F. Naqi, M. Jannah, and Misriana, "Sistem PID untuk Pengaturan Aliran Air pada Dua Tangki Penampungan," *ELECTRON J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 9–25, 2025, doi: 10.33019/electron.v6i1.243.
- [11] Ivan Ade Pradipta, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Pompa Air Berbasis Logika Fuzzy Dengan Integrasi Iot Studi Kasus: Stasiun Pompa Cideng Jakarta," 2025.
- [12] H. N. FAJARWATI, "Sistem Kontrol Posisi Menggunakan Feedback Control," pp. 116–121, 2024.
- [13] Achmad Rizal Ridwan Mattulada, "SWITCHED RELUCTANCE MOTOR," vol. 23220373, 2024.
- [14] Z. Azra, "Desain Pengendalian Level Pada Coupled Tank Dengan Pole Placement-Fuzzy Sugeno," 2021, [Online]. Available: http://repository.uin-suska.ac.id/58229/2/TA_AKHIR_ZANA_AZRA.pdf
- [15] Y. I. NURHASANAH, E. KURNIA, and S. SUTARTI, "Integrasi Logika Fuzzy dengan Teknologi Cerdas: Tinjauan Sistematis atas Peluang, Tantangan, dan Arah Masa Depan," *MIND J.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–17, 2025, doi: 10.26760/mindjournal.v10i1.1-17.
- [16] P. Dini, B. Perumahan, M. Perangkat, and M. A. Kamal, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani pada Prototipe Sistem," 2024.
- [17] D. Sebagai *et al.*, "SISTEM MONITORING DAN KEAMANAN DAPUR," 2025.
- [18] F. Rozi, "Analisis Pemodelan Matematis Motor DC Tipe FABL3640-12-V1 untuk Desain Sistem Kendali," vol. XX, no. X, pp. 20–27, 2025.
- [19] U. Latifa, "Modul Praktikum Sistem Kendali," 2020.
- [20] A. P. Pengaturan *et al.*, "Comparative Analysis of Sugeno and Mamdani Interference Based Fuzzy Logic Temperature Control in Coffee Bean Dryers," *Agroteknika*, vol. 6, no. 2, pp. 272–288, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i2.240>
- [21] S. Amalia, R. Andari, and R. Syukriansyah, "Studi Pemodelan Sistem Pengontrolan Suhu Ruang Berbasis Logika Fuzzy Sugeno," *J. Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind.*, vol. 20, no. 2, p. 175, 2020, doi: 10.36275/stsp.v20i2.287.
- [22] Diono, Y. R. Pratama, and B. K. Setya Kitton, "Perbandingan metode PID dan Fuzzy Logic Control dalam sinkronisasi dua motor DC," *J. Integr.*, vol. 17, no. 2, pp. 97–108, 2025, doi: 10.30871/ji.v17i2.11036.
- [23] A. SAPUTRI, "IMPLEMENTASI KENDALI STABILITAS TEGANGAN DENGAN PID ZIEGLER NICHOLS-TUNING FUZZY MADANI PADA HASIL TEGANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO," *Edu Res. Indones. Inst. Corp. Learn. Stud.*, vol. 5, no. 1, pp. 70–80, 2024.
- [24] K. Paotonan, "Skripsi Penerapan Sistem Kendali Fuzzy Logic Metode Sugeno pada Reaktor Ohmic," *J. Agritechno*, 2021.
- [25] M. A. MUTTAQIN, "SISTEM KONTROL SWITCHING ENERGO LISTRIK MENGGUNAKAN METODE FUZZY SUGENO BERBASIS INTERNET OF THINGS," *Front. Vet. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–16, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26846-z%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41467-021-22308-8%0Ahttps://doi.org/10.1007/s00253-025-13460-y%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14088%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.10.019%0Ahttps://doi.org/10.1016/j>
- [26] I. Sobirin, J. Endrasmono, D. P. Riananda, P. Asri, M. A. Jami'in, and I. Munadhif, "Implementasi Kontrol Pid Ziegler – Nichols Untuk Pengendalian Penyelaman Pada Robot Bawah Air Otonom Hydroships," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 409–420, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5344.
- [27] R. D. P. Mila Diah Ika Putri, Alfian Ma'arif, "PENGENDALI KECEPATAN SUDUT MOTOR DC MENGGUNAKAN KONTROL PID DAN TUNING ZIEGLER NICHOLS," *Techno*, vol. 23, no. 1, pp. 9–18, 2022.

