

Analisis Perbandingan Kontrol P, PI, dan PID pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Berbasis Simulasi MATLAB

Deswen Lumban Gaol¹, Erianto Rezeki Siregar², Desman Jonto Sinaga³, Arwadi Sinuraya⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Negara Indonesia

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Negara Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Negara Indonesia

⁴Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan, Negara Indonesia

Email: deswenmarbun@gmail.com¹, eriantosiregar3@gmail.com²

desmansinaga@unimed.com³, arwadisinuraya@unimed.ac.id⁴

Alamat: Jln. Willem Iskandar, Pasar V, Percut Sei Tuan, Deli Serdang, Sumatera Utara

*Penulis Korespondensi: deswenmarbun@gmail.com

Abstract. *DC motor speed control plays a crucial role in industrial applications requiring fast response, high accuracy, and system stability. This study aims to analyze and compare the performance of P, PI, and PID controllers in a DC motor speed regulation system based on MATLAB/Simulink simulation. The system model was designed in a closed-loop configuration with a 100 rad/s set point, and controller parameters were obtained using the auto-tuning feature to ensure optimal operating conditions. The simulation was carried out for 10 seconds without load by evaluating performance parameters including rise time, overshoot, settling time, steady-state value, and steady-state error. The results indicate that the P controller produces a fast initial response but suffers from high overshoot and low stability. The PI controller demonstrates improved stability with reduced overshoot and shorter settling time, although the steady-state value remains slightly below the set point. The PID controller shows the best overall performance by achieving the fastest rise time, the shortest settling time, and an almost zero steady-state error, making it the most effective in achieving fast, stable, and accurate responses. Therefore, the PID controller is recommended as the most suitable control strategy for DC motor speed regulation under no-load conditions.*

Keywords: *DC Motor, P Control, PI Control, PID Control, MATLAB/Simulink.*

Abstrak. Kontrol kecepatan motor DC memegang peranan penting dalam sistem industri yang menuntut respon cepat, akurasi tinggi, dan kestabilan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja pengendali P, PI, dan PID pada sistem pengaturan kecepatan motor DC berbasis simulasi MATLAB/Simulink. Model sistem dirancang secara closed-loop dengan set point 100 rad/s, dan parameter setiap kontrol diperoleh melalui fitur auto tuning untuk memastikan operasi pada kondisi optimal. Pengujian dilakukan selama 10 detik tanpa beban dengan mengevaluasi parameter performansi yang meliputi rise time, overshoot, settling time, steady-state value, dan steady-state error. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol P memberikan respon awal cepat namun menghasilkan overshoot tinggi dan kestabilan rendah. Kontrol PI menunjukkan peningkatan stabilitas dengan overshoot rendah dan settling time lebih cepat, meskipun akurasi tunak sedikit menurun. Kontrol PID menjadi yang paling unggul karena mampu mencapai rise time tercepat, settling time terpendek, dan steady-state error hampir nol, sehingga paling efektif dalam mencapai respon yang cepat, stabil, dan akurat. Dengan demikian, kontrol PID direkomendasikan sebagai pengendali terbaik untuk sistem pengaturan kecepatan motor DC tanpa beban.

Kata kunci: Motor DC, Kontrol P, Kontrol PI, Kontrol PID, MATLAB/Simulink.

Received November 20, 2025; Revised Desember 03, 2025; Januari 01, 2026

* Deswen Lumban Gaol, deswenmarbun@gmail.com

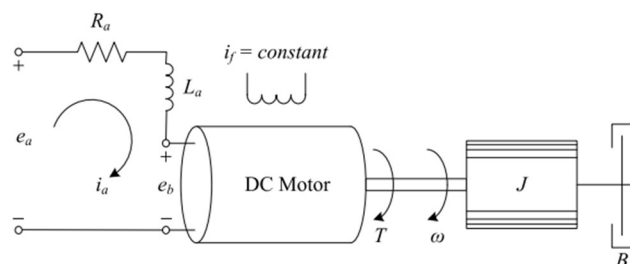
LATAR BELAKANG

Motor arus searah (DC) masih banyak digunakan pada sistem industri dan otomasi karena kemudahan pengaturan kecepatan, struktur sederhana, serta respons torsi cepat, sehingga cocok untuk aplikasi seperti conveyor, robotika, dan mesin presisi (Abdullah et al., 2023; Supriyono, 2024). Namun, perubahan beban dan gangguan dapat menyebabkan penyimpangan kecepatan sehingga dibutuhkan sistem kontrol loop tertutup untuk menjaga kecepatan tetap sesuai referensi (Ibrahim et al., 2022). Di antara berbagai teknik yang digunakan, kontrol P, PI, dan PID merupakan metode paling populer karena mudah diimplementasikan dan efektif dalam meningkatkan performa sistem (Saxena et al., 2024). Kontrol P memiliki respon cepat tetapi menyisakan *steady-state error*, kontrol PI mampu menghilangkan error namun berpotensi menimbulkan *overshoot*, sedangkan kontrol PID menawarkan keseimbangan terbaik melalui kombinasi aksi proporsional, integral, dan derivatif (Yaşar et al., 2025; Supriyono, 2024). MATLAB/Simulink menjadi platform yang banyak digunakan untuk menganalisis kinerja ketiga kontrol tersebut karena kemampuannya memodelkan dinamika motor dan mengevaluasi parameter seperti *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady-state error* secara akurat (Dewi & Pratama, 2021). Meskipun banyak penelitian terkait kontrol motor DC, kajian komparatif yang menguji P, PI, dan PID pada model sistem dan skenario simulasi yang identik masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memberikan analisis komprehensif terhadap performa pengontrol P, PI, dan PID berbasis MATLAB/Simulink untuk menentukan metode kontrol yang paling efektif dalam pengaturan kecepatan motor DC.

KAJIAN TEORITIS

1. Motor Dc

Motor arus searah (DC) adalah aktuator elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet pada rotor dan stator. Motor DC memiliki keunggulan dalam pengendalian kecepatan sehingga banyak diterapkan pada sistem otomasi industri, robotika, dan perangkat presisi (Abdullah et al., 2023). Kecepatan putaran motor DC sangat dipengaruhi oleh tegangan jangkar (armature voltage) dan beban mekanik yang bekerja pada poros motor.



Gambar 1. Rangkaian ekivalen motor dc

Parameter:

Ra: Resistansi Armature (Ω)

La: Induktansi Armature (H)

Ia: Arus Armature (A)

If: Arus Medan (A)

ea: Tegangan Input Armature (V)

eb: Gaya Gerak Balik (V)

T: Torsi (N.m)

ω : Kecepatan Sudut Motor (rad/s)

A: Koefisien Konversi (Kg.m²)

Kb: Konstanta Back EMF (V.s/rad)

K: Konstanta Torsi Motor (N.m/A)

B: Koefisien Gesekan (N.m.s/rad)

Tabel 1. Parameter motor DC

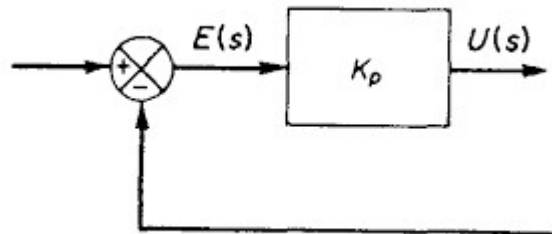
Parameter	Nilai
R _a	2 Ω
L _a	0.5 H
J	0.02 kg.m ²
B	0.001 N.m.s/rad
K	0.1 N.m/A
K _b	0.1 V.s

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{(L_a s + R_a)(J s + B) + K_b K}$$

2. Kontrol Proporsional (P)

Pengendali P memberikan keluaran yang sebanding dengan besar error:

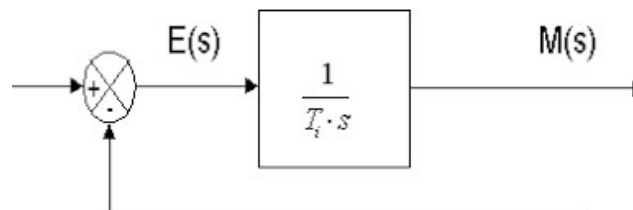
$$u(t) = K_p e(t)$$



Gambar 2. Blok diagram proporsional

Kontrol P mampu mempercepat respon awal, namun tidak mampu menghilangkan steady-state error, terutama pada sistem yang membutuhkan aksi integral untuk menekan error tunak (Ibrahim et al., 2022).

3. Kontrol Proporsional-Integral (PI)



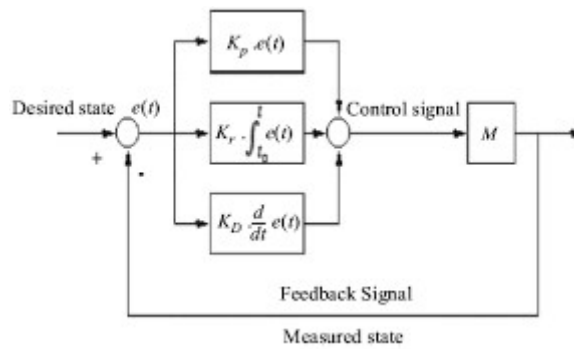
Gambar 3. Blok diagram proporsional-integral

Kontrol PI menambahkan aksi integral agar error tunak dapat dihilangkan:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt$$

Aksi integral menurunkan steady-state error tetapi dapat meningkatkan overshoot dan memperpanjang settling time apabila penalaan parameter tidak tepat (Yaşar et al., 2025). Oleh karena itu tuning K_p dan K_i sangat mempengaruhi performa.

4. Kontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID)



Gambar 4. Blok diagram proporsional-integral-derivatif

Pengendali PID menambahkan aksi derivatif untuk meningkatkan redaman respon transien:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Aksi derivatif membantu mengurangi overshoot dan mempercepat stabilisasi sistem, sehingga kontrol PID umumnya menghasilkan performa paling seimbang pada respon transien dan mantap apabila parameter K_p , K_i , dan K_d dituning secara optimal (Supriyono, 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen berbasis simulasi yang bertujuan membandingkan kinerja kontrol P, PI, dan PID dalam pengaturan kecepatan motor DC tanpa beban menggunakan MATLAB R2021a dan Simulink. Model motor DC dibangun pada Simulink melalui blok plant motor, sumber referensi kecepatan, sensor feedback, dan pembanding error. Ketiga kontrol diterapkan secara bergantian pada model yang sama untuk memastikan perbandingan objektif. Parameter masing-masing kontrol ditentukan menggunakan fitur Auto Tuning pada PID Tuner agar setiap kontrol bekerja pada kondisi parameter terbaiknya.



Gambar 5. Rangkaian simulasi kontrol P



Gambar 6. Rangkaian simulasi kontrol PI



Gambar 7. Rangkaian simulasi kontrol PID

Simulasi dijalankan tiga kali sesuai jumlah kontrol dengan input referensi step dan Stop Time 10 detik. Grafik respon kecepatan diperoleh dari masing-masing simulasi dan dianalisis

berdasarkan rise time, settling time, overshoot, dan steady-state error. Perbandingan dilakukan dengan menilai kecepatan respon, kestabilan, dan akurasi tiap kontrol. Kontrol yang paling sesuai ditentukan dari grafik dengan waktu pemulihan tercepat, overshoot terkecil, dan error tunak mendekati nol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa kontrol P, PI, dan PID terhadap sistem pengaturan kecepatan motor DC tanpa beban. Ketiga kontrol diuji menggunakan input step dengan nilai referensi (set point) 100 rad/s dan waktu simulasi 10 detik. Parameter masing-masing kontrol ditentukan menggunakan fitur Auto Tuning pada MATLAB untuk memastikan setiap pengontrol bekerja pada parameter terbaiknya. Grafik respon kecepatan dianalisis berdasarkan nilai rise time, settling time, overshoot, steady-state value, dan steady-state error.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa setiap kontrol memiliki karakteristik performa yang berbeda. Ringkasan data pengujian ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Tabel respon kontrol P, PI, dan PID

Kontrol	Steady State (rad/s)	Rise Time (s)	Overshoot Maks (%)	Settling Time (s)	Steady-State Error (%)
P	99,32	0,971	60,0	1,519	0,68
PI	98,87	0,656	7,8	0,935	1,13
PID	100,00	0,584	12,5	0,843	0,001

1. Pengendali P

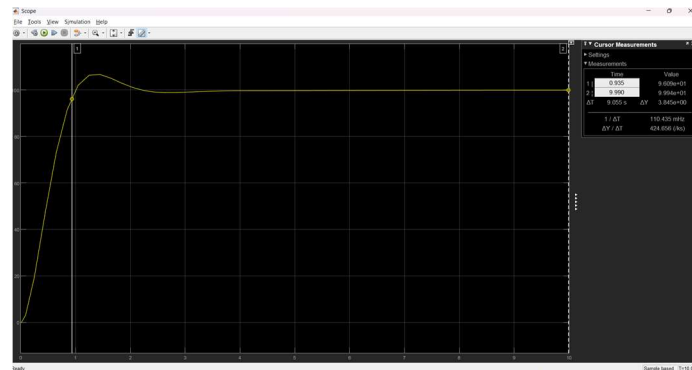


Gambar 8. Grafik simulasi pengendali P

Pengendali P menunjukkan respon awal yang relatif cepat dengan rise time 0,971 detik dan mencapai nilai steady state sebesar 99,32 rad/s. Namun overshoot yang sangat tinggi (60%) menunjukkan bahwa aksi proporsional murni terlalu agresif terhadap kenaikan step. Meskipun steady-state error kecil (0,68%), kestabilan sistem kurang baik karena settling time yang cukup

lama yaitu 1,519 detik. Hal ini sejalan dengan karakteristik umum kontrol P yang mampu menghasilkan respon cepat tetapi kurang mampu meredam lonjakan dan mempertahankan kestabilan sistem.

2. Pengendali PI



Gambar 9. Grafik simulasi pengendali PI

Pengendali PI menghasilkan peningkatan performa pada aspek kestabilan dibandingkan kontrol P. Rise time berkurang menjadi 0,656 detik, overshoot turun drastis menjadi hanya 7,8%, dan settling time berkurang menjadi 0,935 detik. Namun nilai steady state sedikit menurun menjadi 98,87 rad/s sehingga steady-state error menjadi 1,13%. Fenomena ini menunjukkan bahwa aksi integral berhasil menekan overshoot dan mempercepat stabilisasi, tetapi penyetelan parameter integral yang kurang optimal dapat menyebabkan respon akhir sedikit di bawah set point.

3. Pengendali PID



Gambar 10. Grafik simulasi pengendali PID

Pengendali PID menunjukkan kinerja paling unggul di antara ketiga kontrol. Rise time menjadi paling cepat yaitu 0,584 detik, settling time terpendek yaitu 0,843 detik, dan steady state tepat berada pada nilai referensi 100 rad/s dengan steady-state error hampir nol (0,001%). Overshoot memang lebih tinggi daripada kontrol PI (12,5%), namun masih dalam batas yang dapat diterima dan tidak mengganggu kestabilan sistem. Performa ini menunjukkan bahwa penambahan aksi derivatif berhasil memperbaiki respon transien dan memastikan akurasi akhir yang sangat tinggi.

Berdasarkan hasil simulasi, ketiga pengontrol menunjukkan karakteristik performa yang berbeda dalam mengatur kecepatan motor DC tanpa beban. Pengontrol P memberikan respon awal yang cukup cepat, namun nilai overshoot yang sangat tinggi serta waktu pemulihan yang relatif lama menunjukkan bahwa kontrol proporsional murni belum mampu menjaga kestabilan sistem secara efektif. Pengontrol PI memperlihatkan perbaikan signifikan terutama pada aspek kestabilan, terlihat dari overshoot yang jauh lebih rendah dan settling time yang lebih cepat dibandingkan kontrol P, meskipun akurasi pada kondisi tunak masih sedikit kurang karena nilai kecepatan akhir belum sepenuhnya mencapai set point. Sementara itu, pengontrol PID memberikan kinerja paling seimbang, ditandai oleh rise time tercepat, settling time paling singkat, dan steady-state error yang hampir nol. Walaupun overshoot pada kontrol PID lebih tinggi dibandingkan kontrol PI, nilai tersebut masih dalam batas aman dan tidak mengganggu kestabilan sistem secara keseluruhan. Dengan mempertimbangkan kecepatan respon, tingkat kestabilan, serta akurasi akhir, kontrol PID terbukti lebih unggul dibandingkan kontrol P dan PI, sehingga menjadi jenis kontrol yang paling sesuai untuk pengaturan kecepatan motor DC pada kondisi tanpa beban.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi pengaturan kecepatan motor DC tanpa beban menggunakan tiga jenis pengontrol, yaitu P, PI, dan PID pada MATLAB/Simulink, diperoleh bahwa masing-masing kontrol memiliki karakteristik performa yang berbeda. Pengontrol P memberikan respon awal yang cepat namun menghasilkan overshoot tinggi dan waktu pemulihan relatif lama sehingga kestabilan sistem kurang optimal. Pengontrol PI menunjukkan peningkatan stabilitas dibanding kontrol P dengan overshoot rendah dan settling time lebih singkat, tetapi nilai steady state belum sepenuhnya mencapai set point sehingga akurasi akhir masih sedikit kurang. Sementara itu, pengontrol PID menawarkan kinerja paling seimbang dengan rise time tercepat, settling time terpendek, dan steady-state error hampir nol, meskipun overshoot sedikit lebih tinggi dibanding PI namun masih dalam batas aman. Dengan demikian, kontrol PID dinilai sebagai pengontrol paling sesuai untuk sistem pengaturan kecepatan motor DC pada kondisi tanpa beban.

Melalui temuan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas skenario pengujian, termasuk pengujian dengan variasi beban, perubahan set point bertingkat, dan pemberian gangguan eksternal untuk menilai ketahanan dan robustness sistem kontrol secara lebih menyeluruh. Metode tuning juga dapat diperluas dengan membandingkan teknik optimasi lain seperti Ziegler–Nichols, Particle Swarm Optimization (PSO), atau Genetic Algorithm (GA), serta menguji implementasi hardware-in-the-loop agar hasil simulasi dapat divalidasi dengan performa sistem kontrol pada perangkat nyata.

DAFTAR REFERENSI

- Abdullah, Z. B., Amir, S., & Razak, M. (2023). Simulation model of PID controller for DC servo motor at constant and variable speeds. *Journal of Robotics and Control*, 5(2), 145–154.
- Ali, R., & Khan, M. (2021). Performance evaluation of DC motor speed control using PID with MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(4), 112–118.
- Alwan, H., & Jasim, M. (2022). PID speed control of DC motor based on auto-tuning Simulink toolbox. *Iraqi Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 18(1), 78–85.

- Chakraborty, R., Rahman, M., & Uddin, M. (2020). Closed-loop control of DC motor speed using MATLAB/Simulink-based PID controller. *Control Systems Engineering Review*, 12(1), 33–40.
- Dakheel, S. M., Nasir, A., & Mahmood, A. (2022). ANN-enhanced PID controller for DC servo motor speed regulation. *TELKOMNIKA*, 20(6), 1234–1241.
- Dewi, R., & Pratama, A. (2021). Transient performance comparison of P, PI and PID controllers for DC motor drive systems. *Electrical Systems Journal*, 9(3), 211–219.
- Ibrahim, M., Hamoodi, A., & Salih, B. (2022). DC motor speed control using PI controller realized with Simulink and experimental verification. *International Journal of Control Systems*, 7(1), 45–56.
- Ismail, T., & Syahputra, R. (2023). Optimization of PID controller for DC motor using MATLAB auto-tuning features. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 13(4), 998–1007.
- Joki, F. (2025). PID controller tuning of DC motor speed for weighing-scale application. *Instrumentation and Automation Journal*, 31(2), 55–63.
- Khan, R., & Safdar, A. (2024). Dynamic modelling and PID-based control of DC motor using Simulink simulation. *Journal of Automation and Electric Power Systems*, 2(3), 59–68.
- Kurniawan, R., & Taufik, A. (2022). Performance analysis of P, PI and PID speed control on DC motor using MATLAB Simulink. *Journal of Mechatronics and Electrical Power Systems*, 4(1), 17–24.
- Manikandan, K., & Rao, S. (2020). Evaluation of DC motor speed control techniques using MATLAB-Simulink virtual prototyping. *Mechatronics Research Letters*, 8(2), 66–72.
- Masood, J., & Haque, A. (2021). Effect of parameter variations on PID performance in DC motor speed regulation. *Iranian Journal of Electrical Engineering*, 13(3), 185–198.
- Nanda, P., & Mishra, S. (2023). MATLAB-based comparative study of P, PI, and PID controllers for DC motor speed control. *International Conference on Applied Robotics and Mechatronics*, 101–108.
- Saxena, N., Sharma, A., & Verma, R. (2024). Optimized PID tuning for DC servo motor using particle swarm optimization. *International Journal of Electronics and Communication Systems*, 12(1), 1–10.
- Sethi, A., Singh, R., & Kohli, H. (2022). Self-tuned fuzzy-PID for DC motor — a Simulink-based performance analysis. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 14(3), 133–143.
- Supriyono, H. (2024). Development of DC motor speed control using PID based on MATLAB. *Journal of Electrical Technology*, 8(2), 89–97.
- Yaşar, T., Korkmaz, M., & Deniz, U. (2025). Performance comparison of PI and fuzzy controllers for DC motor speed using MATLAB/Simulink. *Journal of Applied Research in Electrical Engineering*, 10(1), 13–24.
- Yunanda, A., & Fadillah, M. (2023). Auto-tuned PID speed control for brushed DC motor using MATLAB Simulink Toolbox. *International Journal of Robotics and Mechatronics*, 17(2), 221–229.