PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM KONTROL PID PADA PENGATURAN POSISI KATUP GAS BERBASIS MOTOR DC

Rizdam Firly Muzakki[1)], Ihsan Auditia Akhinov[1)], Hariyanto[1)]

[1]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

E-mail: rizdam.firly.muzakki@elektro.pnj.ac.id

Abstract

Accurate gas valve position control is essential for maintaining combustion stability and improving energy efficiency in industrial heating systems. Conventional valve control methods generally employ discrete on–off or three-position control, which may result in slower responses and limited positioning accuracy. This study presents the modeling and simulation of a proportional–integral–derivative (PID)-based gas valve position control system driven by a DC geared motor using MATLAB/Simulink. A mathematical model of the DC motor was developed based on its electrical and mechanical characteristics and integrated with a 1:14 gearbox model to represent the valve actuator. PID parameters were determined through simulation, yielding optimal values of Kp = 91, Ki = 25, and Kd = 0.6. The proposed controller achieved a rise time of 0.0385 s, settling time of 0.0687 s, overshoot of 0.1676%, and zero steady-state error. Compared with the closed-loop system without PID, the proposed controller reduced the Integral Absolute Error (IAE) from 1.3284 to 0.0148 and the Integral Squared Error (ISE) from 0.6928 to 0.0061, indicating substantial improvements in transient response and tracking performance. The simulation results demonstrate that the proposed PID controller provides a fast, stable, and accurate position control strategy and serves as a basis for future hardware implementation.

Keywords: *DC motor, gas valve, MATLAB, position control, PID control*

PENDAHULUAN

Pada sektor industri, bahan bakar gas umumnya digunakan pada proses-proses produksi yang bersifat padat modal, seperti industri baja, petrokimia, kaca, dan keramik. Penggunaan bahan bakar gas memiliki kecenderungan harga yang relatif lebih tinggi sehingga efisiensi pemanfaatannya menjadi salah satu faktor penting dalam menekan biaya produksi. Di sisi lain, karakteristik bahan bakar gas yang mudah terbakar dan bersifat eksplosif menyebabkan proses produksi harus mampu bekerja secara presisi, andal, dan responsif untuk meminimalkan risiko kecelakaan serta menjaga keandalan proses produksi(Mukharror et al., 2024; Sachrrial et al., 2023). Pengendalian posisi katup gas merupakan salah satu aspek penting dalam sistem pembakaran industri karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan nyala api, efisiensi konsumsi bahan bakar, dan keamanan proses operasi (Fattahi et al., 2024; Hafid et al., 2026). Oleh karena itu,

diperlukan sistem pengendalian yang mampu mengatur posisi katup secara cepat, akurat, dan stabil sehingga laju aliran gas dapat mengikuti nilai acuan (*setpoint*) yang diinginkan.

Perkembangan teknologi sistem kendali berbasis mikrokontroler telah mendorong penggunaan motor DC sebagai aktuator pada berbagai aplikasi kontrol posisi. Motor DC memiliki karakteristik yang relatif sederhana, mudah dimodelkan secara matematis, serta memungkinkan pengaturan kecepatan dan posisi melalui teknik modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*) (Jati et al., 2021; Wardana et al., 2024). Beberapa penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa pengendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID) masih menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan pada sistem kontrol posisi motor DC karena mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan respon, kestabilan sistem, dan akurasi terhadap *setpoint* (Hudati et al., 2021; Jallad & Badran, 2024; Pambudi et al., 2025).

Meskipun demikian, sebagian aktuator pengendali katup gas yang tersedia di pasar masih menggunakan metode *three-position control,* yang memiliki karakteristik aktuasi diskrit, yaitu hanya memberikan aksi membuka, menutup, atau berhenti. Pendekatan tersebut relatif sederhana, namun memiliki keterbatasan dalam menghasilkan pergerakan katup yang halus sehingga respon sistem cenderung lebih lambat dan akurasi posisi masih dapat ditingkatkan. Penggunaan motor DC yang dikendalikan melalui sinyal PWM dengan pengendali PID diharapkan mampu menghasilkan pengaturan posisi katup yang lebih presisi karena kecepatan aktuator dapat diatur secara kontinu sesuai besarnya kesalahan (*error*) yang terjadi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan memodelkan dan mensimulasikan sistem kontrol posisi katup gas berbasis motor DC *gearbox* menggunakan MATLAB/Simulink serta merancang pengendali PID untuk meningkatkan performa sistem. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan parameter respon transien yang meliputi *rise time, settling time, overshoot, steady-state error*, serta indeks performa berupa *Integral Absolute Error* (IAE) dan *Integral Squared Error* (ISE). Hasil simulasi diharapkan menjadi dasar dalam pengembangan prototipe perangkat keras pada tahap

penelitian berikutnya serta memberikan alternatif solusi pengendalian katup gas yang lebih responsif dan akurat dibandingkan metode pengendalian konvensional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis pemodelan (modeling) dan simulasi untuk menganalisis kinerja sistem kontrol posisi katup gas menggunakan pengendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID). Seluruh proses pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink.

Tahap pertama penelitian adalah membangun model matematis aktuator berupa motor DC *gearbox* berdasarkan persamaan karakteristik listrik dan mekanik motor. Parameter motor yang digunakan meliputi resistansi jangkar (Ra), induktansi jangkar (La), konstanta torsi (Kt), konstanta *back electromotive force* (Ke), momen inersia rotor (J), koefisien redaman viskos (b), serta rasio *gearbox* 1:14. Model matematis tersebut kemudian diturunkan menjadi fungsi alih (*transfer function*) yang merepresentasikan hubungan antara tegangan masukan terhadap posisi sudut aktuator. Adapun parameter motor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1

Parameter Motor DC

No	Parameter	Nilai
1	Resistansi Jangkar (Ra)	5,217 Ω
2	Induktansi Jangkar (La)	0,0015 H
3	Konstanta torsi (Kt)	0,0981 N.m/A
4	Konstanta *back emf* (Ke)	0,0981 V/rad.s^{-1}
5	Inersia Motor (J)	0,0000045 Kg.m^2
6	Koefisien redaman viskos (b)	0,000012
7	Rasio gearbox	14

Setelah mendapat nilai dari masing-masing parameter motor DC, selanjutnya menentukan fungsi alih dari motor DC, dengan menentukan hubungan antara tegangan input V(s) sebagai input dengan kecepatan sudut Ω(s) sebagai output yang dihasilkan melalui analisis sistem dalam domain *Laplace* seperti ditampilkan pada persamaan (1) dan (2).

$$V(s) = LsI(s) + R.I(s) + K_e\Omega(s) \qquad (1)$$

$$J_s\Omega(s) + B\Omega(s) = K_tI(s) \qquad (2)$$

Dari persamaan berikut, untuk mendapatkan fungsi alih sistem maka perlu dibandingkan variabel output terhadap inputnya, yaitu kecepatan sudut dan tegangan. Sehingga dari persamaan tersebut nilai arus yang merupakan variabel internal perlu dieliminasi, sehingga didapat persamaan fungsi alih yang ideal.

$$I(s) = \frac{J_s+B}{K_t}\Omega(s) \qquad (3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan I(s) pada persamaan (3) di atas pada persamaan (1), sehingga didapat persamaan fungsi alih dari motor DC adalah sebagai berikut.

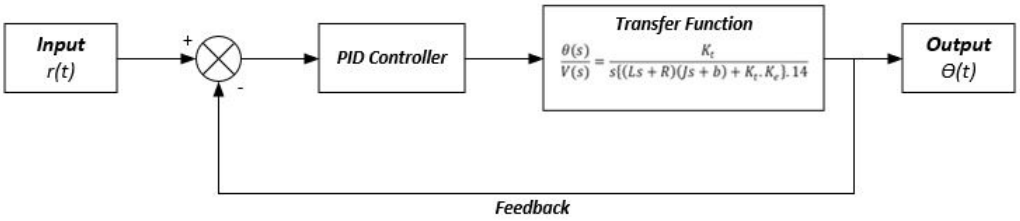
$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(Ls+R)(Js+b)+K_t.K_e} \qquad (4)$$

Persamaan di atas merupakan fungsi alih yang menyatakan hubungan antara kecepatan sudut terhadap tegangan masukan pada motor DC. Namun aplikasi motor DC pada penelitian ini difokuskan pada posisi sudutnya (Θ), bukan sekedar kecepatan sudutnya saja. Kemudian dari spesifikasi motor yang digunakan menggunakan gearbox dengan rasio 1:14. Kedua faktor tersebut perlu diperhitungkan pada fungsi alih yang diterapkan, sehingga didapat fungsi alih sebagai berikut.

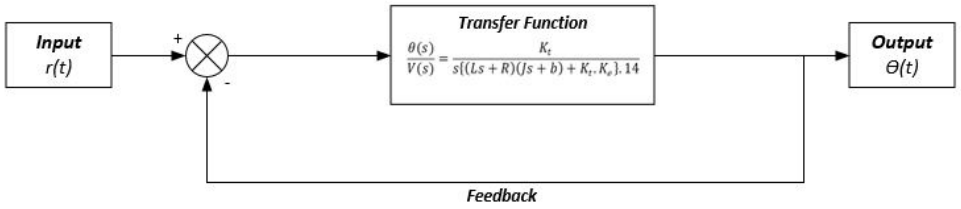
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(Ls+R)(Js+b)+K_t.K_e} \cdot \frac{1}{14} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{s\{(Ls+R)(Js+b)+K_t.K_e\}.14} \qquad (5)$$

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem kontrol posisi dengan konfigurasi *closed-loop*. Adapun pada rangkaian ini dibuat 2 macam yaitu dengan PID dan tanpa PID untuk mengkomparasi respon sistem pada masing-masing metode kendali. Nilai parameter pada kontrol PID diperoleh melalui proses *tuning* pada MATLAB hingga diperoleh kombinasi parameter yang menghasilkan karakteristik respon terbaik. Diagram blok sistem kontrol yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem dengan Kontrol PID

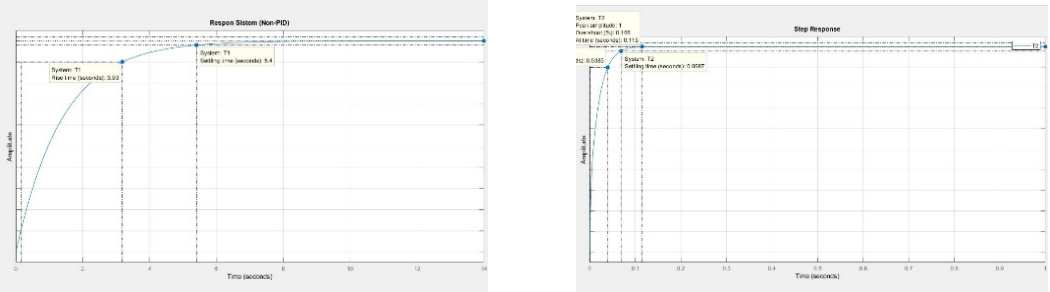


Gambar 2. Diagram Blok Sistem Tanpa Kontrol PID

Selanjutnya dilakukan simulasi terhadap dua konfigurasi sistem, yaitu sistem *closed-loop* tanpa pengendali PID dan sistem *closed-loop* dengan pengendali PID. Kedua sistem diberikan masukan berupa sinyal unit *step* untuk mengevaluasi karakteristik respon transien. Kinerja sistem dianalisis berdasarkan *parameter rise time, settling time, overshoot, peak time, dan steady-state error* yang diperoleh menggunakan fungsi *stepinfo()* pada MATLAB. Selain itu, kualitas respon sistem juga dievaluasi menggunakan indeks performa berupa *Integral Absolute Error* (IAE) dan *Integral Squared Error* (ISE) yang dihitung berdasarkan sinyal galat selama proses transien. Hasil analisis dari kedua konfigurasi kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan pengendali PID dalam meningkatkan performa sistem kontrol posisi katup gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol posisi katup gas, dilakukan simulasi terhadap dua konfigurasi sistem, yaitu sistem *closed-loop* tanpa pengendali PID dan sistem closed-loop menggunakan pengendali PID. Simulasi dilakukan menggunakan masukan berupa sinyal unit step pada model sistem yang telah dibangun di MATLAB/Simulink. Parameter motor DC yang digunakan mengacu pada spesifikasi motor DC *gearbox* 12 V dengan rasio gearbox 1:14, sedangkan parameter pengendali PID diperoleh melalui proses *tuning* menggunakan aplikasi MATLAB, yang selanjutnya dilakukan penyesuaian dengan memperhatikan respon sistem dihasilkan menggunakan metode *trial and error*. Adapun setelah dilakukan beberapa penyesuaian parameter dan pengamatan diagram respon sistem diperoleh nilai Kp = 91, Ki = 25, dan Kd = 0,6 sebagai parameter PID yang memiliki grafik respon sistem yang paling baik.



Gambar 3. Respon Sistem dengan Kendali (a) tanpa PID dan (b) Dengan PID

Gambar 3 menunjukkan perbandingan respon sistem tanpa PID dan dengan PID terhadap perubahan nilai setpoint. Secara visual terlihat bahwa sistem dengan pengendali PID memiliki respon yang jauh lebih cepat dibandingkan sistem tanpa PID, serta mampu mencapai kondisi tunak dalam waktu yang lebih singkat dengan *overshoot* yang sangat kecil. Adapun detail perbandingan hasil simulasi antara 2 sistem kendali dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Perbandingan Karakteristik Respon Sistem

Parameter	Non-PID	Dengan PID
Rise Time (s)	3,0317	0,0385
Settling Time (s)	5,4007	0,0687
Overshoot (%)	0	0,1676
Peak Time (s)	14,5523	0,1148
Steady State Error	0	0
IAE	1,3284	0,0148
ISE	0,6928	0,0061

Berdasarkan Tabel 2, penerapan pengendali PID memberikan peningkatan performa sistem yang signifikan. Nilai *rise time* menurun dari 3,0317 s menjadi 0,0385 s atau berkurang sekitar 98,73%, sedangkan settling time berkurang dari 5,4007 s menjadi 0,0687 s atau sekitar 98,73%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai kondisi stabil jauh lebih cepat dibandingkan sistem tanpa pengendali PID.

Meskipun sistem menjadi lebih responsif, karakteristik kestabilan tetap terjaga dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai overshoot yang hanya sebesar 0,1676%, sehingga secara praktis keluaran sistem tidak mengalami osilasi yang berarti ketika

mencapai nilai *setpoint*. Selain itu, *steady-state error* bernilai nol, yang menunjukkan bahwa keluaran sistem mampu mengikuti nilai referensi secara akurat pada kondisi tunak.

Evaluasi menggunakan indeks performa juga menunjukkan peningkatan yang signifikan. Nilai *Integral Absolute Error* (IAE) menurun dari 1,3284 menjadi 0,0148, sedangkan *Integral Squared Error* (ISE) berkurang dari 0,6928 menjadi 0,0061. Penurunan kedua parameter tersebut mengindikasikan bahwa akumulasi kesalahan selama proses transien menjadi jauh lebih kecil setelah diterapkan pengendali PID. Dengan demikian, sistem tidak hanya memiliki respon yang lebih cepat, tetapi juga menghasilkan akurasi pelacakan (*tracking accuracy*) yang lebih baik terhadap nilai *setpoint*.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Hudati et al. (2022), Pambudi et al. (2025), dan Jallad dan Badran (2024) yang menunjukkan bahwa penerapan pengendali PID pada sistem kontrol posisi motor DC mampu meningkatkan kecepatan respon sekaligus mempertahankan kestabilan sistem. Perbedaannya, penelitian ini memodelkan aktuator sebagai motor DC *gearbox* yang digunakan untuk mengendalikan posisi katup gas sehingga hasil simulasi dapat menjadi dasar implementasi sistem kontrol pada aplikasi pembakaran industri.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil memodelkan dan mensimulasikan sistem kontrol posisi katup gas berbasis motor DC *gearbox* menggunakan pengendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID) pada lingkungan MATLAB/Simulink. Berdasarkan hasil simulasi, parameter PID yang diperoleh mampu meningkatkan performa sistem secara signifikan dibandingkan sistem *closed-loop* tanpa pengendali PID. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh respons sistem yang lebih cepat, waktu mencapai kondisi tunak yang lebih singkat, *steady-state error* sebesar nol, serta penurunan nilai IAE dan ISE yang menunjukkan berkurangnya akumulasi kesalahan selama proses transien. Hasil ini menunjukkan bahwa pengendali PID layak diterapkan sebagai strategi pengendalian posisi katup gas untuk memperoleh respons yang cepat, stabil, dan akurat.

Penelitian ini masih terbatas pada tahap pemodelan dan simulasi sehingga diperlukan implementasi pada perangkat keras untuk memvalidasi hasil yang diperoleh.

Penelitian selanjutnya akan difokuskan pada pengembangan prototipe sistem kontrol menggunakan motor DC *gearbox*, H-Bridge, dan mikrokontroler, serta melakukan pengujian pada sistem katup gas nyata. Selain itu, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada penerapan metode auto-tuning atau adaptive PID untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam menghadapi perubahan beban dan kondisi operasi.

DAFTAR PUSTAKA

Fattahi, M., Ebrahimi, S., Rahimi, M., Gonbadi, M., Hosseini, S. H., & Ahmadi, G. (2024). Analyzing Burner Performance and Combustion Phenomenon in an Olefin Plant's Industrial Furnace: A CFD Study. *ACS Omega*, *9*(12), 14500–14519. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00395

Hafid, B., Martianis, E., Umira, S., & Gafur, A. (2026). Effect of valve opening optimization on fuel delivery and combustion efficiency in a multi-burner waste-oil heating system. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, *7*(1), 167–174.

Hudati, I., Aji, A. P., & Nurrahma, S. (2021). Kendali Posisi Motor DC dengan Menggunakan Kendali PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JULIET)*, *2*(2), 1–6.

Jallad, J., & Badran, O. (2024). Firefly algorithm tuning of PID position control of DC motor using parameter estimator toolbox. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, *13*(2), 916–929. https://doi.org/10.11591/eei.v13i2.6216

Jati, A. K., Saori, E. S., Putra, R. F., Utami, V. A., Studi, P., Otomasi, T., Industri, L., Elektro, T., Jakarta, P. N., A, J. P. G., & Ui, K. B. (2021). Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC dengan Metode Pulse Width Modulation Berbasis PLC dan SCADA. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, *6*, 286–293.

Mukharror, D. A., Maulana, I., Yusuf, M., Devianto, H., Sommeng, A. N., Kartohardjono, S., & Hermansyah, H. (2024). Collection and analysis of hydrocarbon gas buried onshore pipeline accidents in Indonesia as the databases for failure frequency assessment in a quantitative risk analysis. *Process Safety Progress*, *43*(S1), S128–S133. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/prs.12577

Pambudi, A. D., Heryanto, M. A., & Wulandari, S. A. (2025). PID Tuning for Robustness to Noise in DC Motor Angular Position Control System. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, *6*(2 SE-Articles), 113–124. https://doi.org/10.24036/jtein.v6i2.751

Sachrrial, R. H., Iskandar, A., Informatika, T., & Nasional, U. (2023). Implementasi Sistem Keamanan Kebocoran Gas LPG Berbasis Android Menggunakan Metode Algoritma Fuzzy padat di bawah tekanan tinggi , sehingga volume gas dapat

dikompresi menjadi ukuran. *Jurnal Teknologi Informatika Dan Komputer MH. Thamrin*, *9*(2), 1065–1075.

Wardana, A. K. S., Limpraptono, F. Y., & Labib, R. P. M. (2024). PERANCANGAN PWM VOLTAGE CONTROLLER SEBAGAI PENGATUR KECEPATAN MOTOR DC SHUNT MOBIL LISTRIK. *Magnetika*, *08*(2), 23–33.