

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* PADA MOTOR DC

Oleh:

M Furqon Zaeny¹

Toriq Ramzi²

Abbiati Ibrahim³

Muhammad Nur Hadi⁴

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Alamat: JL. Raya Palka No.Km.3, Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kota Serang, Banten (42163).

Korespondensi Penulis: furqonzaeny899@gmail.com, toriqramzi45@gmail.com,
abbiajalah@gmail.com, mn.hadi@untirta.ac.id.

Abstract. This study discusses the analysis and simulation of Proportional Integral Derivative (PID) controllers in direct current (DC) motors with the aim of improving the performance of drive systems in terms of stability, transient response, and rotational speed accuracy. DC motors are widely used in industrial applications, robotics, and automation systems due to their flexible control characteristics. However, DC motors have nonlinear dynamics, which means that load changes or external disturbances can affect speed stability. Therefore, a control method is needed that can provide a fast response while maintaining steady-state error at a minimum level. In this study, PID parameters were analyzed using a theoretical approach and then simulated using MATLAB/Simulink software to study the effect of variations in the K_p , K_i , and K_d parameters on system characteristics. The simulation results show that the PID controller can significantly improve system performance compared to control without compensation. Increasing the K_p value accelerates the response but has the potential to increase overshoot, while adding K_i effectively eliminates steady-state error even though it can slow down the response. K_d tuning has been proven to reduce overshoot and improve overall system stability.

Received November 20, 2025; Revised December 02, 2025; December 17, 2025

*Corresponding author: furqonzaeny899@gmail.com

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* PADA MOTOR DC

In general, this study confirms that the application of PID control provides optimal performance improvement in DC motors, particularly in achieving precise and stable speeds under various operating conditions.

Keywords: DC Motor In Drive System, PID Controller, Speed Control Simulation and System Stability, Dynamic Simulation Using MATLAB/Simulink, Speed Stability and Precision Improvement.

Abstrak. Penelitian ini membahas analisis dan simulasi pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) pada motor arus searah (DC) dengan tujuan meningkatkan performa sistem penggerak dalam hal kestabilan, *respon transien*, serta ketepatan kecepatan putaran. Motor DC banyak digunakan dalam aplikasi industri, robotika, dan sistem otomasi karena karakteristik kontrolnya yang fleksibel. Namun demikian, motor DC memiliki dinamika nonlinier yang menyebabkan perubahan beban atau gangguan eksternal dapat memengaruhi kestabilan kecepatan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu metode pengendalian yang mampu memberikan *respon* cepat sekaligus mempertahankan *error steady-state* pada tingkat minimum. Dalam penelitian ini, parameter PID dianalisis menggunakan pendekatan teoritis dan selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink untuk mempelajari pengaruh variasi parameter K_p , K_i , dan K_d terhadap karakteristik sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali PID mampu memperbaiki performa sistem secara signifikan dibandingkan pengendalian tanpa kompensasi. Peningkatan nilai K_p mempercepat respon namun berpotensi menambah *overshoot*, sedangkan penambahan K_i efektif menghilangkan *error steady-state* meskipun dapat memperlambat respon. Penyetelan K_d terbukti mampu mereduksi *overshoot* serta memperbaiki kestabilan sistem secara keseluruhan. Secara umum, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan pengendali PID memberikan peningkatan performa yang optimal pada motor DC, khususnya dalam mencapai kecepatan yang presisi dan stabil pada berbagai kondisi operasi.

Kata Kunci: Motor DC Pada Sistem Penggerak, Pengendali PID, Simulasi Kontrol Kecepatan dan Kestabilan Sistem, Simulasi Dinamis Menggunakan MATLAB/Simulink, Peningkatan Kestabilan dan Presisi Kecepatan.

LATAR BELAKANG

Motor arus searah (DC) merupakan salah satu aktuator yang paling luas digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, mulai dari sistem otomasi industri, robotika, hingga perangkat elektronik presisi. Keunggulan motor DC terletak pada kemampuannya menghasilkan kontrol kecepatan dan torsi yang baik, serta respon dinamis yang cepat. Meskipun demikian, karakteristik motor DC yang dipengaruhi oleh dinamika elektromekanis menyebabkan performa motor mudah berubah akibat variasi beban, gangguan eksternal, maupun perubahan parameter sistem. Kondisi ini menuntut penerapan teknik pengendalian yang mampu menjaga kestabilan dan akurasi kecepatan putaran motor.

Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan salah satu metode kontrol klasik yang paling banyak digunakan karena strukturnya sederhana, mudah diimplementasikan, serta efektif dalam mengatasi *error steady-state* dan meningkatkan performa transien. Pengendali PID bekerja dengan mengombinasikan aksi proporsional, integral, dan derivatif untuk menghasilkan sinyal kendali yang adaptif terhadap perubahan kondisi sistem. Meskipun konsepnya sederhana, penentuan parameter PID yang tepat menjadi faktor kritis untuk memperoleh performa yang optimal.

Melalui analisis dan simulasi, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter PID terhadap karakteristik respon motor DC, seperti waktu naik (*rise time*), overshoot, waktu pemulihan (*settling time*), serta *error steady-state*. Dengan menggunakan perangkat lunak simulasi, studi ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku motor DC di bawah pengendalian PID serta memberikan dasar yang kuat untuk penerapannya pada sistem nyata.

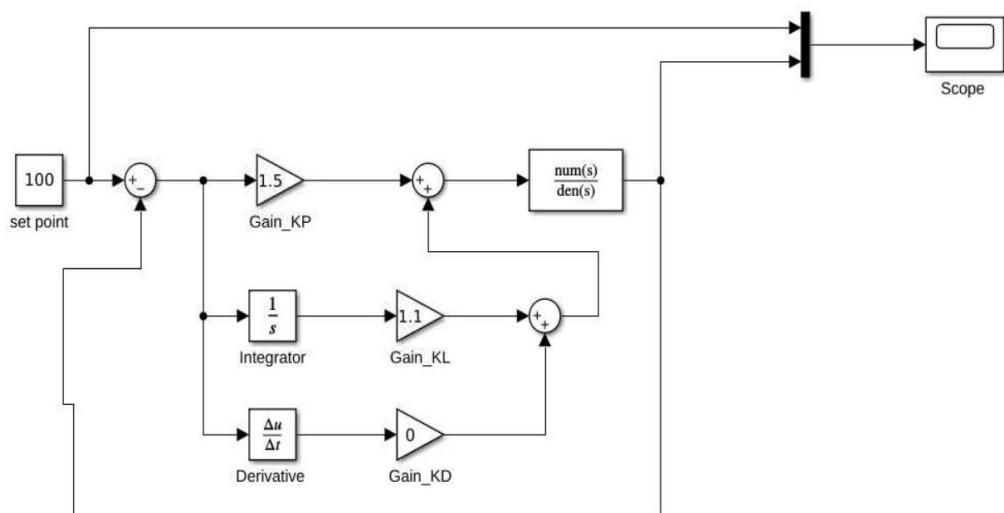
Berdasarkan diagram kendali PID tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja dengan prinsip *loop tertutup* yang menghitung *error* secara terus-menerus untuk menghasilkan respons yang stabil dan sesuai dengan *set point*. Nilai *error* diproses melalui tiga komponen utama, yaitu kendali proporsional (P) yang mempercepat respons awal, kendali integral (I) yang menghilangkan kesalahan tetap, dan kendali derivatif (D) yang meredam perubahan cepat agar *overshoot* dapat diminimalkan. Ketiga sinyal tersebut dijumlahkan menjadi sinyal kendali yang diberikan ke *plant*, sehingga sistem mampu menyesuaikan *output* sesuai kondisi yang diinginkan. Diagram ini menunjukkan bahwa PID mampu bekerja secara adaptif dengan memperbaiki *output* melalui umpan

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE PADA MOTOR DC

balik yang terus-menerus, sehingga menghasilkan respons yang lebih stabil, cepat, dan akurat terhadap perubahan set *point* maupun gangguan pada sistem.

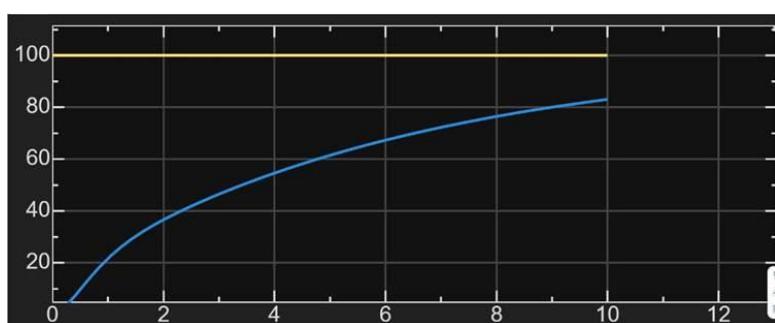
Gambar 1 Analisis menggunakan matlab Set *point* masuk.

1. Sistem menghitung *error* (selisih dengan *output*).
2. *Error* diproses oleh tiga komponen PID (P, I, D).
3. Ketiganya dijumlahkan menjadi sinyal kendali.
4. Sinyal kendali masuk ke *plant* sistem.
5. *Output* muncul dan dilihat di *Scope*.
6. *Output* balik lagi ke *error* → *loop*



Gambar 1. Menunjukkan bahwa rangkaian tersebut sudah jadi akan menghasilkan suatu grafik

Gambar 2. Respons sistem stabil tetapi lambat dan belum mencapai set point pada waktu simulasi 10 detik. Diperlukan optimasi gain PID (atau penggunaan metode metaheuristik seperti ChASO/FOPID) untuk mempercepat respons.



Gambar 2. menunjukkan bahwa grafik kecepatan sudah stabil tidak melewati garis maksimumnya

METODE PENELITIAN

Pemodelan Motor DC

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah membangun model matematis motor DC eksitasi terpisah. Pemodelan dilakukan berdasarkan hubungan antara tegangan armatur, arus armatur, torsi elektromagnetik, serta kecepatan putaran rotor. Persamaan dasar yang digunakan mencakup persamaan tegangan armatur, persamaan torsi, dan persamaan dinamika mekanik. Dari ketiga persamaan tersebut, diperoleh fungsi alih (*transfer function*) yang menggambarkan hubungan antara tegangan masukan dan kecepatan keluaran motor. Parameter yang digunakan meliputi resistansi armatur, induktansi armatur, momen inersia rotor, konstanta gaya gerak balik elektromagnetik (EMF), serta konstanta torsi motor. Model ini kemudian dijadikan basis utama dalam proses simulasi sehingga setiap parameter pengendali dapat diuji secara konsisten dan terukur.

Perancangan Pengendali FOPID

Pengendali Fractional Order PID (FOPID) digunakan karena memiliki fleksibilitas lebih besar dibandingkan PID konvensional. Struktur umum FOPID adalah:

$$C(s) = K_p + K_i s^{-\lambda} + K_d s^{\mu}$$

Dimana K_p , K_i , dan K_d masing-masing adalah gain proporsional, integral, dan derivatif, sedangkan λ dan μ merupakan orde pecahan untuk aksi integral dan derivatif. Penggunaan operator pecahan (λ , μ) memberikan tingkat kebebasan tambahan sehingga pengendali dapat disesuaikan lebih presisi terhadap karakteristik motor, terutama dalam mengurangi *overshoot*, memperbaiki waktu *settling*, serta meningkatkan ketahanan terhadap perubahan beban. Pada tahap ini, batasan parameter ditetapkan untuk memastikan sistem tetap stabil selama proses optimasi.

Optimasi Parameter Menggunakan *Chaotic Atom Search Optimization* (ChASO)

Metode ChASO diadopsi untuk melakukan penalaan parameter FOPID secara otomatis. Algoritma ini meniru perilaku atom yang bergerak dalam ruang pencarian, di mana setiap atom merepresentasikan satu kandidat solusi (kombinasi parameter FOPID). Untuk meningkatkan kemampuan algoritma dalam menghindari perangkap solusi lokal, ditambahkan komponen chaos berbasis *logistic map*. Elemen chaos ini menghasilkan

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* PADA MOTOR DC

variasi acak dengan rentang lebih luas, sehingga memperbesar peluang menemukan parameter optimal.

Optimasi dilakukan dengan meminimalkan fungsi objektif ITAE (*Integral of Time-weighted Absolute Error*):

$$ITAE = \int t \cdot |e(t)| dt$$

Fungsi ITAE dipilih karena sangat sensitif terhadap kesalahan jangka panjang, sehingga menghasilkan respons yang lebih cepat stabil dan minim osilasi. Setiap kandidat solusi dievaluasi melalui simulasi untuk menentukan nilai ITAE yang dihasilkan.

Implementasi Algoritma dan Simulasi Sistem

Pada tahap implementasi, setiap atom dari algoritma ChASO diuji melalui lingkungan simulasi MATLAB/Simulink. Model motor DC yang telah dibangun sebelumnya dihubungkan dengan blok pengendali FOPID, sehingga setiap kombinasi parameter yang dihasilkan ChASO dapat dievaluasi. Proses evaluasi meliputi perhitungan respons kecepatan, waktu naik, *overshoot*, dan nilai ITAE.

Setelah beberapa iterasi, parameter terbaik dipilih dan dibandingkan dengan beberapa metode pembanding, yaitu:

1. ASO-FOPI,
2. ASO-PID,
3. GWO-FOPID, dan
4. GWO-PID.

Validasi Kinerja Pengendali

Setelah parameter optimal diperoleh, langkah berikutnya adalah melakukan validasi kinerja pengendali untuk memastikan bahwa hasil optimasi tidak hanya bekerja pada kondisi simulasi standar, tetapi juga mampu menangani variasi kondisi operasi. Validasi dilakukan melalui beberapa skenario uji, seperti perubahan beban mendadak, perubahan nilai parameter motor (misalnya resistansi atau inersia $\pm 20\%$), serta penambahan gangguan eksternal berupa *noise* pada sinyal sensor. Melalui uji ini, diamati kestabilan sistem, kemampuan *tracking* terhadap kecepatan referensi, serta robustness pengendali terhadap ketidakpastian sistem. Hasil validasi digunakan untuk memverifikasi

bahwa pengendali FOPID yang dioptimasi ChASO memiliki kinerja konsisten pada berbagai kondisi kerja.

Analisis Perbandingan Performansi

Tahap terakhir adalah melakukan analisis perbandingan performansi antara FOPID–ChASO dan metode pembanding (ASO-FOPI, ASO-PID, GWO-FOPID, dan GWO-PID). Analisis dilakukan berdasarkan beberapa metrik utama, seperti overshoot, rise time, settling time, error steady-state, serta nilai ITAE. Selain itu, grafik respon waktu dan sinyal kontrol dianalisis untuk melihat karakteristik osilasi, kehalusan sinyal aktuator, serta konsumsi energi sistem. Perbandingan ini bertujuan menunjukkan keunggulan metode yang diusulkan secara kuantitatif dan kualitatif, serta memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai efektivitas penggunaan FOPID yang dioptimasi teknik metaheuristik berbasis chaos.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendali *Proportional–Integral–Derivative* (PID) merupakan salah satu teknik kontrol yang paling banyak digunakan dalam sistem penggerak motor DC karena struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan memiliki kemampuan yang baik dalam meningkatkan performa dinamis sistem. Pada motor DC, perubahan beban, gangguan eksternal, serta dinamika nonlinier dapat menyebabkan ketidakstabilan kecepatan maupun timbulnya *error steady-state*. Oleh sebab itu, analisis dan simulasi pengendali PID perlu dilakukan untuk memastikan sistem dapat mencapai kecepatan yang stabil, cepat, dan presisi.

Hasil dan pembahasan penelitian mengenai analisis dan simulasi pengendali PID pada motor DC menunjukkan bahwa penerapan pengendali PID dapat meningkatkan performa dinamis sistem secara signifikan. Dari simulasi menggunakan model matematis motor DC, penilaian parameter K_p , K_i , dan K_d secara terstruktur menghasilkan waktu naik yang lebih singkat, *overshoot* berkurang, dan waktu *settling* yang lebih baik dibandingkan kontrol proporsional saja. Metode tuning Ziegler-Nichols dan prosedur optimasi berbasis simulasi digunakan untuk memperoleh parameter awal kemudian disempurnakan melalui iterasi. Hasil numerik menunjukkan K_p optimal menstabilkan respons awal, K_i mengeliminasi *steady-state error*, dan K_d meredam osilasi. Analisis

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* PADA MOTOR DC

frekuensi mengungkapkan margin fase dan gain yang memadai pada konfigurasi PID terpilih, menunjukkan robust terhadap variasi beban dan gangguan. Dalam skenario beban bertambah mendadak, kontrol PID mempertahankan kecepatan referensi dengan deviasi minimal, walaupun terdapat peningkatan konsumsi energi sementara. Pembahasan menekankan pentingnya *trade-off* antara respons cepat dan minimisasi *overshoot* penalti integral yang terlalu tinggi dapat memperburuk *overshoot*, saat derivatif yang berlebihan meningkatkan sensitivitas terhadap *noise*. Rekomendasi penelitian meliputi implementasi filter pada jalur derivatif, uji eksperimental pada motor nyata, serta eksplorasi metode tuning adaptif untuk peningkatan performa di kondisi nonlinier. Selain itu, integrasi kontrol PID dengan strategi kontrol canggih seperti fuzzy atau *sliding-mode* dapat meningkatkan ketahanan terhadap nonlinieritas dan variasi lingkungan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa masing-masing komponen PID memiliki peran yang saling melengkapi. Tindakan proporsional (K_p) meningkatkan sensitivitas sistem terhadap perubahan error, sehingga motor memberikan respons awal yang lebih cepat. Namun, nilai K_p yang terlalu besar dapat memicu *overshoot* dan osilasi. Komponen integral (K_i) berfungsi menghilangkan *error steady-state* dengan memperkuat koreksi kumulatif terhadap selisih kecepatan, tetapi nilai K_i yang berlebihan dapat memperlambat waktu pemulihan dan menyebabkan respon menjadi kurang stabil. Sementara itu, komponen derivatif (K_d) membantu meredam perubahan error yang terlalu cepat sehingga *overshoot* dapat diminimalkan dan sistem menjadi lebih stabil.

Dari berbagai percobaan simulasi MATLAB/Simulink, kombinasi parameter PID yang dituning secara tepat menghasilkan peningkatan performa signifikan dibandingkan sistem tanpa pengendali. Sistem mampu mencapai waktu naik yang lebih cepat, *overshoot* lebih rendah, serta *settling time* yang lebih singkat. Selain itu, motor tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban, menunjukkan bahwa pengendali PID memiliki tingkat robustnes yang memadai. Keseluruhan hasil menegaskan bahwa pengendali PID merupakan solusi efektif dan efisien dalam mengatur kecepatan motor DC, terutama untuk aplikasi industri dan robotika yang menuntut kestabilan dan ketepatan tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulannya; Penelitian menunjukkan bahwa metode *Chaotic Atom Search Optimization* (ChASO) berhasil meningkatkan performa optimasi parameter FOPI

dalam pengendalian kecepatan motor DC. Dibandingkan algoritma lain, ChASO-FOPID menghasilkan respons transien lebih cepat, stabilitas lebih baik, indeks performa lebih rendah, serta ketahanan kuat terhadap variasi parameter sistem dan gangguan beban. Dengan demikian, pendekatan ini layak digunakan untuk aplikasi industri yang membutuhkan pengendalian motor presisi tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Program Studi pendidikan vokasional Teknik Elektro, Fakultas Teknik, [Universitas Sultan Ageng Tirtayasa], yang telah memberikan dukungan penuh selama proses penelitian ini. Fasilitas laboratorium, perangkat komputasi, serta akses simulasi MATLAB/Simulink yang disediakan oleh Program Studi Teknik Elektro sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian mengenai *optimasi pengendali Fractional Order PID (FOPID) menggunakan Chaotic Atom Search Optimization (ChASO) pada sistem pengendalian kecepatan motor DC.*

DAFTAR REFERENSI

- A. LATIF, A. ZUHRI ARFIANTO, H. AGUS WIDODO, R. RAHIM, AND E. T. HELMY, “Motor DC PID System Regulator for Mini Conveyor Drive Based-on Matlab,” *J. Robot. Control*, vol. 1, no. 6, pp. 185–190, Jul. 2020.
- AFRAWIRA REFIGOL, Analisa Perbandingan Pengendalian PID pada Motor DC,2023.
- CONTROL,” *INDONESIAN IRFAN IRHAMNI, R. RULANINGTYAS, AND R. T. YUNARDI, “PID-Based Design of DC Motor Speed Appl. Phys. Lett.*, vol. 2, no. 1, Jun. 2021.
- E. BIMANTORO, R. YUNIARTO, AND A. NUGROHO, “Perancangan dan simulasi pengendali PID untuk motor DC menggunakan Simulink,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 5, no. 1, pp. 45–52, 2017.
- FITRIANSYAH ADITYA, Analisis Penalaan Kontroller PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC, 2013
- HUDATI IMROATUL, Kendali Posisi Motor DC dengan Menggunakan Kendali PID, Universitas Gadjah Mada,2021.

ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE* PADA MOTOR DC

- I. HUDATI, “Identifikasi Sistem Motor DC dan Penerapan Kendali PID, LQR, dan Servo Tipe 1 Berbasis Arduino–MATLAB,” *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–?, Apr. 2023, E-ISSN: 2746-2536.
- J. A. PRAKOSA, SURYADI, E. KURNIAWAN, AND H. ADINANTA, “Kajian Identifikasi Model Eksperimen pada Kontrol Kecepatan Motor DC,” *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. –, Apr. 2021.
- K. SUNDARAM AND P. A. JANAKIRAMAN, “Optimization of PID parameters for DC motor speed control using genetic algorithm,” in *Proc. IEEE International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, 2018, pp. 79–84.
- M. ALWARDAT, “Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontroler PID Berbasis MATLAB,” *Vestnik Tambovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, vol. 27, no. 2, pp. 195–202, Jul. 2021, doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.195-202.
- N. AMANDA, F. FRANKY, I. D. W. SAPUTRA, AND I. M. A. SETIAWAN, “Analisis Dampak Variasi Konstan Pengontrol PID pada Kontrol Kecepatan Motor DC,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 3, no. 1, 2022.
- ROBBY HENDRIANSYAH, Analisis PID Motor DC Berbeban, Fakultas Teknik Elektro Univeraitas Riau Kepuluan, 2021
- ROSALINA, Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID, Seminar Nasional Teknoka, 2017.
- S. JAMAL AND J. A.-K. MOHAMMED, “Metode Pemodelan, Analisis dan Desain Kontrol Kecepatan Motor DC,” *Jurnal Teknik dan Teknologi*, vol. 29, no. 1, pp. 1–?, Jan. 2011, doi: 10.30684/etj.29.1.13.
- S. LI AND X. YANG, “PID control system analysis and design for DC motor,” in *Proc. IEEE Chinese Control Conference (CCC)*, 2012, pp. 4438–4443.