

Sistem Kontrol Putaran Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino Menggunakan Metode PID

^{1*} Delas Agus Saputra, ¹ Winda Agustiarimi, ¹ Ryan Fikri, ¹ Zulwisli

¹Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Bar., Kec. Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat

Corresponding Author e-mail: delasagussaputra@gmail.com

Received: May 2026; Revised: June 2026; Published: July 2026

Abstrak

Pengendalian posisi motor DC merupakan salah satu materi penting dalam pembelajaran otomasi dan kendali di pendidikan vokasi, khususnya pada aplikasi yang menuntut ketepatan gerak seperti lengan robot, conveyor, dan mekanisme positioning presisi. Namun, pendekatan kendali open-loop maupun kendali kecepatan konvensional masih menyisakan persoalan berupa error posisi yang besar, respons yang lambat, serta ketidakstabilan ketika sistem menghadapi gangguan beban. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kontrol posisi motor DC berbasis mikrokontroler Arduino Uno menggunakan metode Proportional-Integral-Derivative (PID). Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali utama, motor DC bergearbox dengan encoder incremental sebagai aktuator sekaligus sensor umpan balik, motor driver sebagai penguat daya, serta LCD I2C sebagai media tampilan informasi secara real-time. Pengujian dilakukan pada dua nilai setpoint kecepatan putar yaitu 150 RPM dan 200 RPM, masing-masing sebanyak sepuluh kali percobaan dengan pencatatan nilai RPM aktual dan persentase error terhadap setpoint. Hasil pengujian pada setpoint 150 RPM menunjukkan variasi nilai RPM antara 70,34 RPM hingga 244,43 RPM, dengan hasil terbaik pada percobaan ketujuh (152,99 RPM, error 1,99%) dan overshoot terbesar pada percobaan kesembilan (244,43 RPM). Pada pengujian setpoint 200 RPM, tiga percobaan awal tertahan pada 116,06 RPM (error 41,97%) sebelum sistem stabil pada kisaran 195-204 RPM dengan error terkecil 0,65% pada percobaan kedelapan. Hasil penelitian membuktikan bahwa sistem kendali PID mampu mengarahkan motor DC mendekati nilai setpoint yang ditetapkan, meskipun parameter K_p, K_i, dan K_d masih memerlukan penyetelan lebih lanjut agar respons sistem lebih presisi.

Kata Kunci: Kontrol PID, Posisi Motor DC, Arduino, Encoder Incremental, Kendali Umpan Balik.

How to Cite: Saputra, D. A., Agustuarimi, W., Fikri, R., & Zulwisli. (2026). Sistem Kontrol Putaran Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino Menggunakan Metode PID. *Journal of Authentic Research*, 5(3), 5173–5185. <https://doi.org/10.36312/qjtmppm75>



<https://doi.org/10.36312/qjtmppm75>

Copyright© 2026, Saputra et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era industri modern saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat, khususnya pada bidang sistem otomasi dan kendali (Kurniawan et al., 2025). Sistem otomasi telah menjadi bagian penting dalam berbagai sektor industri seperti manufaktur, robotika, transportasi, dan sistem produksi cerdas yang menuntut tingkat akurasi, kecepatan, dan kestabilan yang tinggi (Rinaldi & Ikhwan, 2024). Transformasi menuju era otomasi penuh telah mengubah cara sistem produksi dirancang dan dioperasikan, di mana sensor, aktuator, dan pengendali berbasis mikrokontroler menjadi komponen inti yang tidak dapat dipisahkan dari proses industri modern (Wibowo et al., 2020). Dalam sistem tersebut, aktuator seperti motor

DC banyak digunakan karena memiliki karakteristik yang sederhana, efisien, serta mudah dikendalikan dalam berbagai aplikasi teknik (Suryatini et al., 2025).

Sistem kendali motor DC merupakan salah satu bidang keilmuan yang sangat relevan dengan kebutuhan industri saat ini (Kiswantono, 2024). Sistem kendali digunakan secara luas pada berbagai sektor, mulai dari industri manufaktur, otomotif, alat berat, hingga peralatan rumah tangga berbasis motor listrik (Anaam et al., 2022). Di antara berbagai jenis aktuator yang digunakan dalam sistem otomasi, motor DC merupakan salah satu yang paling banyak diaplikasikan karena kemudahan pengendaliannya baik dari sisi kecepatan maupun arah putaran, serta responsnya yang relatif cepat terhadap perubahan sinyal kendali. Pemahaman mendalam mengenai sistem kendali motor DC menjadi kompetensi wajib yang harus dikuasai oleh lulusan teknik elektro dan otomasi industri agar mampu bersaing di dunia kerja.

Motor DC memiliki peran penting dalam sistem industri, terutama pada aplikasi yang membutuhkan pengaturan gerak seperti robot arm, conveyor, dan sistem positioning. Dalam implementasinya, pengendalian motor DC umumnya dilakukan pada dua aspek utama, yaitu pengendalian kecepatan dan pengendalian posisi. Pengendalian kecepatan motor DC merupakan pendekatan yang paling umum diimplementasikan karena relatif sederhana. Namun, dalam banyak aplikasi industri modern, kebutuhan tidak hanya terbatas pada kestabilan kecepatan putar, tetapi juga menuntut kemampuan pengendalian posisi yang presisi dan akurat (Rasyid et al., 2024).

Penggunaan sistem kendali kecepatan konvensional memiliki beberapa kelemahan, terutama ketika sistem dihadapkan pada perubahan beban, gangguan eksternal, serta kebutuhan presisi tinggi. Sistem kendali kecepatan cenderung hanya menjaga kestabilan putaran tanpa menjamin posisi akhir yang tepat. Selain itu, dalam kondisi tertentu, sistem dapat mengalami error steady-state, overshoot, serta respons yang lambat terhadap perubahan setpoint. Hal ini menjadi kendala utama dalam aplikasi industri yang membutuhkan ketepatan posisi maupun kecepatan, seperti pada sistem robotika dan mesin otomatis (Subarta et al., 2024).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sistem kendali yang lebih kompleks yaitu sistem kendali berbasis umpan balik (closed-loop control). Dalam sistem ini, sensor seperti encoder incremental digunakan untuk membaca kecepatan dan posisi aktual motor secara real-time, sehingga sistem dapat mengetahui selisih antara nilai yang diinginkan (setpoint) dengan nilai aktual. Dengan adanya umpan balik ini, sistem dapat melakukan koreksi secara terus-menerus untuk mencapai nilai target yang diinginkan secara presisi, berbeda dengan sistem open-loop yang tidak memiliki mekanisme koreksi kesalahan sama sekali.

Salah satu metode kontrol yang paling banyak digunakan dalam dunia industri adalah metode Proportional-Integral-Derivative (PID) (Rahmani et al., 2022). Metode PID dikenal sebagai metode yang sederhana namun sangat efektif dalam meningkatkan performa sistem kendali (Dhiya'Ushofa et al., 2022). Aksi proporsional bekerja dengan menghasilkan sinyal kendali yang sebanding dengan besar error yang terjadi, aksi integral mengakumulasi error sepanjang waktu sehingga mampu menghilangkan penyimpangan permanen antara nilai aktual dan setpoint, sementara aksi derivative merespons laju perubahan error untuk mengurangi osilasi dan meningkatkan stabilitas sistem (Syarif & Setyawan, 2026). Kombinasi ketiga aksi ini

menjadikan kontrol PID sebagai pilihan yang sangat sesuai untuk sistem motor DC yang memiliki karakteristik dinamis dan rentan terhadap gangguan (Rusimanto et al., 2021).

Pada sistem kendali motor DC, penerapan aksi proporsional saja sering kali tidak cukup untuk menghilangkan steady-state error yang persisten, terutama ketika motor menghadapi beban mekanis atau gesekan internal yang bervariasi. Penambahan aksi integral pada kontroler PID memungkinkan sistem untuk mengoreksi error secara akumulatif hingga mencapai nilai setpoint yang diinginkan (Zanel, 2025). Namun demikian, penerapan aksi integral yang tidak terkendali juga berpotensi menimbulkan overshoot yang besar, terutama pada fase respons awal ketika error masih cukup besar. Oleh karena itu, ketepatan dalam menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d menjadi faktor krusial yang menentukan kualitas respons sistem secara keseluruhan (Ma'arif et al., 2021).

Kemajuan teknologi mikrokontroler yang pesat, khususnya platform Arduino, membuka peluang besar dalam pengembangan sistem kendali yang terjangkau dan mudah diimplementasikan. Arduino telah terbukti menjadi platform yang sangat populer di lingkungan pendidikan maupun riset karena kemudahannya dalam pemrograman, ketersediaan pustaka yang lengkap, serta dukungan komunitas yang sangat besar. Integrasi Arduino dengan motor driver, encoder incremental, dan modul tampilan seperti LCD memungkinkan pembuatan prototipe sistem kendali yang komprehensif, fungsional, dan mampu menampilkan data secara real-time (Ma'arif, 2021).

Penggunaan encoder incremental sebagai sensor umpan balik memiliki peran yang sangat penting dalam sistem kendali posisi maupun kecepatan motor DC. Encoder mampu menghasilkan pulsa-pulsa digital setiap kali poros motor berputar, sehingga jumlah pulsa yang terhitung dalam periode waktu tertentu dapat dikonversi menjadi nilai kecepatan putar dalam satuan RPM (Rotation Per Minute). Akurasi pembacaan encoder sangat memengaruhi ketepatan perhitungan error oleh kontroler PID, sehingga kualitas dan resolusi encoder yang digunakan turut menentukan performa keseluruhan sistem (Rakhman Suharso, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas penerapan kontrol PID pada sistem kendali motor DC. Penelitian yang dilakukan oleh Ma'arif et al. (2021) menunjukkan bahwa implementasi kontrol PID pada kecepatan sudut motor DC mampu memberikan respons yang cukup baik apabila parameter kontroler ditentukan melalui proses pemodelan identifikasi sistem yang tepat. Sejalan dengan itu, Rahman Hidayat et al. (2024) menyimpulkan bahwa pemodelan identifikasi sistem sangat berperan dalam menentukan parameter PID yang optimal untuk pengaturan kecepatan motor DC. Penelitian lain oleh Ardana et al. (2025) juga menunjukkan bahwa trainer PID berbasis Arduino dengan metode tuning Ziegler-Nichols mampu menghasilkan respons kendali kecepatan motor DC yang lebih stabil dibandingkan penyetelan manual. Hasil-hasil penelitian tersebut memperkuat urgensi pengembangan prototipe sistem kendali motor DC berbasis PID yang mampu diuji dan dievaluasi kinerjanya secara sistematis (Suryatini et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah membuktikan efektivitas kontrol PID pada motor DC, masih terdapat kebutuhan untuk mengembangkan prototipe yang secara khusus menguji karakteristik respons sistem pada berbagai nilai setpoint yang berbeda, termasuk mengevaluasi fenomena undershoot dan overshoot yang

muncul akibat parameter PID yang belum tertuning secara optimal. Evaluasi semacam ini penting dilakukan agar diperoleh gambaran nyata mengenai batasan dan potensi perbaikan sistem, sekaligus menjadi dasar bagi pengembangan metode tuning yang lebih sistematis pada penelitian selanjutnya.

Berdasarkan seluruh uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem kontrol posisi motor DC berbasis mikrokontroler Arduino menggunakan metode PID, menguji kinerja sistem pada dua nilai setpoint kecepatan yang berbeda, serta mengevaluasi karakteristik respons sistem berupa overshoot, undershoot, dan error steady-state yang dihasilkan (Hidayat et al., 2024).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (Research and Development) dengan pendekatan rancang bangun sistem kontrol berbasis mikrokontroler. Tahapan penelitian meliputi perancangan konsep sistem, pemilihan alat dan bahan, pembuatan perangkat keras, pemrograman perangkat lunak, integrasi seluruh subsistem, serta pengujian dan analisis kinerja prototipe yang telah dibangun.

Alat dan Bahan

Perancangan prototipe sistem kontrol posisi motor DC ini menggunakan sejumlah komponen elektronik dan mekanik yang dipilih berdasarkan kriteria ketersediaan di pasaran, kemudahan penggunaan dalam lingkungan pendidikan, serta kesesuaian spesifikasi teknis dengan kebutuhan sistem. Seluruh komponen dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Daftar Alat dan Bahan Prototipe Sistem Kontrol Posisi Motor DC

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Fungsi
1	Motor DC Encoder	12V DC, gearbox, encoder incremental	1 unit	Plant utama sekaligus aktuator dan sensor umpan balik posisi/kecepatan
2	Mikrokontroler Arduino Uno	ATmega328P, 5V	1 unit	Pusat pemrosesan data dan kendali seluruh sistem
3	Motor Driver	L298N/BTS7960, penguat daya	1 unit	Menerjemahkan sinyal PWM menjadi tegangan penggerak motor
4	LCD Display I2C	5V DC, antarmuka I2C	1 unit	Menampilkan nilai setpoint, RPM aktual, dan status sistem secara real-time
5	Power Supply (PSU)	12V DC	1 unit	Sumber catu daya utama seluruh rangkaian sistem
6	Printed Circuit Board (PCB)	Custom	1 unit	Tempat perakitan seluruh komponen elektronik agar rapi dan kokoh
7	Kabel Jumper/Konektor	Secukupnya	Secukupnya	Pengkabelan seluruh komponen sistem

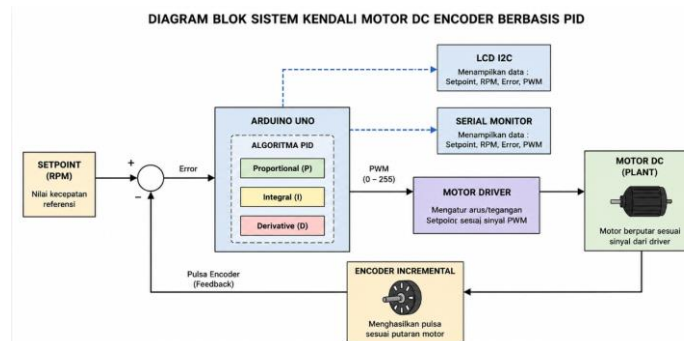
No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Fungsi
8	Rangka/Dudukan Prototipe	Akrilik/aluminium	1 set	Dudukan mekanik motor dan komponen elektronik



Gambar 1. Alat dan Bahan

Diagram Blok Sistem Kontrol

Perancangan sistem kontrol posisi motor DC mengacu pada diagram blok sistem kontrol loop tertutup (closed-loop) yang menggambarkan hubungan fungsional antar komponen utama secara sistematis.



Gambar 2. Diagram blok

Proses pengendalian diawali dari penetapan nilai setpoint sebagai nilai referensi kecepatan putar yang diinginkan, dengan nilai yang digunakan dalam pengujian adalah 150 RPM dan 200 RPM. Nilai setpoint ini masuk ke summing junction (Σ) yang membandingkan nilai referensi dengan nilai kecepatan aktual yang dikirimkan oleh encoder incremental sebagai umpan balik. Hasil perbandingan tersebut menghasilkan nilai error yang dinyatakan dengan persamaan $e(t) = SP - PV$, di mana SP adalah nilai setpoint dan PV adalah process variable atau RPM aktual yang terbaca oleh encoder.

Nilai error $e(t)$ selanjutnya menjadi masukan bagi kontroler PID yang diimplementasikan pada Arduino Uno. Kontroler ini menghitung aksi kontrol berdasarkan tiga komponen, yaitu aksi proporsional (P) yang memberikan respons langsung sebanding dengan besar error, aksi integral (I) yang mengakumulasi error untuk menghilangkan steady-state error, dan aksi derivative (D) yang merespons laju perubahan error untuk mengurangi osilasi. Hasil perhitungan ketiga komponen tersebut menghasilkan sinyal kendali berupa nilai PWM yang diteruskan ke motor driver (Ma'arif et al., 2021).

Motor driver berfungsi mengubah sinyal PWM dari kontroler menjadi tegangan atau arus yang sesuai untuk menggerakkan motor DC, sekaligus mengatur kecepatan putar motor. Encoder incremental yang terpasang pada poros motor kemudian

membaca kecepatan putar aktual dan mengirimkan data tersebut kembali ke summing junction sebagai umpan balik, sehingga proses pengendalian berlangsung secara kontinu dalam siklus loop tertutup.

3. Perancangan Algoritma Kontrol PID

Algoritma kontrol yang diimplementasikan pada Arduino Uno menggunakan pendekatan kontrol PID diskrit. Persamaan umum kontroler PID dalam domain waktu dinyatakan sebagai:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dalam implementasi diskrit pada Arduino Uno, persamaan tersebut dinyatakan sebagai:

$$u[k] = K_p e[k] + K_i T_s \sum_{j=0}^k e[j] + K_d \frac{e[k] - e[k-1]}{T_s}$$

Output kontroler kemudian dibatasi sesuai resolusi PWM 8-bit pada rentang:

$$u[k] = \begin{cases} 255, & \text{jika } u[k] > 255, \\ 0, & \text{jika } u[k] < 0, \\ u[k], & \text{jika } 0 \leq u[k] \leq 255. \end{cases}$$

Output kontroler kemudian dibatasi sesuai resolusi PWM 8-bit pada rentang 0 hingga 255, di mana $e[k] = SP - PV$ adalah error pada iterasi ke- k , dan T_s adalah periode sampling pembacaan encoder (Ma'arif, 2021).

Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan algoritma kontrol PID yang membaca pulsa encoder incremental untuk menghitung kecepatan putar motor secara real-time. Nilai output kontroler dibatasi pada rentang 0 hingga 255 sesuai resolusi PWM 8-bit Arduino. Data RPM aktual, nilai setpoint, dan status sistem ditampilkan secara periodik pada LCD I2C untuk keperluan pemantauan.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan pada dua nilai setpoint, yaitu 150 RPM dan 200 RPM, masing-masing sebanyak sepuluh kali percobaan. Pada setiap percobaan dicatat nilai RPM aktual yang terbaca melalui pembacaan encoder dan ditampilkan pada LCD, kemudian dihitung persentase error terhadap setpoint. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol PID dalam mengarahkan kecepatan motor mendekati setpoint yang ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian prototipe sistem kontrol posisi motor DC secara lengkap, meliputi deskripsi fisik perangkat yang dibangun serta hasil pengukuran pada setiap setpoint.

Deskripsi Fisik Prototipe yang Dibangun

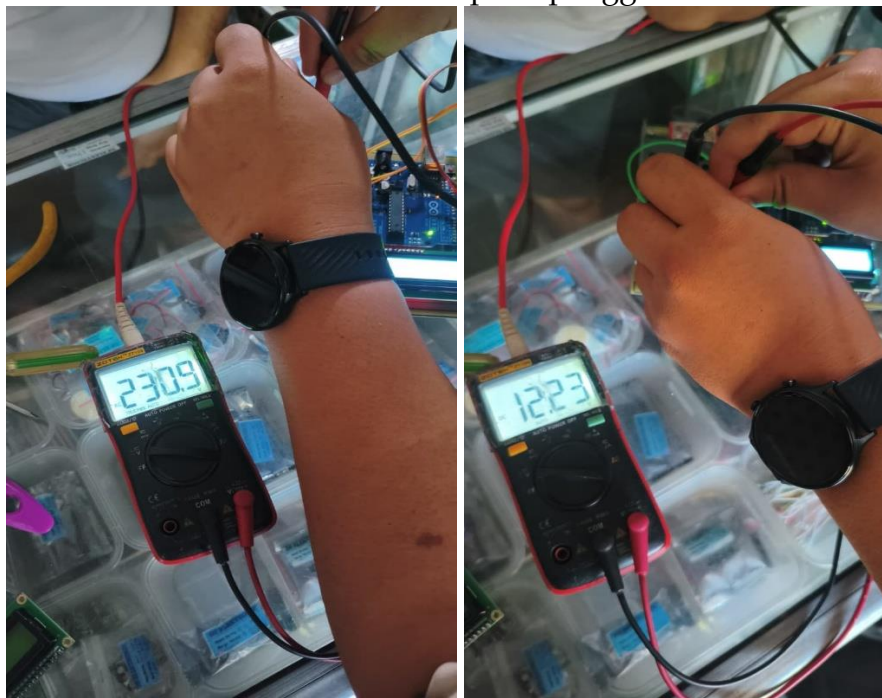
Prototipe sistem kontrol posisi motor DC yang telah berhasil dibangun terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian mekanik berupa motor DC bergearbox dengan encoder incremental yang terpasang pada rangka dudukan, dan bagian elektronik berupa PCB yang mengintegrasikan seluruh komponen kendali.

Motor DC ditempatkan pada dudukan yang kokoh agar putaran poros motor stabil selama pengujian berlangsung. Encoder incremental yang terpasang pada poros motor berfungsi mendeteksi jumlah pulsa yang dihasilkan setiap kali motor berputar, sehingga kecepatan putar aktual dapat dihitung secara real-time oleh Arduino Uno.

Komponen Elektronik pada PCB

PCB merupakan pusat pengendalian seluruh sistem. Di dalamnya terpasang seluruh komponen elektronik yang terintegrasi dan terhubung satu sama lain sesuai diagram koneksi yang telah dirancang.

Komponen-komponen yang terpasang pada PCB meliputi: (1) Arduino Uno sebagai mikrokontroler pengendali utama yang menjalankan algoritma kontrol PID, (2) motor driver yang berfungsi mengatur distribusi daya ke motor DC berdasarkan sinyal PWM dari Arduino, (3) power supply DC 12V sebagai sumber daya utama seluruh sistem, dan (4) LCD display I2C yang menampilkan data setpoint, RPM aktual, dan status sistem secara real-time kepada pengguna.



a) Input Power Supply, b) Output Power Supply

Gambar 3. Hasil pengukuran tegangan pada titik In Regulator dan Out Regulator

Pengukuran tegangan pada input dan output regulator dilakukan untuk memastikan kestabilan catu daya yang diberikan kepada seluruh komponen sistem. Tegangan input regulator terukur sebesar 12 V DC dari power supply, sedangkan tegangan output regulator terukur sebesar 5 V DC yang digunakan untuk memberi daya pada mikrokontroler Arduino Uno dan LCD I2C. Kestabilan tegangan ini sangat penting karena fluktuasi catu daya dapat mempengaruhi akurasi pembacaan encoder dan kinerja keseluruhan sistem kendali.

Hasil Pengujian Sistem pada Setpoint 150 RPM

Pengujian pertama dilakukan dengan memberikan nilai setpoint sebesar 150 RPM. Pengujian dilaksanakan sebanyak sepuluh kali percobaan dengan mencatat nilai RPM aktual yang terbaca melalui encoder. Seluruh data hasil pengujian pada setpoint 150 RPM disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Kontrol Motor DC pada Setpoint 150 RPM

Percobaan	Setpoint	RPM Terbaca	Error (%)	Grafik
1	150	152,99	1,99%	

Tabel 3. Ringkasan Statistik Hasil Pengujian Setpoint 150 RPM

Parameter	Nilai
Rata-rata RPM	135,93 RPM
Standar Deviasi	49,57 RPM
Rata-rata Error	25,51 %
Error Terkecil	1,99% (percobaan ke-7)
Error Terbesar	62,95% (percobaan ke-9)

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa sistem mengalami proses respons yang berfluktuasi cukup besar selama pengujian pada setpoint 150 RPM. Pada percobaan pertama, kecepatan motor hanya mencapai 94,96 RPM, jauh di bawah setpoint, menandakan sistem belum mampu mencapai kecepatan target sehingga terjadi undershoot pada tahap awal respons. Percobaan kedua menunjukkan perbaikan dengan RPM terbaca 160,02, sedikit melampaui setpoint namun masih tergolong overshoot ringan yang menandakan respons sistem cukup baik.

Pada percobaan ketiga dan keempat, kecepatan motor kembali turun ke 128,37 RPM dan 107,27 RPM, menunjukkan sistem belum mampu mempertahankan kecepatan yang telah dicapai. Kondisi ini semakin terlihat pada percobaan kelima, di mana RPM anjlok ke titik terendah sepanjang pengujian yaitu 70,34 RPM, mengindikasikan undershoot yang cukup besar akibat respons sistem yang belum optimal.

Percobaan keenam menunjukkan peningkatan menjadi 121,34 RPM, meski masih di bawah setpoint. Pada percobaan ketujuh sistem mencapai performa terbaiknya dengan RPM 152,99, hanya berselisih sekitar 1,99% dari setpoint, menjadikannya hasil paling presisi di antara seluruh percobaan pada pengujian ini. Percobaan kedelapan mencatat 163,54 RPM, sedikit overshoot namun masih dalam rentang yang relatif dekat dengan target.

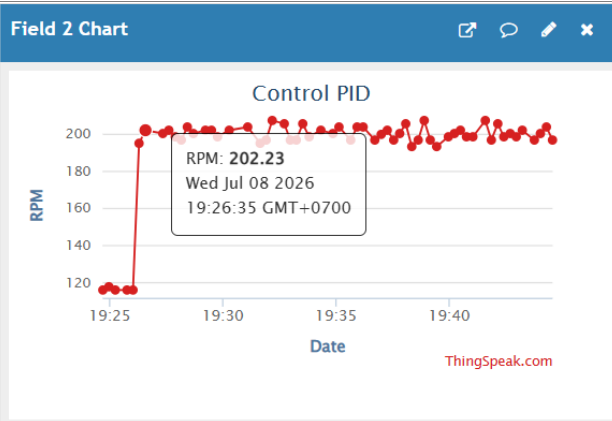
Fenomena paling menonjol terjadi pada percobaan kesembilan, di mana RPM melonjak tajam hingga 244,43 RPM – nilai tertinggi sekaligus overshoot terbesar

dalam keseluruhan pengujian. Pada percobaan kesepuluh, kecepatan kembali turun menjadi 116,06 RPM, kembali menunjukkan kondisi di bawah setpoint.

Hasil Pengujian Sistem pada Setpoint 200 RPM

Pengujian kedua dilakukan dengan memberikan nilai setpoint sebesar 200 RPM untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan kecepatan motor pada kondisi referensi yang lebih tinggi. Pengujian dilaksanakan sebanyak sepuluh kali percobaan dengan prosedur yang sama seperti pada setpoint 150 RPM. Seluruh data hasil pengujian pada setpoint 200 RPM disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Kontrol Motor DC pada Setpoint 200 RPM

Percobaan	Setpoint	RPM Terbac	Error (%)	Grafik
1	200	202,23	1,12	

Tabel 3. Ringkasan Statistik Hasil Pengujian Setpoint 200 RPM

Parameter	Nilai
Rata-rata RPM (seluruh percobaan)	175,17 RPM
Rata-rata RPM (percobaan 4-10)	200,50 RPM
Standar Deviasi (percobaan 4-10)	3,42 RPM
Rata-rata Error (percobaan 4-10)	1,57%
Error Terkecil	0,65% (percobaan ke-8)
Error Terbesar	41,97% (percobaan 1-3)

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa sistem merespons setpoint 200 RPM dengan pola yang berbeda dibandingkan setpoint 150 RPM. Pada tiga percobaan pertama, motor secara konsisten hanya mencapai 116,06 RPM dengan error sebesar 41,97%, menandakan sistem sempat tertahan pada satu titik kesetimbangan sementara sebelum mampu bergerak mendekati setpoint. Perubahan signifikan terjadi pada percobaan keempat, di mana RPM melonjak menjadi 195,19 dengan error menyempit tajam menjadi 2,41%.

Percobaan kelima mencatat 202,23 RPM (error 1,12%), sedikit melampaui setpoint namun sudah sangat mendekati nilai target. Percobaan keenam kembali menunjukkan overshoot ringan dengan RPM 204,27 (error 2,14%), sebelum percobaan ketujuh kembali stabil di 202,23 RPM. Hasil paling presisi diperoleh pada percobaan kedelapan, dengan RPM terbaca 198,71 dan error hanya 0,65% — performa terbaik dari keseluruhan dua puluh percobaan yang dilakukan. Percobaan kesembilan mencatat 196,91 RPM (error 1,55%), sementara percobaan kesepuluh sebagai penutup

pengujian menghasilkan 203,99 RPM dengan error 2,00%, menunjukkan sistem tetap berada dalam rentang yang stabil hingga akhir pengujian.

Hasil pengujian sistem kontrol posisi motor DC pada dua nilai setpoint yang berbeda, yaitu 150 RPM dan 200 RPM, secara keseluruhan menunjukkan bahwa prototipe yang dirancang mampu bekerja sesuai prinsip sistem kontrol loop tertutup berbasis kontrol PID. Sistem berhasil merespons perubahan kondisi kecepatan motor dan melakukan koreksi error secara bertahap, meskipun tingkat kestabilan akhir yang dicapai berbeda antara kedua setpoint tersebut.

Pada pengujian setpoint 150 RPM, rentang nilai yang diperoleh cukup lebar, dari 70,34 RPM hingga 244,43 RPM, mengindikasikan bahwa parameter PID yang digunakan belum sepenuhnya optimal dalam meredam osilasi sistem (Ardana et al., 2025). Kemunculan overshoot ekstrem pada percobaan kesembilan (244,43 RPM) mengindikasikan kemungkinan adanya kontribusi aksi integral yang terlalu dominan tanpa mekanisme pembatas yang memadai, sehingga sinyal kendali sempat melampaui kebutuhan aktual sistem. Sebaliknya, performa terbaik pada percobaan ketujuh (152,99 RPM, error 1,99%) menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu sistem mampu bekerja sangat presisi, mengindikasikan potensi performa optimal yang dapat dicapai apabila parameter K_p , K_i , dan K_d disetel lebih tepat (Putri Mila Diah Ika et al., 2021).

Pada pengujian setpoint 200 RPM, pola yang muncul justru berbeda. Tiga percobaan pertama menunjukkan sistem tertahan pada nilai 116,06 RPM secara berulang, fenomena yang mengindikasikan adanya hambatan pada fase respons awal – kemungkinan disebabkan oleh gesekan mekanis internal motor (static friction) atau nilai gain proporsional yang belum cukup untuk mendorong sistem melewati kondisi tersebut secara cepat (Irhamni et al., n.d.). Begitu sistem berhasil melewati fase awal ini pada percobaan keempat, respons berikutnya menunjukkan karakteristik yang jauh lebih baik dibandingkan pengujian pada setpoint 150 RPM, dengan error yang secara konsisten berada di bawah 2,5% mulai percobaan keempat hingga kesepuluh. Hal ini mengindikasikan bahwa begitu sistem berhasil keluar dari kondisi awal yang tertahan, kombinasi aksi proporsional dan integral bekerja cukup efektif dalam menjaga kecepatan motor mendekati target (Rahman Hidayat et al., 2024).

Perbandingan kedua pengujian menunjukkan bahwa error rata-rata pada setpoint 200 RPM (setelah melewati fase awal) cenderung lebih kecil dan lebih stabil dibandingkan setpoint 150 RPM. Temuan ini sejalan dengan Ma'arif et al. (2021) yang menyatakan bahwa performa kontroler PID pada motor DC sangat bergantung pada ketepatan proses tuning parameter, dan bahwa satu set parameter yang sama tidak selalu memberikan hasil optimal pada seluruh rentang operasi. Hal ini juga sejalan dengan Suryatini et al. (2025) yang menekankan pentingnya optimasi parameter PID melalui metode tuning yang tepat guna memperoleh respons kecepatan motor yang stabil.

Keterbatasan penelitian ini mencakup beberapa aspek. Pertama, parameter PID yang digunakan masih merupakan hasil penyetelan manual berdasarkan pengamatan empiris sehingga belum tentu merupakan nilai yang paling optimal untuk seluruh rentang setpoint; penerapan metode tuning sistematis seperti Ziegler-Nichols berpotensi menghasilkan performa yang lebih baik (Ardana et al., 2025). Kedua, fluktuasi RPM pada percobaan-percobaan awal menunjukkan bahwa karakteristik mekanis motor dan gearbox masih perlu dievaluasi lebih lanjut. Ketiga, pengujian

belum melibatkan variasi beban eksternal secara sistematis sehingga analisis robustness sistem terhadap gangguan masih terbatas (Subarta et al., 2024). Keempat, cakupan pengujian yang terbatas pada dua nilai setpoint menyebabkan karakteristik sistem pada rentang kecepatan yang lebih luas belum sepenuhnya terpetakan. Meskipun demikian, hasil pengujian secara keseluruhan membuktikan bahwa prototipe yang dikembangkan telah memenuhi tujuan perancangan dan mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati nilai setpoint yang ditetapkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembangunan, dan pengujian prototipe sistem kontrol posisi motor DC berbasis mikrokontroler Arduino menggunakan metode PID, dapat disimpulkan bahwa prototipe sistem kontrol posisi motor DC berhasil dirancang dan dibangun dengan mengintegrasikan mikrokontroler Arduino Uno, motor DC encoder, motor driver, LCD I2C, dan power supply dalam satu sistem yang terpadu dan fungsional. Implementasi algoritma kontrol PID pada Arduino Uno terbukti mampu mengarahkan kecepatan motor mendekati dua nilai setpoint yang berbeda, yaitu 150 RPM dan 200 RPM, meskipun dengan tingkat konsistensi yang berbeda pada kedua pengujian. Pada pengujian setpoint 150 RPM, sistem menunjukkan variasi respons yang cukup besar dengan hasil terbaik pada percobaan ketujuh (152,99 RPM, error 1,99%) dan overshoot terbesar pada percobaan kesembilan (244,43 RPM). Sementara itu, pada pengujian setpoint 200 RPM, sistem mengalami fase awal yang tertahan pada tiga percobaan pertama (116,06 RPM, error 41,97%), namun setelahnya menunjukkan performa yang jauh lebih stabil dengan error terkecil sebesar 0,65% pada percobaan kedelapan. Secara keseluruhan, prototipe ini terbukti mampu bekerja mendekati target kecepatan yang ditetapkan sebagai representasi sistem kontrol posisi motor DC berbasis PID, meskipun parameter K_p , K_i , dan K_d masih memerlukan penyetelan lebih lanjut untuk mencapai respons yang lebih presisi dan stabil.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode tuning parameter PID secara sistematis menggunakan pendekatan Ziegler-Nichols atau particle swarm optimization guna memperoleh parameter kontrol yang lebih optimal dan respons sistem yang lebih stabil. Selain itu, penelitian lanjutan perlu melengkapi pengujian dengan analisis gangguan beban yang terstruktur serta memperluas cakupan pengujian pada rentang setpoint yang lebih beragam, sehingga karakteristik sistem pada berbagai kondisi operasi dapat terpetakan secara lebih komprehensif. Penggunaan sensor arus dan tegangan juga direkomendasikan untuk memantau konsumsi daya motor selama operasi, yang dapat memberikan informasi tambahan mengenai efisiensi sistem dan hubungan antara respons kecepatan dengan beban mekanis yang bekerja. Terakhir, pengembangan antarmuka pengguna berbasis komputer atau smartphone dapat dilakukan untuk memudahkan proses monitoring dan tuning parameter secara real-time.

REFERENSI

- Anaam, I. K., Hidayat, T., Pranata, R. Y., Abdillah, H., & Putra, A. Y. W. (2022, June). Pengaruh trend otomasi dalam dunia manufaktur dan industri. In *Vocational Education National Seminar (VENS)* (Vol. 1, No. 1).
- Ardana, D. E., Maulana, Z., & Wibisono, G. (2025). Digital PID trainer based on Arduino for DC motor speed control with Ziegler Nichols method. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 14(3). <https://doi.org/10.25077/jnte.v14n3.1301.2025>
- Dhiya'Ushofa, B., Anifah, L., & Endryansyah, E. (2022). Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), 332-342.
- Irhamni, I., Rulaningtyas, R., Yunardi, R. T., & History, A. (2021). PID-based design of DC motor speed control. *Journal of Electrical and Control Engineering*, 7(2), 45-52.
- Kiswantono, A. (2024). Fuzzy Control Innovation: Optimizing DC Motor Performance with Solar Energy. *Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem dan Komputer*, 4(1), 31-44. <https://doi.org/10.32503/jtecs.v4i1.4687>
- Kurniawan, M. S. K., Wijaya, K., & Purba, H. H. (2025). Implementasi Sistem Kendali Otomatis Pada Industri Manufaktur: Kajian Literatur. *Teknoin*, 30(1). <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol30.iss1.art1>
- Ma'arif, A. (2021). Embedded control system of DC motor using microcontroller Arduino and PID algorithm. *IT Journal Research and Development*, 6(1), 30-42. [https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6\(1\).6125](https://doi.org/10.25299/itjrd.2021.vol6(1).6125)
- Ma'arif, A., Istiarno, R., & Sunardi, S. (2021). Kontrol proporsional integral derivatif (PID) pada kecepatan sudut motor DC dengan pemodelan identifikasi sistem dan tuning. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 374. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>
- Putri, M. D. I., Ma'arif, A., & Puriyanto, R. D. (2021). Pengendali kecepatan sudut motor DC menggunakan kontrol PID tuning Ziegler Nichols. *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, 7(1), 15-23.
- Rahman Hidayat, A., Risdhayanti, A. D., Fitri, A. P., & Wahono, W. T. (2024). Pemodelan identifikasi sistem untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PID. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(1), 253-262. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5409>
- Rahmani, S., Rosana, S. A., & Tian, G. H. (2022). Sistem kontrol level air dengan pengontrol PID. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, 10(2), 174-181. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v10i2.9330>
- Rakhman Suharso, A. (2022). Incremental rotary encoder accuracy testing on ship rudder simulation. *Jurnal Teknologi Maritim*, 1(3), 78-85.
- Rasyid, T. A., Divanny, S. R., Saputra, K. R., Rizqi, M., Arifuddin, D., Hazmi, H. A., & Priambodo, A. S. (2024). Pengendalian RPM pada motor DC encoder dengan PID controller berbasis Simulink. *JTE UNIBA*, 8(2), 120-128.
- Rinaldi, B., & Ikhwan, I. (2024). Inovasi Teknologi Tepat Guna Dalam Optimalisasi Sistem Manufaktur Dan Proses Produksi. *Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna*, 3(1), 106-113.
- Rusimanto, P. W., Endryansyah, & Kholis, N. (2021). Rancang bangun sistem kendali kecepatan putaran motor DC menggunakan PID controller. *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, 7(2), 89-97.

- Subarta, B., Eteruddin, H., & Setiawan, D. (2024). Analisis perbandingan sistem kendali PID dan sistem kendali fuzzy PID pada pengontrolan kecepatan motor DC. *TELKA*, 10(2), 178-192.
- Suryatini, F., Sunarya, A. S., & 'Amilin, Q. K. (2025). Optimasi kendali PID kecepatan motor DC dengan metode tuning particle swarm optimization. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, 5(1), 57-66. <https://doi.org/10.35313/jitel.v5.i1.2025.57-66>
- Syarif, M. G., & Setyawan, G. E. (2026). Sistem Kontrol Zero Moment Point (ZMP) untuk Keseimbangan Humanoid Robot dengan Proportional Integral Derivatif (PID). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 10(01).
- Wibowo, N. R., Aminnudin, A., & Syaputra, N. A. (2020). Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Sistem Kendali Menggunakan Labview. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 6(2), 60-67. <https://doi.org/10.32487/jst.v6i2.775>
- Zaeny, M. F., Ramzi, T., Ibrahim, A., & Hadi, M. N. (2025). ANALISIS DAN SIMULASI PENDALI PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE PADA MOTOR DC. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 3(12). <https://doi.org/10.62281/0z9vqb07>
- Zanel, D. (2025). Rancang Sistem Kontrol Suhu pada Inkubasi Telur Berbasis PID. *INOVTEK-Seri Elektro*, 7(1), 29-37. <https://doi.org/10.35314/ise.v7.i1.758>