

SIMULASI MOTOR DC BLM57050 ORDE 2 DENGAN ZIEGLER-NICHOLS

Purwidi asri¹⁾, Anggara Trisna Nugraha¹⁾, dan Rama Arya Sobhita¹⁾

¹ Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
E-mail: purwidiasri@gmail.com

Abstract

DC motors are widely used in various industrial applications and automatic control systems due to their ability to provide high torque and good dynamic response. This research focuses on the mathematical modeling and simulation of a DC motor type BLM57050 using a second-order approach. The mathematical model considers key parameters such as resistance (R), inductance (L), torque constant (Kt), and moment of inertia (J). This model is used to simulate the system's response in both open loop and closed loop configurations. In the open loop configuration, the motor's response to input voltage is analyzed without feedback mechanisms, identifying initial dynamic characteristics such as rise time, settling time, and delay time.

This study provides comprehensive insights into the dynamic characteristics of the BLM57050 DC motor and emphasizes the importance of implementing PID controllers to achieve optimal system performance. Simulations were conducted using MATLAB/Simulink software, allowing clear visualization of the system's response under various operating conditions. The results are expected to serve as a valuable reference for engineers and researchers in developing more efficient control systems for DC motor applications.

Keywords: *BLM57050, Control System, DC Motor, MATLAB, PID*

PENDAHULUAN

Motor DC merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial karena kemudahannya dalam dikendalikan serta kemampuannya menghasilkan torsi tinggi pada kecepatan rendah (Rachmawan, 2020). Salah satu varian yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor DC tipe BLM57050. Untuk mencapai performa optimal, dibutuhkan sistem pengendalian yang efektif. Umumnya, terdapat dua pendekatan utama dalam sistem kendali motor DC, yakni konfigurasi loop terbuka (open loop) dan loop tertutup (closed loop) (Sinuraya, 2012).

Langkah awal dalam memahami perilaku dinamis motor ini adalah melalui pemodelan matematis. Motor DC tipe BLM57050 dimodelkan dengan mempertimbangkan beberapa parameter utama, antara lain resistansi (R), induktansi (L), konstanta torsi (Kt), dan momen inersia (J). Pemodelan dilakukan dengan pendekatan orde dua guna merepresentasikan keterkaitan antara tegangan input, arus listrik, dan gerakan rotor (Smith et al., 2020).

Simulasi dalam konfigurasi loop terbuka dilakukan untuk mengamati respons motor terhadap tegangan input tanpa adanya umpan balik. Analisis ini penting untuk mengidentifikasi karakteristik dinamika awal sistem seperti waktu naik (rise time), waktu penyelesaian (settling time), dan waktu tunda (delay time) (Kopchak et al., 2021). Dalam simulasi ini, digunakan metode Ziegler-Nichols pertama untuk menentukan parameter awal kontroler PID berdasarkan respons frekuensi sistem, yang kemudian digunakan untuk menyempurnakan performa sistem dalam menghadapi variasi tegangan input.

Pada konfigurasi loop tertutup, sistem menggunakan umpan balik untuk secara aktif mengendalikan respons motor terhadap gangguan serta perubahan beban. Penyesuaian parameter PID dilakukan dengan menerapkan metode Ziegler-Nichols kedua, yang mengacu pada karakteristik waktu tanggapan sistem, termasuk waktu naik yang cepat, minimnya overshoot, dan kemampuan sistem mencapai kestabilan dengan efisien (Nugraha dan Eviningsih, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik dinamis motor DC tipe BLM57050 serta mengevaluasi efektivitas penerapan metode Ziegler-Nichols dalam penyetelan kontroler PID. Diharapkan hasil studi ini dapat menjadi rujukan yang berguna bagi peneliti dan praktisi dalam mengembangkan sistem pengendalian yang lebih efisien untuk aplikasi motor DC.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode sistem kontrol PID yang merupakan salah satu teknik paling umum dan efektif dalam dunia kontrol industri. Sistem kontrol PID bekerja dengan menggabungkan tiga parameter utama, yaitu Proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D), yang secara sinergis berfungsi untuk mengatur respons sistem agar mencapai performa optimal. Parameter Proportional memberikan respons berdasarkan besar kesalahan saat ini, Integral mengakumulasi kesalahan dari waktu ke waktu untuk menghilangkan kesalahan steady-state, sedangkan Derivative memperkirakan tren kesalahan guna mengurangi osilasi dan overshoot. Untuk menentukan nilai parameter PID yang optimal, digunakan pendekatan Ziegler-Nichols, yang terbagi menjadi dua metode utama. Metode Ziegler-Nichols 1, dikenal juga sebagai metode reaksi, menitikberatkan pada analisis respons sistem terhadap gangguan untuk kemudian menghitung parameter PID berdasarkan karakteristik respons tersebut, seperti waktu naik dan osilasi (Khabibi et al., 2020). Sementara itu, Ziegler-Nichols 2 atau metode perbandingan lebih mengandalkan karakteristik sistem

yang telah diketahui secara teoritis, seperti konstanta waktu, gain, dan redaman, sehingga lebih cocok diterapkan pada sistem yang stabil dan terukur. Kedua metode ini memberikan pendekatan praktis dalam penalaan kontroler PID tanpa memerlukan model matematis kompleks dari sistem. Selanjutnya, untuk memastikan pengendalian motor DC yang efektif, diterapkan dua pendekatan sistem kontrol, yaitu open loop dan close loop (Pangestu et al., 2024). Sistem open loop tidak menggunakan umpan balik, sehingga kendalinya hanya berdasarkan input awal yang diprogram, menjadikannya kurang adaptif terhadap gangguan eksternal. Sebaliknya, sistem close loop menggunakan mekanisme umpan balik untuk membandingkan keluaran aktual dengan nilai target, lalu menyesuaikan input secara otomatis agar kesalahan dapat diminimalkan. Pendekatan close loop cenderung lebih stabil, responsif, dan akurat dalam menghadapi perubahan kondisi sistem (Nugraha et al., 2020). Oleh karena itu, pemilihan metode tuning dan jenis sistem kontrol yang tepat menjadi faktor krusial dalam keberhasilan implementasi kontrol PID pada sistem motor DC.

2.1 Parameter Motor DC

Berdasarkan data teknis yang tercantum dalam datasheet motor DC tipe BLM57050, terdapat berbagai parameter spesifikasi yang tersedia (Leadshine Technology Co., Ltd., n.d.). Namun, dalam proses penyusunan fungsi alih (transfer function), hanya sejumlah parameter utama yang diperlukan, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1
Parameter Motor DC

Parameters	Simbol	Nilai	Unit
Resistansi	(Ra)	0,88	Ω
Induktansi	(La)	0,0022	H
Tegangan	(Vs)	24	V
Inersia	(J)	0,0075	Kg.m ² x 10 ⁻⁴
Torsi konstan	(Kt)	0,053	N.m/A
BEMF Const	(Kb)	0,076	V.rad/s
Koefisien damping	(B)	0,00319	Nm.rad/s

2.2 Fungsi Transfer

Menemukan fungsi transfer motor DC dari tegangan input $V(s)$ ke kecepatan sudut $\Omega(s)$ Dari persamaan tegangan.

$$I(s) = \frac{V(s) - K_b \Omega(s)}{Ls + R} \quad (1)$$

Substitusi $I(s)$ ke dalam persamaan dinamika rotasi

$$Js\Omega(s) + B\Omega(s) = K_t \left(\frac{V(s) - K_b \Omega(s)}{Ls + R} \right) \quad (2)$$

Menyederhanakan untuk mendapatkan $\Omega(s)$

$$(Js + B)(Ls + R)\Omega(s) = K_t V(s) - K_t K_b \Omega(s) \quad (3)$$

$$JLs^2 + (JR + BL)s + BR + K_t K_b \Omega(s) = K_t V(s) \quad (4)$$

Fungsi transfer kecepatan sudut $\Omega(s)$ terhadap tegangan input $V(s)$ adalah

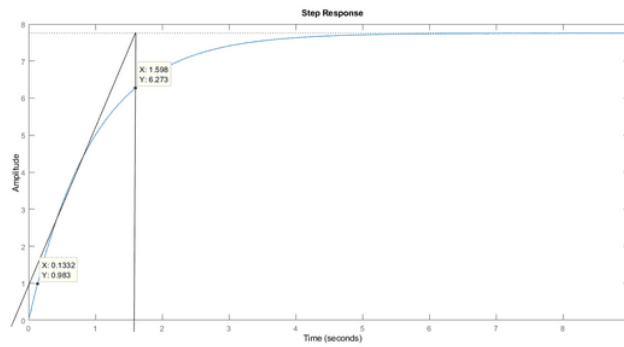
$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{JLs^2 + (JR + BL)s + BR + K_t K_b} \quad (5)$$

Keterangan:

- $V(s)$: Tegangan input pada motor DC dalam domain Laplace.
- $I(s)$: Arus jangkar (armature current) dalam domain Laplace.
- $\Omega(s)$: Kecepatan sudut poros motor dalam domain Laplace.
- $T(s)$: Torsi elektromekanik motor dalam domain Laplace.
- R_a : Resistansi (ohm).
- L_a : Induktansi (henry).
- K_b : Konstanta gaya balik elektromotor (back EMF constant).
- K_t : Konstanta torsi motor.
- J : Momen inersia rotor dan beban ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).
- B : Koefisien redaman/gesekan viskous ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$).
- $E_a(s) = K_b \cdot \Omega(s)$: Tegangan gaya balik elektromotor (back EMF).

2.3 PID

Parameter kontroler P, PI, dan PID dapat ditentukan menggunakan pendekatan metode Ziegler-Nichols, yang merujuk pada tabel parameter yang telah ditetapkan berdasarkan karakteristik sistem (Ziegler dan Nichols, 1942). Langkah awal dalam metode ini adalah menentukan nilai konstanta waktu (T) dan waktu tunda (L), yang diperoleh melalui analisis respons tangga (step response) sistem. Nilai T dan L diestimasi dengan menarik garis singgung terhadap kurva respons setelah sistem dijalankan (running), tepat pada titik perubahan awal, untuk kemudian digunakan dalam perhitungan parameter kontroler (Ramachandran et al., 2019).



Gambar 1. Penentuan garis singung

Penalaan parameter kontrol PID dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols dengan pendekatan reaksi sistem. Diketahui nilai:

$$T = X_2 - X_1 = 1,596 - 0,133 = 1,465$$

$$L = X_1 = 0,133$$

a. Kontrol PID

Perhitungan dengan memasukan nilai Kp, Ti, dan Td menggunakan Rumus Ziegler-Nichols:

$$K_p = 1,2 \times (T / L) \quad (6)$$

$$T_i = 2 \times L \quad (7)$$

$$T_d = 0,5 \times L \quad (8)$$

$$K_i = K_p / T_i \quad (9)$$

$$K_d = K_p \times T_d \quad (10)$$

Dari rumus yang digunakan dalam mencari nilai P, I, D, didapati hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 2
Perhitungan Metode Ziegler Nichols

	Kp	Ti	Td	Ki	Kd
P	11,0150	0	0	0	0
PI	9,9135	0,0073	0	1358,013	0
PID	13,2180	0,0044	0,0011	3004,09	0,0145

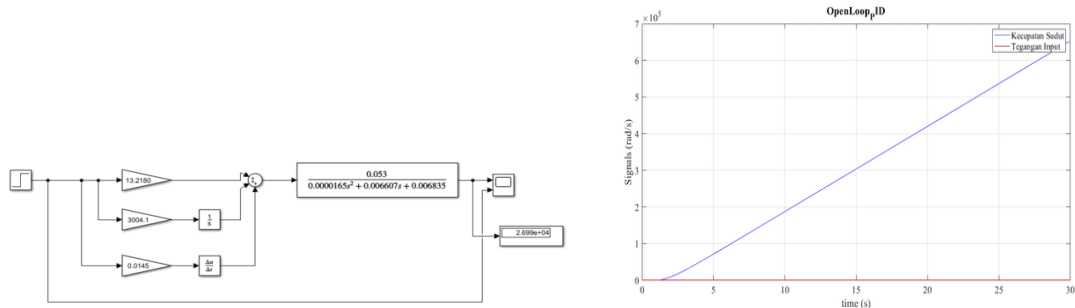
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan parameter motor DC tipe BLM57050 pada Tabel I. Maka value dapat dimasukkan kedalam persamaan transfer fungsi dan mendapatkan hasil. Fungsi alih yang telah diperoleh selanjutnya disimulasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB dan Simulink dalam konfigurasi sistem loop terbuka (open loop) dan loop tertutup (closed loop).

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menganalisis respons sistem serta mengidentifikasi parameter-parameter pendukung lainnya yang memengaruhi perilaku transien sistem.

3.1 Open Loop

Pada Simulasi ini dilakukan dengan sistem yang terbuka (Open Loop) dan menggunakan metode PID Ziegler Nichols tipe 1. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut

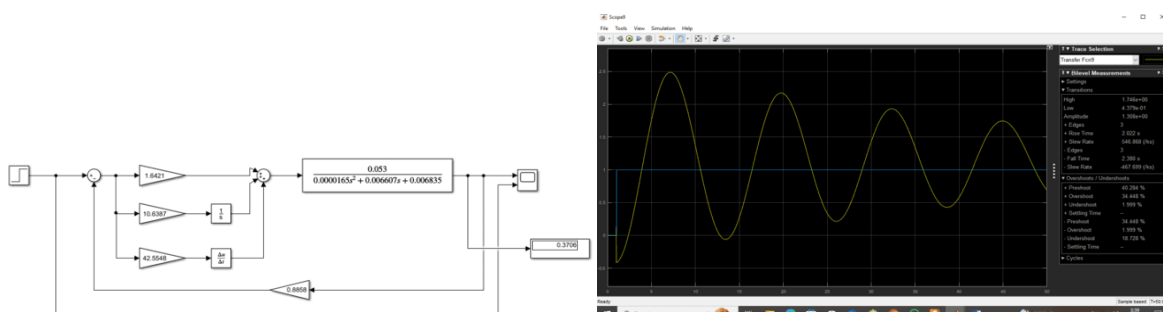


Gambar 2. Rangkaian dan hasil grafik simulasi Open loop

Gambar 2 menunjukkan respons sistem motor DC dalam kondisi open loop. Kecepatan sudut meningkat secara linier seiring waktu, sementara tegangan input tetap konstan. Hal ini menandakan tidak adanya kendali umpan balik, sehingga sistem tidak stabil dan berpotensi tidak terkendali. Tidak ditemukan data overshoot (OS) dan settling time (ST) karena sistem tidak mencapai kestabilan, namun rise time (RT) tercatat sebesar 18,893 detik—lebih baik dibandingkan metode PI. Hasil ini menegaskan perlunya penggunaan kontrol closed loop untuk meningkatkan kestabilan sistem.

3.2 Close Loop

Pada Simulasi ini dilakukan dengan sistem yang tertutup (Close Loop) dan menggunakan metode PID Ziegler Nichols tipe 2. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut



Gambar 3. Rangkaian dan hasil grafik simulasi Close loop

Gambar 3 menunjukkan respons sistem closed loop dengan metode PID. Dari hasil pengukuran, diperoleh nilai overshoot (OS) sebesar 18,63%, rise time (RT) sebesar 2,2 detik, dan peak time sebesar 3,84 detik, sementara settling time (ST) tidak tersedia. Meskipun RT metode PID sedikit lebih tinggi dibandingkan metode PI, sistem menunjukkan performa yang

lebih stabil terhadap gangguan dan perubahan beban. Karakteristik grafik yang menunjukkan amplitudo osilasi yang semakin mengecil juga menandakan adanya peredaman yang baik, yang memperkuat keunggulan kontrol PID dalam menjaga kestabilan sistem secara dinamis.

3.3 Perbandingan hasil respon sistem

Tabel 3
Perbandingan hasil respon sistem

Metode	Jenis Sistem Simulink					
	Open Loop			Close Loop		
	OS (%)	RT (s)	ST (s)	Ov (%)	RT (s)	ST (s)
Proporsional-Integral-Derivative	-	18,893	-	18,630	2,2	-

Keterangan :

ST : Setling Time; RT : Rise Time; OS : Overshoot

Berdasarkan data hasil simulasi, terlihat bahwa penerapan metode PID pada sistem *open loop* menghasilkan *rise time* (RT) sebesar 18,893 detik tanpa data *overshoot* (OS) maupun *settling time* (ST), yang menunjukkan bahwa sistem tidak mencapai kestabilan dalam rentang waktu pengamatan. Sebaliknya, ketika metode PID diterapkan pada sistem *closed loop*, terjadi peningkatan performa yang signifikan. *Overshoot* tercatat sebesar 18,630%, dan *rise time* menurun drastis menjadi 2,2 detik. Meskipun data *settling time* masih tidak tersedia, respons sistem menunjukkan kestabilan yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode PID pada sistem *closed loop* mampu mempercepat waktu tanggapan dan meningkatkan kemampuan sistem dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan, dibandingkan dengan implementasinya pada sistem *open loop*.

SIMPULAN

Berdasarkan simulasi motor DC tipe BLM57050 menggunakan metode Ziegler-Nichols, sistem open loop dengan kontrol PID menunjukkan respons kecepatan sudut yang terus meningkat tanpa batas, rise time sebesar 18,893 detik, dan tanpa overshoot atau settling time, menandakan ketidakstabilan sistem. Sebaliknya, sistem close loop yang dilengkapi kontrol PID menunjukkan performa jauh lebih baik, dengan overshoot sebesar 18,63% dan rise time yang menurun signifikan menjadi 2,2 detik. Grafik menunjukkan pola osilasi yang mereda, mencerminkan stabilitas dinamis yang lebih baik. Metode Ziegler-Nichols 1 efektif untuk estimasi awal parameter PID pada open loop, namun kurang presisi. Metode Ziegler-Nichols 2 pada close loop lebih akurat dalam penyesuaian parameter berdasarkan respons waktu. Secara keseluruhan, kontrol PID pada sistem close loop terbukti memberikan pengendalian

yang lebih cepat, stabil, dan adaptif terhadap perubahan beban, menjadikannya solusi optimal untuk motor DC tipe BLM57050.

DAFTAR PUSTAKA

- Rachmawan, I.P.F. (2020). Analisis Sistem Kendali Motor Listrik DC Sederhana Menggunakan Simulink. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 1(1), 1-7.
- Sinuraya, E.W. (2012). Pemodelan dan Simulasi Motor DC dengan Kendali Model Predictive Control (MPC). *TRANSMISI*, 14(3), 92-96.
- Smith, A., et al. (2020). Closed-loop Control for Enhanced Stability in DC Motors. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 7(2), 98-107.
- Kopchak, B., Kushnir, A., & Kopchak, M. (2021). Approximation of PM DC Micromotor Transfer Function by Fractional Order Transfer Function. *International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*, 2021-May, 20–24. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH53091.2021.9467969>
- Leadshine Technology Co., Ltd. (n.d.). *BLM57050 datasheet (2/4 pages)*. ALLDATASHEET. Retrieved [tanggal akses], from AllDataSheet website.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Rachma Prilian Eviningsih. *Konsep Dasar Elektronika Daya*. Deepublish, 2022.
- Khabibi, Sholahudin Rama, Joessianto Eko Poetro, and Anggara Trisna Nugraha. "Rancang Bangun Panel Sistem Kontrol dan Monitoring Motor 3 Fasa Dual Speed Berbasis Mikrokontroler." *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 10.02 (2020): 61-68.
- Pangestu, Nanda Dwi, et al. "PERANCANGAN SMART PROTECTION PADA MOTOR KINCIR AERATOR TAMBAK UDANG MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY." *Jurnal 7 Samudra* 9.1 (2024): 1-8.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Analisa Kontrol Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Cuk Konverter." *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 10.02 (2020): 69-83.
- Ramachandran, R., Ganeshaperumal, D., & Subath-ra, B. (2019). Closed-loop Control of BLDC Motor in Electric Vehicle Applications. *2019 International Conference on Clean Energy and Energy Efficient Electronics Circuit for Sustainable Development, INCCES 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/INCCES47820.2019.9167730>
- Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1942). Optimum set-tings for automatic controllers. *Transactions of the ASME*, 64(11), 759-768.