

# Pemodelan Identifikasi Sistem untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PID

Arief Rahman Hidayat<sup>1</sup>, Anindya Dwi Risdhayanti<sup>1</sup>, Fitri<sup>1</sup>, Dinda Ayu Permatasari<sup>1</sup>, Wahyu Tri Wahono<sup>1</sup>  
e-mail: [arhidayat@polinema.ac.id](mailto:arhidayat@polinema.ac.id), [risdhayanti@polinema.ac.id](mailto:risdhayanti@polinema.ac.id), [fitri@polinema.ac.id](mailto:fitri@polinema.ac.id), [dinda\\_ayu@polinema.ac.id](mailto:dinda_ayu@polinema.ac.id), [wahyu\\_tri@polinema.ac.id](mailto:wahyu_tri@polinema.ac.id)

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 8 April 2024

Direvisi 20 Mei 2024

Diterbitkan 30 Mei 2024

### Kata kunci:

Motor DC  
Pemodelan Sistem  
Identifikasi Sistem  
Kontrol PID

### Keywords:

DC Motor  
System Modelling  
System Identification  
PID Control

### Penulis Korespondensi:

Arief Rahman Hidayat,  
Jurusan Teknik Elektro,

## ABSTRAK

Perancangan untuk pemodelan dan identifikasi sistem untuk pengaturan sistem merupakan aspek penting dalam pengembangan kontroler untuk motor DC guna mencapai pengaturan kecepatan yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi metode-metode pemodelan dan identifikasi sistem yang efektif serta menerapkan kontrol Proporsional-Integral-Derivative (PID) untuk mengatur kecepatan motor DC. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan performa kontrol kecepatan motor DC dalam berbagai aplikasi. Pemodelan sistem motor DC dilakukan untuk memahami karakteristik dinamisnya, sedangkan identifikasi parameter sistem dilakukan untuk mengestimasi parameter-parameter penting yang mempengaruhi respons motor. Kontrol PID dipilih karena kemampuannya yang teruji dalam memberikan respons yang cepat dan stabil terhadap perubahan beban atau kondisi sistem. Melalui integrasi pemodelan, identifikasi, dan pengaturan kontrol PID, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem pengaturan kecepatan yang dapat diandalkan dan efisien untuk motor DC. Hasil penelitian menghasilkan respon transien dengan settling time sebesar 2.5 s, maksimum overshoot sebesar 3,45%, error steady state sebesar 0. Penelitian ini menegaskan efektivitas pendekatan identifikasi sistem dalam meningkatkan kinerja motor DC, memungkinkan aplikasi yang lebih handal dan efisien di berbagai industri.

## ABSTRACT

*Design for system modeling and identification for system regulation is an important aspect in developing controllers for DC motors to achieve optimal speed regulation. This research aims to investigate effective modeling and system identification methods and apply Proportional-Integral-Derivative (PID) control to regulate the speed of DC motors. This approach is expected to improve the speed control performance of DC motors in various applications. DC motor system modeling is carried out to understand its dynamic characteristics, while identification of system parameters is carried out to estimate important parameters that influence motor response. PID control was chosen because of its proven ability to provide a fast and stable response to changes in load or system conditions. Through the integration of modeling, identification, and PID control settings, this research aims to create a reliable and efficient speed regulation system for DC motors. The research results produce a transient response with a settling time of 2.5 s, maximum overshoot of 3.45%, steady state error of 0. This research confirms the effectiveness of the system identification approach in improving DC motor performance, enabling more reliable and efficient applications in various industries.*



Politeknik Negeri Malang  
Jl. Soekarno Hatta no 9 Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65145.  
Email: [arhidayat27@gmail.com](mailto:arhidayat27@gmail.com)  
+62 821-4188-3792

## 1. PENDAHULUAN

Motor DC merupakan komponen yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kontrol kecepatan, seperti robotika, mesin industri, dan kendaraan listrik. Pengaturan kecepatan yang tepat pada motor DC diperlukan untuk memastikan kinerja yang optimal dalam berbagai situasi operasional. Pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan dengan menggunakan Kontrol PID. Kontrol PID adalah salah satu metode kontrol yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol otomatis. PID memiliki kemampuan untuk menghasilkan respons yang cepat dan stabil terhadap perubahan kondisi sistem.

Sebelum mengimplementasikan kontrol PID, penting untuk memahami dengan baik sifat-sifat dinamis dari sistem motor DC yang akan diatur. Langkah pertama dalam pemodelan sistem adalah mengidentifikasi parameter-parameter kunci yang diperlukan untuk merancang kontroler yang efisien. Identifikasi parameter sistem adalah proses untuk menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi perilaku motor DC, seperti inersia, gesekan, dan konstanta elektromagnetik. Informasi ini diperlukan untuk menghasilkan model matematika yang akurat dari sistem.

Penelitian pemodelan identifikasi sistem kendali kecepatan motor DC dengan kendali PID merupakan topik penting dalam pengembangan sistem kendali motor. Berbagai penelitian telah dilakukan pada domain ini, seperti studi identifikasi model eksperimental pada kendali kecepatan motor DC [1], penerapan kendali fuzzy pada motor DC [2], dan penggunaan kendali PID pada motor DC dengan berbagai metode seperti Arduino [3], mikrokontroler ATmega16 [4], dan Algoritma Firefly [5].

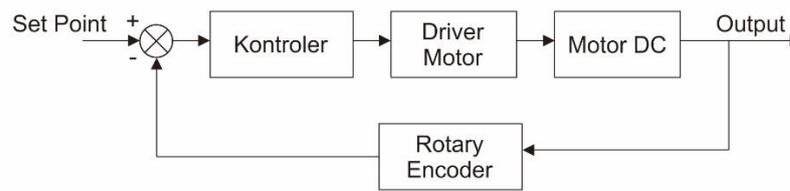
Pengoptimalan kinerja motor DC dalam hal pengendalian kecepatan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi biaya produksi, akurasi model, dan stabilitas sistem. Metode kendali PID telah terbukti efektif dalam mengatur kecepatan motor DC [6], [7], [2], [8], dengan penelitian yang melibatkan penggunaan teknologi terkini seperti panel surya [9], SCADA [10], dan Konverter Cuk [11], [12], [8]. Penelitian lain juga mencakup aspek penyetulan parameter PID menggunakan algoritma genetika [13], penerapan metode cerdas seperti logika fuzzy dan algoritma genetika dalam pengendalian motor DC [14], serta penerapan metode pengendalian lainnya seperti LQR [14]. [15], Pengendalian Vektor Fluks [16], dan Fuzzy PID [17] untuk meningkatkan kinerja sistem. Oleh karena itu, melalui sintesis berbagai penelitian yang relevan dalam domain ini, maka dalam penelitian ini dilakukan pemodelan identifikasi sistem untuk pengendalian kecepatan motor DC dengan kontrol PID. Tujuan dari penelitian judul ini adalah untuk mengembangkan model matematis motor DC, mengidentifikasi parameter-parameter dari model tersebut, dan merancang kontrol PID yang efektif untuk mencapai pengaturan kecepatan yang diinginkan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Blok Diagram Sistem

Rancangan sistem disusun berdasarkan blok diagram yang telah dibuat. Blok diagram ini akan menjelaskan proses alur kerja sistem kontrol motor DC dapat ditunjukkan dalam Gambar 1. Setpoint merupakan nilai kecepatan yang diberikan oleh user dan dapat dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Ketika nilai setpoint dibandingkan dengan pembacaan kecepatan motor dari sensor, maka perbedaan antara keduanya disebut sebagai error. Nilai error dan setpoint kemudian diolah dan dihitung sehingga dapat menghasilkan sinyal kontrol.





Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Sinyal ini selanjutnya digunakan sebagai input oleh driver motor yang bertugas menggerakkan motor DC sesuai dengan sinyal kontroler. Selanjutnya merupakan tahap pengujian antara lain: Pengujian motor dc, pengujian driver motor, pengujian rotary encoder, penentuan fungsi alih motor dc dan pengujian secara keseluruhan.

## 2.2 Observabilitas dan Kontrolabilitas dari Sistem

Pada penelitian ini, fokus utama adalah untuk memastikan bahwa sistem motor DC yang akan dikendalikan dengan kontrol PID memiliki properti observabilitas dan kontrolabilitas yang baik. Observabilitas dan kontrolabilitas merupakan konsep fundamental dalam teori kontrol yang menentukan kemampuan kita untuk mengamati dan mengendalikan keadaan internal sistem.

### 2.2.1. Observabilitas Sistem

Observabilitas adalah kemampuan untuk menentukan keadaan internal sistem hanya dengan menggunakan output sistem. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menguji observabilitas sistem motor DC adalah sebagai berikut:

1. Model Matematika Sistem: Sistem motor DC akan dimodelkan menggunakan persamaan diferensial yang merepresentasikan dinamika sistem. Model ini akan mencakup elemen-elemen seperti inersia rotor, resistansi, induktansi, dan konstanta elektromotif (back EMF).
2. Matriks Observabilitas yang ditunjukkan pada persamaan (1). Dari model matematika sistem, matriks observabilitas akan dibentuk. Matriks ini disusun berdasarkan persamaan keadaan (state equations) dan persamaan output (output equations) sistem.

$$Ob = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Di mana A adalah matriks keadaan, C adalah matriks keluaran, dan n adalah derajat sistem.

3. Pengujian Rangking Matriks: Observabilitas diuji dengan mengevaluasi rangking dari matriks observabilitas. Sistem dikatakan observable jika matriks observabilitas memiliki rangking penuh, yaitu sama dengan jumlah keadaan sistem (n).

### 2.2.2. Kontrolabilitas Sistem

Kontrolabilitas adalah kemampuan untuk memindahkan keadaan internal sistem dari kondisi awal ke kondisi akhir yang diinginkan dalam waktu tertentu dengan menggunakan input sistem. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menguji kontrolabilitas sistem motor DC adalah sebagai berikut:

1. Matriks Kontrolabilitas ditunjukkan pada persamaan (2). Berdasarkan model matematika sistem yang telah diperoleh, matriks kontrolabilitas dibentuk. Matriks ini disusun dari matriks keadaan A (state matrix) dan matriks input B (input matrix).

$$Co = [B \quad AB \quad A^2B \quad \dots \quad A^{n-1}B] \quad (2)$$



2. Pengujian Rangkings Matriks : Kontrolabilitas diuji dengan mengevaluasi rangking dari matriks kontrolabilitas. Sistem dikatakan controllable jika matriks kontrolabilitas memiliki rangking penuh, yaitu sama dengan jumlah keadaan sistem ( $n$ ).

### 2.2.3. Simulasi dan Verifikasi

Setelah memastikan bahwa sistem motor DC yang dimodelkan memiliki properti observabilitas dan kontrolabilitas yang baik, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dan verifikasi menggunakan software seperti MATLAB/Simulink untuk mensimulasikan model sistem motor DC. Parameter sistem yang telah diidentifikasi akan digunakan untuk menjalankan simulasi dan mengamati respons sistem terhadap kontrol PID. Respons sistem terhadap berbagai input akan dianalisis untuk memastikan bahwa semua keadaan sistem dapat diobservasi dan dikendalikan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian lebih lanjut akan dilakukan dengan eksperimen pada perangkat keras motor DC untuk memastikan kesesuaian hasil simulasi dengan kenyataan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Pengujian Motor DC

Pengujian motor DC merupakan tahap kritis dalam penelitian ini untuk memastikan bahwa model yang telah dikembangkan dan kontrol PID yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik pada perangkat keras yang sebenarnya. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi kinerja sistem secara empiris dan untuk menilai efektivitas kontrol PID dalam mengatur kecepatan motor DC. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik motor terhadap tegangan masukan motor yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.

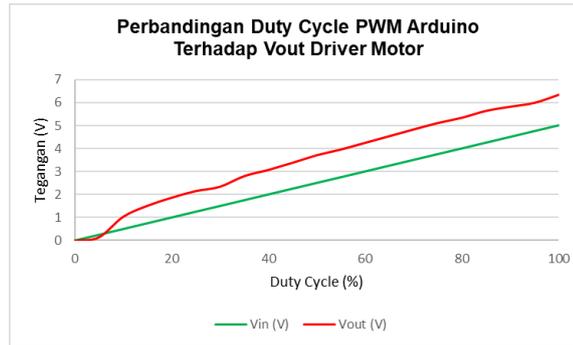


Gambar 2. Perubahan Kecepatan Motor Terhadap Tegangan Masukan

### 3.2. Pengujian Driver Motor

Pengujian driver motor berguna untuk memastikan bahwa driver motor mampu mengontrol motor DC dengan efektif sesuai dengan sinyal kontrol PID yang diberikan. Driver motor berfungsi sebagai penghubung antara pengendali (PID controller) dan motor DC, mengatur aliran daya ke motor untuk mengubah kecepatan atau torsi sesuai kebutuhan. Driver motor dipilih berdasarkan spesifikasi motor DC yang digunakan, termasuk tegangan kerja, arus maksimum, dan kebutuhan daya. Pengujian driver motor bertujuan untuk mengetahui masukan sinyal PWM dari mikrokontroler dengan besarnya perubahan nilai tegangan keluaran driver. Grafik perubahan tegangan driver motor terhadap sinyal PWM ditunjukkan pada Gambar 3.

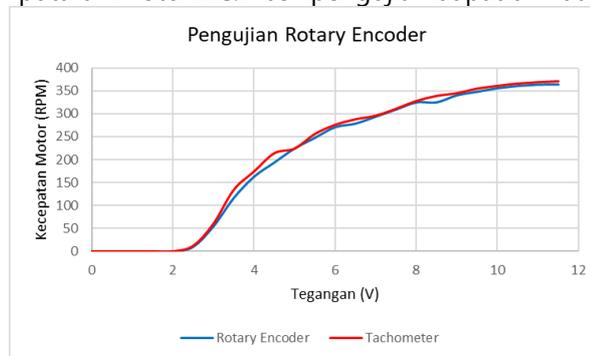




Gambar 3. Hasil Perbandingan Tegangan Keluaran Driver Motor terhadap Sinyal PWM Arduino

### 3.3. Pengujian Rotary Encoder

Pengujian rotary encoder dilakukan untuk memastikan bahwa sensor ini dapat mengukur kecepatan dan posisi rotasi motor DC dengan akurat. Rotary encoder adalah komponen penting dalam sistem kontrol, karena menyediakan feedback yang diperlukan untuk pengendalian yang presisi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelinieran encoder dalam pembacaan putaran motor DC. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



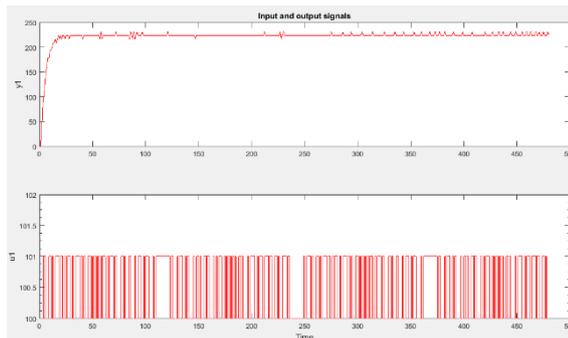
Gambar 4. Hasil Pengujian Rotary Encoder

### 3.4. Penentuan Fungsi Alih Motor DC

Fungsi alih dari motor DC dapat diperoleh melalui identifikasi dengan cara membangkitkan sinyal Pseudo Random Binary Sequence (PRBS) yang ditunjukkan pada Gambar 5. Langkah pertama dalam pengujian ini adalah mencari nilai linier dari hasil pembacaan kecepatan motor terhadap duty cycle PWM. Proses ini melibatkan pengujian motor DC pada berbagai duty cycle PWM dan mencatat kecepatan yang dihasilkan untuk setiap duty cycle tersebut. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menemukan hubungan linier antara duty cycle PWM dan kecepatan motor, yang akan menjadi dasar untuk langkah-langkah selanjutnya.

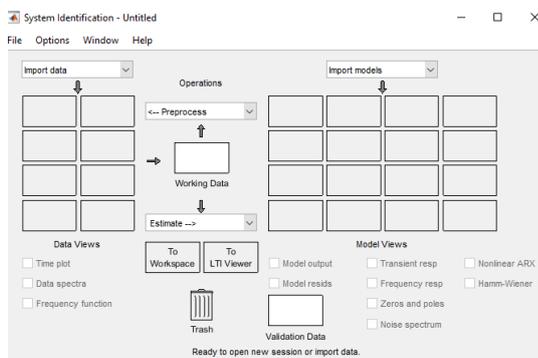
Langkah kedua adalah membangkitkan sinyal PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) dengan menentukan nilai batas bawah dan batas atas berdasarkan nilai linier yang telah ditemukan. Sinyal PRBS ini merupakan sinyal input yang akan digunakan untuk menguji respons dinamis motor DC. Setelah sinyal PRBS yang sesuai telah dibuat, langkah ketiga adalah menggunakan sinyal ini sebagai input ke motor DC. Sinyal PRBS memberikan variasi input yang luas dan acak, memungkinkan kita untuk mengamati respons motor DC secara menyeluruh dan mendapatkan data yang mencakup berbagai kondisi operasi.





Gambar 5. Sinyal PRBS

Langkah terakhir adalah melakukan identifikasi sistem menggunakan data yang diperoleh dari pengujian dengan sinyal PRBS. Data kecepatan motor DC yang dihasilkan sebagai respons terhadap sinyal PRBS dianalisis menggunakan software MATLAB. Dengan MATLAB, model matematis dari sistem motor DC dapat diidentifikasi, memungkinkan untuk merancang kontrol PID yang lebih tepat dan efisien. Proses identifikasi ini melibatkan *fitting* model ke data eksperimen untuk menemukan parameter sistem yang akurat, yang kemudian dapat digunakan untuk pengendalian yang lebih baik. Dengan menggunakan sintaks ident MATLAB, data sinyal PRBS dan data kecepatan motor yang telah disimpan dapat di import pada blok System Identification Toolbox seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan System Identification Tool

Kemudian dilakukan estimasi model yang dengan menggunakan transfer function sehingga diperoleh identifikasi motor DC yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Hasil identifikasi diperoleh yang diperoleh adalah sebagai berikut,

Tipe model : Orde 2

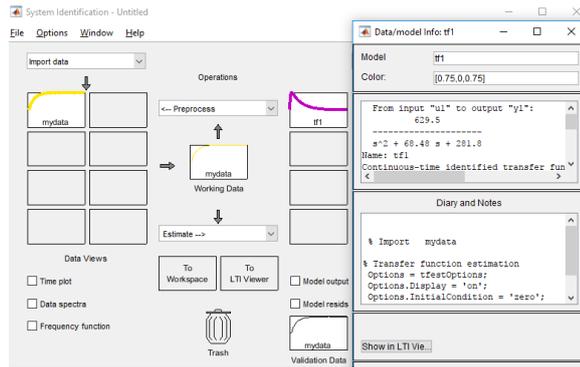
Best Fit : 85.74%

Fungsi alih :

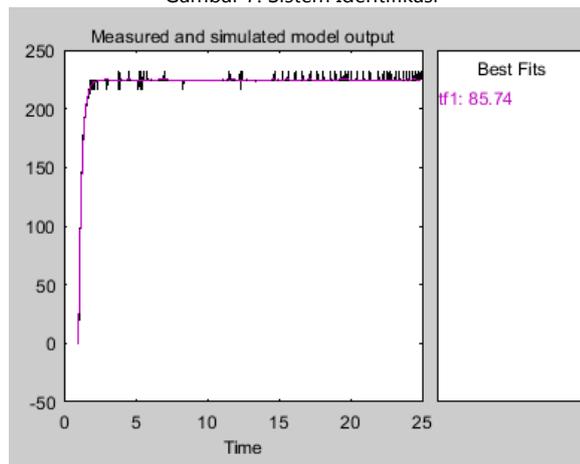
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{629.5}{s^2 + 68.48s + 281.8}$$

(3)



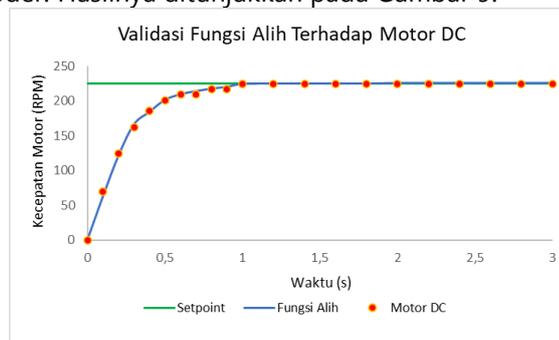


Gambar 7. Sistem Identifikasi



Gambar 8. Hasil Estimasi Model

Pengujian yang selanjutnya dilakukan adalah pengujian validasi fungsi alih motor DC dilakukan dengan cara melakukan perbandingan antara output motor DC yang diperoleh dari identifikasi dengan output motor DC yang diperoleh dari pembacaan rotary encoder. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Validasi Fungsi Alih terhadap Motor DC

### 3.5. Pengujian Observabilitas dan Kontrolabilitas Sistem

Fungsi alih yang ditunjukkan pada persamaan 3 kemudian dikonversi menjadi bentuk state-space pada persamaan 4, untuk kebutuhan melakukan analisa observabilitas dan kontrolabilitas sistem.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \tag{4}$$



$$A = \begin{bmatrix} -68.48 & -281.8 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \quad 629.5]$$

Dari persamaan state-space pada persamaan 4, maka diketahui matriks observabilitas system adalah,

$$Obsv = \begin{bmatrix} 0 & 629.5 \\ 629.5 & 0 \end{bmatrix}$$

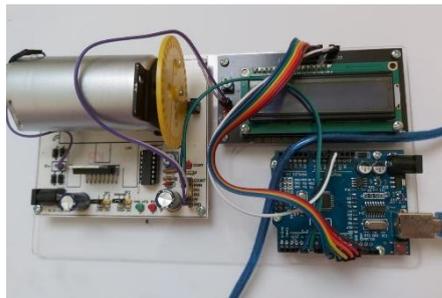
Rank matriks obsv adalah 2, yang berarti sistem observable. Diketahui pula matriks kontrolabilitas dari sistem adalah,

$$Ctrb = \begin{bmatrix} 1 & -68.48 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rank matriks ctrb adalah 2, yang berarti sistem controllable. Maka dimungkinkan untuk meneruskan pengujian ke penerapan kontroler PID.

### 3.6. Pengujian Sistem Keseluruhan

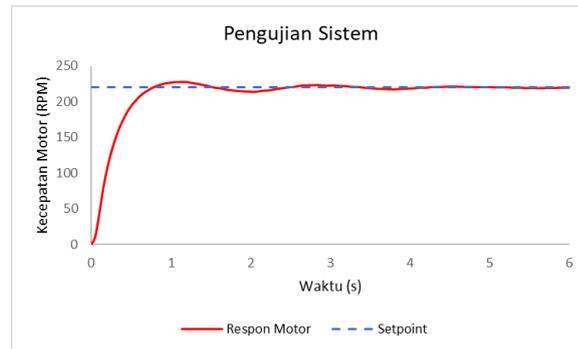
Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kerja sistem sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Gambar alat secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10. Sebelum memulai pengujian, semua komponen diintegrasikan sesuai dengan desain sistem. Motor DC dihubungkan dengan driver motor, yang akan mengatur aliran daya ke motor berdasarkan sinyal kontrol dari pengendali PID. Rotary encoder dipasang pada poros motor untuk memberikan feedback kecepatan yang akurat. Pengendali PID dikonfigurasi untuk menerima sinyal dari encoder dan mengatur duty cycle PWM yang diberikan ke driver motor.



Gambar 10. Alat Secara Keseluruhan

Kemudian dilakukan pengujian tanpa beban. Pengujian dimulai dengan menjalankan motor DC tanpa beban eksternal. Pengendali PID diaktifkan untuk mengatur kecepatan motor berdasarkan setpoint yang telah ditentukan. Kecepatan motor diukur menggunakan rotary encoder, dan sinyal ini digunakan oleh pengendali PID untuk mengatur duty cycle PWM melalui driver motor. Data kecepatan motor dan sinyal kontrol terlihat pada Gambar 11. Parameter PID diperoleh dengan cara hand-tuning dan didapatkan  $K_p=0.1$ ;  $K_i=2.0$ ;  $K_d=0.01$ . Kecepatan motor dicatat dan dianalisis untuk melihat bagaimana kontrol PID merespons perubahan setpoint kecepatan. Hasil respon sistem mencapai steady pada saat 2.5 s, maksimum overshoot 3,45%, error steady state 0.





Gambar 11. Pengujian Respon Sistem dengan Kontroler PID

#### 4. KESIMPULAN

Hasil dari proses identifikasi sistem ini telah memberikan pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik dan dinamika motor DC yang digunakan dalam penelitian. Dengan model matematis yang akurat, kita dapat dengan mudah merancang dan menyesuaikan parameter sistem kontrol untuk mencapai kinerja yang optimal. Penelitian ini melibatkan penggunaan tuner PID untuk menentukan konstanta  $K_p=0.1$ ,  $K_i=2.0$ , dan  $K_d=0.01$  yang merupakan komponen penting dalam pengendalian PID. Melalui tuning yang cermat, konstanta PID yang optimal diperoleh, memungkinkan sistem untuk merespons perubahan beban dan gangguan dengan cepat dan stabil.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Prakosa, S. Suryadi, E. Kurniawan, & H. Adinanta, "Kajian identifikasi model eksperimen pada kontrol kecepatan motor dc", *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, p. 27-35, 2021. <https://doi.org/10.5614/joki.2020.13.13>
- [2] M. Ardiansyah, R. Rakhmawati, H. Suharyanto, & E. Purwanto, "Evaluasi performa fuzzy logic controller untuk mengatur kecepatan motor dc penguatan terpisah", *Energi & Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, p. 100-110, 2020. <https://doi.org/10.33322/energi.v12i2.1000>
- [3] F. Fahmizal, F. Fathuddin, & R. Susanto, "Identifikasi sistem motor dc dan kendali linear quadratic regulator berbasis arduino-simulink matlab", *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 399, 2018. <https://doi.org/10.24843/mite.2018.v17i02.p20>
- [4] A. W., "Straight-move robot control system with labview-based proportional integral derivative (pid) control", *Telekontran Jurnal Ilmiah Telekomunikasi Kendali Dan Elektronika Terapan*, vol. 3, no. 2, p. 13-24, 2019. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v3i2.1878>
- [5] M. Djalal, H. Nurohmah, A. Imran, & M. Yunus, "Aplikasi metode cerdas untuk optimasi controller pid motor dc berbasis firefly algorithm", *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, p. 76, 2017. <https://doi.org/10.25077/jnte.v6n2.393.2017>
- [6] B. Putri, S. Sutodjo, O. Qudsi, & L. Mahendra, "Alat penstabil kecepatan motor bldc menggunakan kontrol pid", *Emitor Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 134-140, 2022. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i2.19384>
- [7] A. Ma'arif, R. Istiarno, & S. Sunardi, "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*, vol. 9, no. 2, p. 374, 2021. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.374>
- [8] H. Putra, H. Suryoatmojo, & S. Anam, "Perbaikan faktor daya menggunakan cuk converter pada pengaturan kecepatan motor brushless dc", *Jurnal Teknik Its*, vol. 5, no. 2, 2016. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16097>
- [9] A. Kiswantono, "Fuzzy control innovation: optimizing dc motor performance with solar energy", *Jtecs Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem Dan Komputer*, vol. 4, no. 1, p. 31, 2024. <https://doi.org/10.32503/jtecs.v4i1.4687>
- [10] M. Khairuddin, Z. Amalia, E. Budi, A. Puspitasari, A. Rahmadani, & F. Prasetyo, "Implementasi sistem scada dengan metode kontrol pid pada motor dc penggerak conveyor belt", *Jurnal Eltek*, vol. 20, no. 2, p. 41, 2022. <https://doi.org/10.33795/eltek.v20i2.353>
- [11] M. Mukti, T. Huda, D. Julda, A. Andreansyah, B. Dewantara, I. Winarnoet al., "Kontrol kecepatan motor bldc menggunakan cuk converter", *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi (Elkom)*, vol. 2, no. 2, p. 141-150, 2020. <https://doi.org/10.32528/elkom.v2i2.3386>
- [12] N. Sulistyawati, F. Fahmizal, & I. Nathasya, "Kendali kecepatan motor dc dengan buck converter menggunakan full state feedback-pole placement", *Elkomika Jurnal Teknik Energi Elektrik Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, p. 415, 2021. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.415>
- [13] A. Aliansyah, N. Nurhayati, S. Jaya, L. Pagiling, W. Alam, & M. Nur, "Analisis tuning parameter pid menggunakan algoritma genetika pada pengontrolan kecepatan motor dc", *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 2, p. 287, 2022. <https://doi.org/10.24843/mite.2022.v21i02.p17>
- [14] M. Asbi, S. Subiyanto, & Y. Primadiyono, "Simulasi kendali motor dc penguat terpisah menggunakan kendali fuzzy-fopid", *Jetri Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, p. 99-116, 2019. <https://doi.org/10.25105/jetri.v17i1.4109>



- [15] I. Hudati, "Kontrol motor dc dengan kendali linear quadratic regulator dan filter kalman menggunakan gui matlab", Jurnal Listrik Instrumentasi Dan Elektronika Terapan, vol. 4, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.22146/juliet.v4i1.83605>
- [16] F. Arvianto and M. Rameli, "Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan metode flux vector control berbasis self-tuning pi", Jurnal Teknik Its, vol. 6, no. 2, 2017. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.25079>
- [17] R. Ridwan, E. Purwanto, H. Oktavianto, M. Rusli, & H. Toar, "Desain kontrol kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan fuzzy pid berbasis idirect field oriented control", Jurnal Integrasi, vol. 11, no. 2, p. 146-155, 2019. <https://doi.org/10.30871/ji.v11i2.1356>

