

Pengendalian Presisi Motor Servo Menggunakan Metode PID dan Fuzzy

Diono, Rahmi Agustin Winandari, Siti Zubaidah Putri Asih

Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Sejarah Artikel: Diterima: Juni 2025 Revisi: Juni 2025 Diterima: Juli 2025 Dipublikasi: Juli 2025</p> <p>Kata Kunci: PID, Fuzzy Logic, presisi.</p> <p>*Penulis Korespondensi: diono@polibatam.ac.id</p>	<p>Perkembangan teknologi CNC menuntut sistem pengendalian motor servo yang presisi untuk memastikan akurasi pergerakan ballscrew. Penelitian ini membandingkan metode Proportional-Integral-Derivative (PID) dan Fuzzy Logic dalam mengontrol motor servo. Metode PID menggunakan parameter K_p, K_i, dan K_d untuk meminimalkan error secara iteratif, sedangkan Fuzzy Logic menerapkan aturan linguistik yang adaptif terhadap ketidakpastian. Pengujian dilakukan berdasarkan tingkat error dan akurasi sistem. Hasil menunjukkan bahwa metode PID memiliki tingkat error antara 2,62% hingga 3,99%, dengan rata-rata akurasi 96,01%. Sementara itu, metode Fuzzy menunjukkan error maksimum 0,08% dan akurasi 99,92%, atau meningkat sekitar 1,04 kali lipat dari PID. Dengan demikian, Fuzzy lebih unggul dalam akurasi dan adaptivitas, sedangkan PID cocok untuk kestabilan sistem.</p> <p>ABSTRACT <i>The advancement of CNC technology demands a high-precision servo motor control system to ensure accurate ballscrew movement. This study compares the Proportional-Integral-Derivative (PID) and Fuzzy Logic methods in controlling servo motor precision. The PID method relies on tuning K_p, K_i, and K_d parameters through trial and error to minimize error and achieve system stability. Meanwhile, Fuzzy Logic applies rule-based linguistic logic that adapts to system uncertainties. The performance evaluation is based on error rate and system accuracy. Results show that the PID method produces an error rate ranging from 2.62% to 3.99%, with an average accuracy of 96.01%. In contrast, the Fuzzy method yields a maximum error of only 0.08%, achieving an accuracy of 99.92%, or approximately 1.04 times higher than PID. Thus, Fuzzy Logic outperforms PID in accuracy and adaptability, while PID remains suitable for applications requiring stable control.</i></p>

PENDAHULUAN

CNC (Computer Numerically Control) adalah mesin perkakas dengan sistem otomatisasi yang dapat dioperasikan oleh Bahasa computer dengan menggunakan kode angka dan huruf dan dapat disimpan dalam ruang penyimpanan [1].

Salah satu teknologi memudahkan pekerjaan manusia adalah pengendali motor servo. Banyak aplikasi yang menggunakan motor sebagai penggerak kontrol gerak. Pengontrol gerak yang membutuhkan pemosisian yang tepat biasanya menggunakan motor servo [2] [3]. Kontrol motor diperlukan untuk mendapatkan pergerakan dari kecepatan putar atau posisi motor agar sesuai dengan nilai yang telah ditetapkan [4].

Mesin CNC memerlukan penggerak berupa motor yang membutuhkan presisi dan akurasi yang tinggi dalam tiap pergerakannya [5], berdasarkan dari permasalahan tersebut maka dibuat

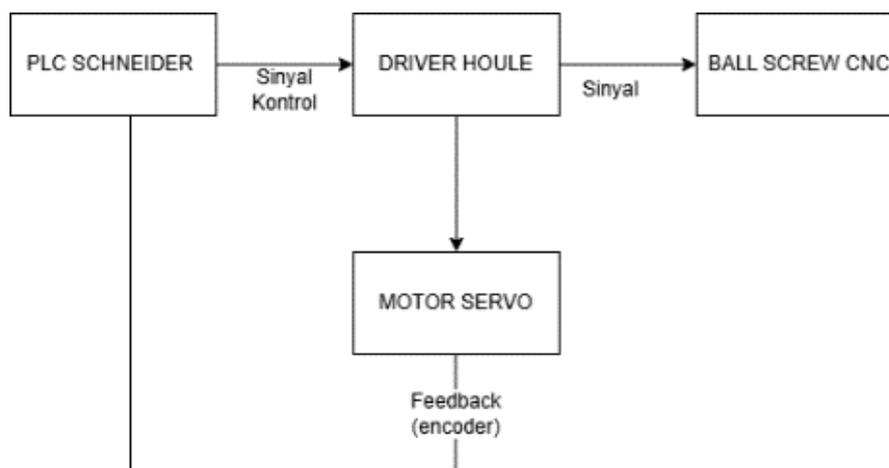
lah “Perbandingan Pengendalian Motor Servo menggunakan Metode PID dan Fuzzy”. Untuk membandingkan metode mana yang lebih akurat dan presisi pada permasalahan tersebut

Pengendali Proportional Integral Derivative (PID) merupakan pengendali konvensional yang masih bersifat konvensional banyak digunakan dalam dunia industri dibandingkan dengan jenis kontrol yang lebih modern [6].

Selanjutnya menggunakan metode Fuzzy karena, Logika fuzzy adalah logika yang dapat digunakan untuk menganalisis masalah yang mengandung ketidakpastian, salah satu contohnya proses prediksi. Logika ini dianggap mampu untuk memetakan suatu input ke dalam suatu output tanpa mengabaikan faktor-faktor yang ada [7]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan logika fuzzy yang dicetuskan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh untuk menganalisis proses prediksi yang mengandung ketidakpastian. Kemampuan logika fuzzy untuk memetakan input ke output tanpa mengabaikan faktor-faktor yang ada menjadikannya pilihan tepat untuk membangun model prediksi yang akurat dan adaptif [8]. Kemampuan logika fuzzy untuk memetakan input ke output tanpa mengabaikan faktor-faktor yang ada menjadikannya pilihan tepat untuk membangun model prediksi yang akurat dan adaptif [9].

LANDASAN TEORI

Diagram Blok

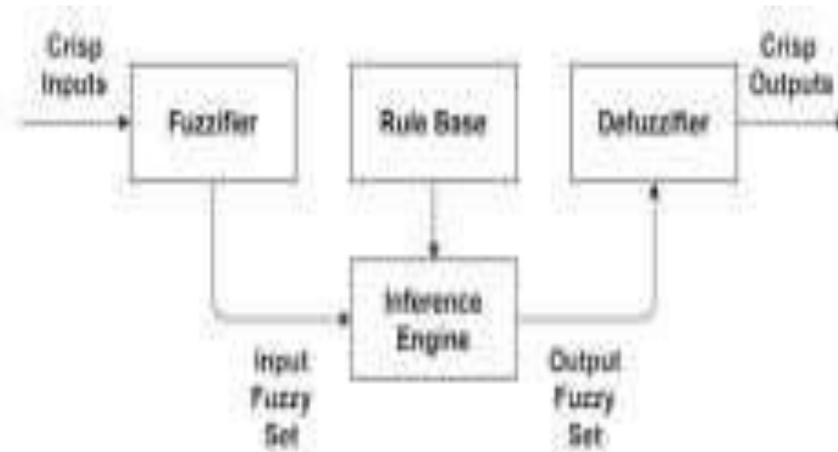


Gambar 1. Diagram Blok

Pada sistem ini digunakan PLC Schneider TM241CE40R sebagai unit pengendali utama yang mengontrol pergerakan motor servo dengan dua metode yaitu PID dan Fuzzy Logic untuk meningkatkan presisi posisi pada ballscrew mesin CNC.

Metode Fuzzy

Logika fuzzy adalah metodologi sistem pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, embedded system, jaringan PC, multichannel atau workstation berbasis akuisisi data dan sistem [10]. Defuzzifikasi mengubah fuzzy output menjadi nilai crisp output [11].



Gambar 2. Diagram Blok Fuzzy

Untuk menemukan error pada tabel fuzzy diperlukan rumus error berikut rumus yang di gunakan :

$$\text{Error \%} = (\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Target}) / \text{Nilai Target} * 100\%$$

Keterangan :

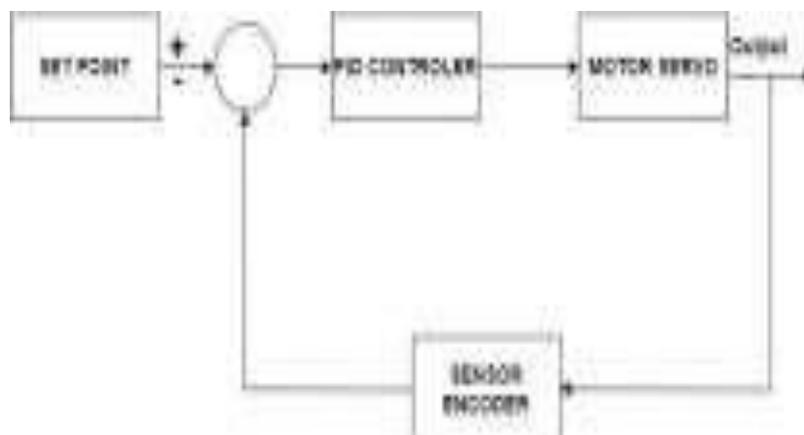
- Nilai Aktual: Nilai yang diukur atau diamati secara aktual.
- Nilai Target: Nilai yang diinginkan atau diharapkan.
- Error (Kesalahan): Perbedaan antara nilai aktual dan nilai target.

Metode PID

Kontrol PID bekerja dengan menghitung nilai error sebagai selisih antara target yang diinginkan dan variabel proses yang diukur. Dengan memanfaatkan kelebihan-kelebihan tersebut, implementasi PID dapat memastikan sistem mencapai tingkat presisi yang diinginkan dan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi operasional, menjadikannya pilihan yang tepat untuk mengendalikan motor servo dengan presisi tinggi [12]. Maka dari itu diberikan persamaan kontrol :

Dengan penjelasan sebagai berikut:

- $u(t)$ adalah penggerak yang berasal dari Pengendali, ke dalam Proses, pada waktu t
- $e(t) = y_{sp}(t) - y(t)$ adalah selisih antara setpoint dan variabel proses yang diukur pada waktu t
- K_p, K_i, K_d masing-masing adalah konstanta P, I, dan D



Gambar 3. Diagram Alir

PLC SCHNEIDER M340

PLC adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan dalam otomasi industri untuk mengendalikan proses-proses dengan logika, pemrosesan, dan pengontrolan output berdasarkan program yang telah diprogram oleh pengguna.[13] bekerja dengan mengumpulkan data input dari berbagai sensor, mengolahnya melalui program yang telah diprogram sebelumnya, dan kemudian menghasilkan output yang digunakan untuk mengendalikan perangkat seperti motor, valve, atau lampu.



Gambar 4. PLC SCHNEIDER TM241CE40R

Motor Servo

Sistem pengendalian posisi, dan lainnya. Motor servo biasanya memiliki sensor yang memantau posisi rotor, memungkinkan kontrol yang sangat akurat terhadap posisi dan kecepatannya [14]



Gambar 5. Motor Servo

Motor Driver

Motor driver adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol dan menggerakkan motor listrik. Motor driver bertanggung jawab untuk mengubah sinyal kontrol dari mikrokontroler atau sistem kontrol lainnya menjadi sinyal daya yang sesuai untuk menggerakkan motor. Fungsi utama motor driver adalah untuk mengontrol kecepatan, arah, dan torsi motor listrik. [15]



Gambar 6. Driver

METODE

Perancangan Elektrikal

Berikut ini adalah hasil elektrikal driver dan elektrikal pada PLC :



Gambar 7. Rancangan Electrical

Tabel 1. Penomoran beserta penjelasan komponennya

Penomoran	Keterangan
1	PLC Schneider
2	MCB
3	Push Button Start
4	Push Button Home Position
5	Indikator Hijau
6	Indikator Kuning
7	Indikator Merah



Gambar 8. Elektrikal Pada driver

Tabel 2. Penomoran beserta penjelasan komponennya driver

Penomoran	Keterangan
1	PLC Schneider
2	MCB

Pada gambar diatas merupakan rangkaian elektrikal pada driver, dimana tegangan AC, L1 dan L2N di hubungkan dengan dengan driver motor L1C dan L1, dan L1 pada motor servo di hubungkan dengan U pada driver motor, L2 motor servo di hubungkan dengan V driver motor, L3 motor servo di hubungkan dengan W Driver motor, dan yang terakhir GND Motor servo di hubungkan dengan GND driver motor. dimana sumber tegangan AC dengan sumber pada power supply, dan V+ di hubungkan dengan +input, Com input dan output pada PLC, V- power supply di hubungkan ke OUT-, MA-, COM1, dan MB- pada driver dan di hubungkan ke input (-) PLC. OUT+ pada driver di hubungkan dengan data input 0.00 pada PLC. MA+ pada driver di hubungkan dengan data output 0.00 pada PLC. DIN1 pada driver di hubungkan dengan data output 0.01 pada PLC. Dan yang terakhir MB+ driver di hubungkan dengan data output 0.02 pada PLC.

Perancangan Mekanikal

Berikut ini adalah hasil dari mekanikal alat yang dibuat :



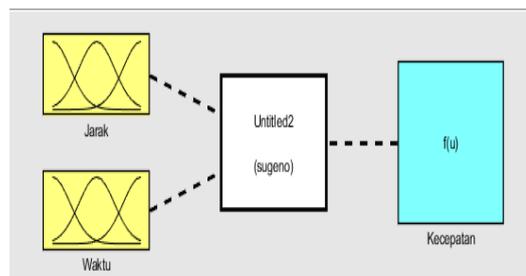
Gambar 9. Hasil Mekanikal

Pada gambar 6 merupakan tampilan hasil design mekanikal. Menggunakan panel dengan ukuran panjang x lebar yaitu 39 CM X 29 CM dengan ketebalan 18 CM dan memiliki 3 lampu warna merah , hijau, kuning sebagai indicator dan 2 push button home dan start dengan diameter 3 CM untuk memastikan bahwa semua komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini berada dalam box terlihat rapi dan terorganisir dengan baik. sistem dirancang untuk mengintegrasikan beberapa komponen elektronik utama, yaitu MCB, PLC Schneider, Driver Houle dan Motor Servo.

Pengujian Sistem dan Alat

Pada tahap pengujian, penelitian ini menguji kinerja sistem pengendalian presisi motor servo menggunakan dua metode kontrol yang berbeda, yaitu Proportional-Integral-Derivative (PID) dan Fuzzy Logic. Pengujian dilakukan untuk menilai efektivitas masing-masing metode dalam mencapai posisi target ballscrew dengan akurasi tinggi. Dalam pengujian ini, motor servo dikendalikan melalui PLC Schneider TM241CE40R dan dihubungkan dengan ballscrew sebagai aktuator linier.

Pengujian Fuzzy



Gambar 10. Sistem Klasifikasi Fuzzy

Perancangan sistem fuzzy memiliki 2 input yaitu jarak dan waktu dan memiliki output fuzzy nya yaitu kecepatan, berikut adalah pengelompokkan dari variabel input dan output. Adapun membership function dari fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno adalah sebagai berikut:

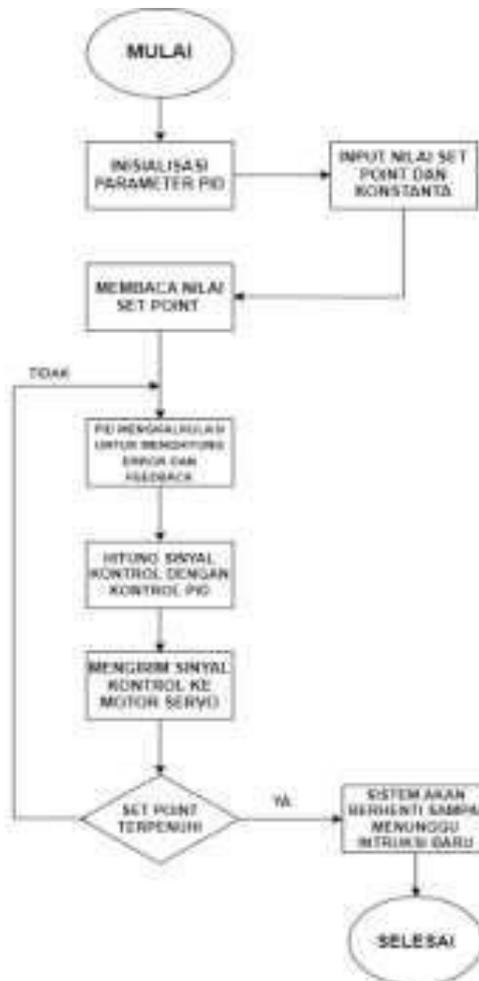
Tabel 3. Rules Fuzzy

JARAK	BEBAN	KECEPATAN
DEKAT	RINGAN	LAMBAT
DEKAT	SEDANG	SEDANG
DEKAT	BERAT	SEDANG
SEDANG	RINGAN	SEDANG
SEDANG	SEDANG	SEDANG
SEDANG	BERAT	CEPAT
JAUH	RINGAN	SEDANG
JAUH	SEDANG	CEPAT
JAUH	BERAT	CEPAT



Gambar 11. Grafik variabel output

Pengujian PID



Gambar 12. Flowchart Perancangan Program PID

Flowchart tersebut merupakan cara kerja alat Pengendalian Kestabilan Presisi Motor Servo dengan Kontrol menggunakan metode PID. Dimana proses dimulai dengan inialisasi parameter PID dengan memasukkan nilai set point yang diinginkan, maka sistem akan membaca nilai set point dan sistem akan menghitung nilai error (kesalahan) dan umpan balik dari sensor encoder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Metode Fuzzy

Pada pengujian Fuzzy dilakukan berdasarkan rule yang dibuat berdasarkan pada klasifikasi. Pembacaan klasifikasi fuzzy berdasarkan dua input yaitu jarak dan waktu. Perancangan klasifikasi fuzzy.

Tabel 5. Tabel Error

NO	Nilai Aktual (CM)	Nilai Target	Error (%)
1	15.5 CM	15CM	0.03%
2	15.5 CM	15CM	0.03%
3	15.5 CM	15CM	0.03%

Tabel di atas merupakan hasil pengujian terhadap perbandingan nilai aktual dan nilai target. Nilai aktual diperoleh dari pengukuran langsung, sedangkan nilai target adalah nilai yang diharapkan akan terpenuhi.

Tabel 6. Pengujian Fuzzy

NO	JARAK(CM)	BEBAN(g)	KECEPATAN
1	15.5 CM	100g	LAMBAT
2	15.5 CM	200g	LAMBAT
3	15.5 CM	300g	LAMBAT

Aturan aturan fuzzy yang telah dibuat kemudian dianalisis untuk memahami bagaimana setiap kondisi input mempengaruhi output secara keseluruhan. Pengujian sistem Fuzzy menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan output yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan.

Hasil Metode PID

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian sistem pengendalian motor servo menggunakan metode Proportional-Integral-Derivative (PID). Pengujian bertujuan untuk menguji kepresisian dalam mencapai posisi (setpoint). dengan variasi parameter PID (K_p , K_i , dan K_d) serta setpoint yang berbeda-beda. Setiap percobaan dirancang untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan setpoint, waktu untuk mencapai kestabilan, tingkat overshoot, dan error.

Berikut tabel pengujian nya :

Tabel 7. Hasil Presentase Error Metode PID

	KP : 0.51	KI : 58	KD : 0.016
Pengujian	Set Point (Input)	Posisi Motor Servo (Output)	Presentase Error %
1.	100.000	102.620	2.62 %
2.	200.000	205.853	2.92 %
3.	300.000	309.475	3.16 %

Tabel 8. Hasil Pengukuran Jarak Yang Dicapai

Pengujian	Set Point (Input)	Jarak (cm)	Posisi Motor Servo (Output)	Jarak (cm)
1.	100.000	5 cm	102.620	5,2 cm
2.	200.000	10 cm	205.853	10,2 cm
3.	300.000	15 cm	309.475	15,5 cm

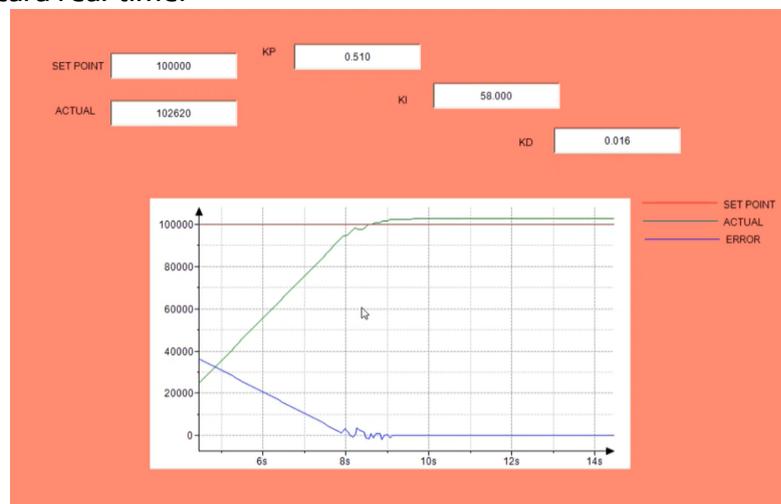
Berdasarkan data dari tabel diatas menunjukkan bahwa Sistem PID mampu mengontrol posisi motor servo mendekati nilai setpoint yang diinginkan. Hal ini terlihat dari posisi output yang selalu berada di sekitar nilai input dengan error presentase yang relatif kecil dalam rentang 2.62% hingga 3.99%. Konstanta PID diatur dengan menggunakan metode trial and error metode ini menghasilkan konstanta dengan nilai $K_p = 0.51$, $K_i = 58$ dan $K_d = 0,0016$

Tabel 9. Hasil Pengujian Metode PID

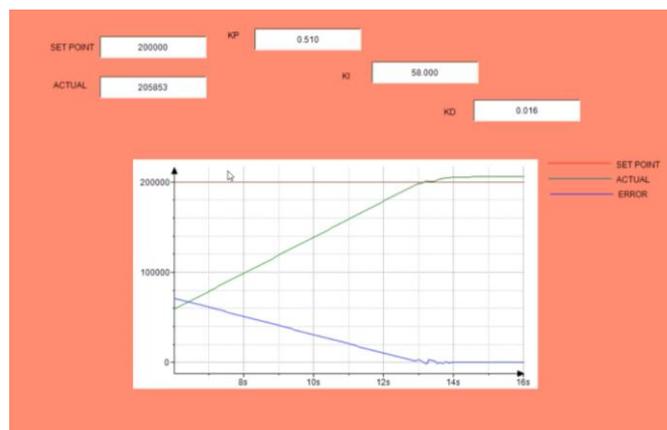
Pengujian	Settling Time (s)	Rise Time (s)	Overshoot	Undershoot
1.	10 s	7 s	102.620	0
2.	15 s	11 s	205.853	0
3.	21 s	18 s	309.475	0

Pada pengujian hasil tabel diatas.Sistem PID yang digunakan menunjukkan peningkatan waktu respons (rise time dan settling time) serta overshoot seiring dengan bertambahnya nilai setpoint. Respon sistem menghasilkan rata – rata Settling Time yaitu 28.63 detik, rata – rata Rise Time yaitu 24,38 detik, dan rata – rata Overshoot yaitu 3,25% dan undershoot rata – rata 0.

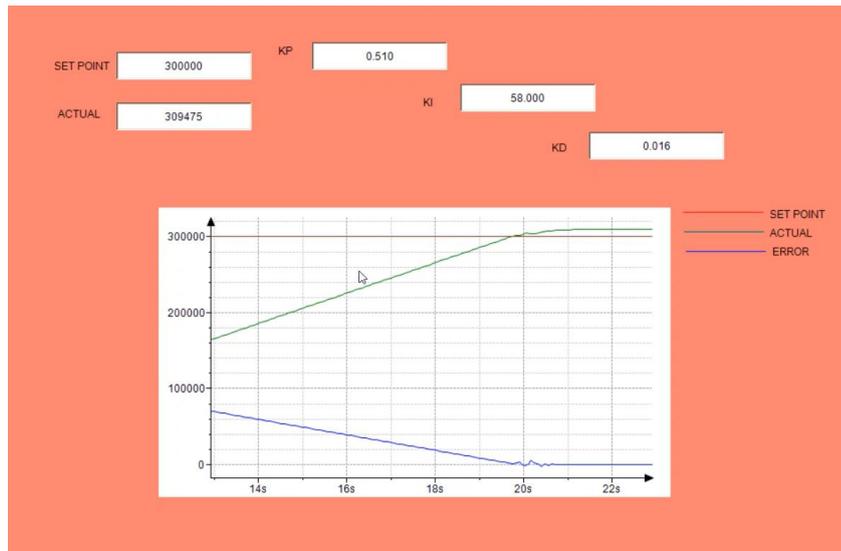
dilakukan pengujian untuk mengevaluasi efektivitas metode PID (Proportional-Integral-Derivative) dalam mengontrol pergerakan motor servo terhadap ballscrew. Pengujian dilakukan menggunakan Visualisation Machine Expert untuk memantau dan menganalisis hasil aktual dari pergerakan sistem secara real-time.



Gambar 13. Visualisasi Grafik PID Pada Set Point 100.000



Gambar 14. Visualisasi Grafik PID Pada Set Point 200.000



Gambar 15. Visualisasi Grafik PID Pada Set Point 300.000

Berdasarkan hasil pengujian dan visualisasi grafik PID diatas terhadap pergerakan ballscrew, dapat disimpulkan bahwa metode PID mampu memberikan kontrol yang cukup baik, dengan pola respon yang stabil dan sesuai. Namun, terdapat perbedaan kecil pada hasil pengukuran yang disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penentuan titik nol secara manual, penghentian sistem yang dilakukan secara manual, dan pembacaan hasil menggunakan alat ukur meteran secara visual yang rentan terhadap human error.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menetapkan parameter kontrol optimal untuk metode PID ($K_p = 0.51$, $K_i = 58$, $K_d = 0.016$) melalui trial and error, menghasilkan sistem stabil dengan rata-rata error 3.29%. Metode Fuzzy, menggunakan sembilan aturan logika, menunjukkan error maksimum hanya 0.08%, menandakan akurasi yang lebih tinggi. Metode PID unggul dalam kestabilan dan respons konsisten, sedangkan Fuzzy lebih adaptif dan akurat meski membutuhkan desain aturan yang kompleks. Kedua metode terbukti meningkatkan presisi motor servo pada ballscrew mesin CNC. Metode Fuzzy direkomendasikan untuk sistem dengan parameter dinamis, sementara PID cocok untuk kondisi operasi yang stabil dan terprediksi.

Daftar Pustaka

- [1] S. D. K. Indra Dwi Febryanto, "Perancangan Mesin CNC Router 3 Axis Berbasis Metode Quality Function Deployment (QFD)," *Tekmapro : Journal of Industrial Engineering and Management*, pp. 109-120, 2022.
- [2] M. Y. Yulia Dwi Satriani, "Kontrol Posisi Motor Servo Berbasis Human Machine Interfacedan Internet of Things," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, pp. 949-956, 2023.
- [3] F. D. a. D. T. P. Yanto, "Sistem Kendali dan Monitoring Kecepatan Motor Servo Berbasis Human Machine Interface," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones*, pp. 487-495, 2022.
- [4] A. Suwandi, "'Aplikasi Sistem Hardware Robotik Industri dalam Dunia Pendidikan di Laboratorium Teknik Industri UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta," *Pros. Konf. Integr. Interkoneksi Islam dan Sains*, pp. 7-10, 2018.
- [5] F. N. Budi Cahyo Wibowo, "Stepper Motor Speed Control Using Start-Stop method based on PLC," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, pp. 213-220, 2021.

- [6] M. B. G. K. a. G. P. D. Somwanshi, "Comparison of fuzzy-PID and PID controller for speed control of DC motor using LabVIEW," in *Procedia Computer Science*, pp. 252-260, 2019, vol 152.
- [7] F. Y. Mohamad Fatih Rahman, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Optimisasi Produksi Mebel Menggunakan Metode Mamdani," *Jurnal Informatika MULTI*, pp. 172-182, 2023.
- [8] E. S. D. Nugroho Setyo Wibowo, "idModel Logika Fuzzy Tsukamoto Dalam Perancangan Sistem Informasi Sebaran Industri Kecil dan Menengah Kabupaten Bondowoso," *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, pp. 209-216, 2022.
- [9] E. S. D. Nugroho Setyo Wibowo, "idModel Logika Fuzzy Tsukamoto Dalam Perancangan Sistem Informasi Sebaran Industri Kecil dan Menengah Kabupaten Bondowoso," *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, pp. 209-216, 2022.
- [10] A. D. a. E. Putri, "Fuzzy Logic untuk Menentukan Lokasi Kios Terbaik di Kepri Mall dengan Menggunakan Metode Sugeno," *Jurnal Edik Informatika*, pp. 49-59, 2016.
- [11] S. Sasongko, "Implementasi Fuzzy Logic Controller sebagai Pengendali Posisi Motor Servo," *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi dan Elektro*, pp. 1-8, 2018.
- [12] H. S. T. H. Ata, "Kontrol dribel menggunakan PID untuk robot sepak bola beroda," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. vol. 99, p. , 2024.
- [13] W. Botton, "Programmable Logic Controllers," *Pearson Education.*, p. 5, 2018.
- [14] R. Firoozian, "Servo Motors and Industrial Control Theory," *Wiley- IEEE Press*, 2019.
- [15] K. M. H. K. d. T. K. T. Ono, " "Design and Implementation of High-Performance Brushless DC Motor Driver IC", " *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, pp. 1515-1522, 2007.