

PEMODELAN DAN SIMULASI *OPEN LOOP* SERTA *CLOSE LOOP* MOTOR DC TYPE 18105 ORDE 2

Anggara Trisna Nugraha¹⁾, Abid Dion Permana²⁾, Elmi Hidayana³⁾, Rama Arya Sobhita⁴⁾

^{1,2,3,4)}Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negri Surabaya
E-mail: anggaranugraha@ppns.ac.id

Abstract

This research aims to develop a mathematical model of a DC servo motor with a coreless rotor type 18105, which offers a low-cost solution. The model is implemented and tested using MATLAB software for performance analysis. A DC servo motor is a type of DC motor equipped with a feedback system to regulate position and speed. In this study, technical data from the motor datasheet is used to develop the transfer function of the system. Two scenarios are tested: *open loop* and *closed loop* systems. Simulation results show that the *closed loop* system performs better than the *open loop* system in terms of *rise time*, settling time, and *overshoot*. This study highlights the importance of feedback systems in improving the performance of DC servo motors, and the implementation of this mathematical model in MATLAB provides an effective tool for the analysis and design of DC servo motor control systems.

Keywords: *Rotary Motor, Mathematical Modeling, Open loop, Closed loop, Control System.*

PENDAHULUAN

Motor DC adalah salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan dalam robotika karena sangat mudah untuk mengontrol arah putaran. Motor servo adalah salah satu jenis motor DC (BINUS School of Engineering, n.d.). Motor servo terdiri dari motor DC itu sendiri, serangkaian gear untuk menggerakkan motor, dan potensiometer untuk mengatur putaran dan sudut motor (Nugraha et al., 2022a, 2022b). Lebar pulsa motor servo berfungsi sebagai pengukuran untuk mengatur sudut sumbu motor (Nugraha et al., 2022c, 2022d). Jurnal ini akan membahas model matematis untuk DC Servo Motor McLeenan Type 18105.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif sekunder dan kuantitatif eksperimental (Nugraha, Yuniza, & Shiddiq, 2023). Metode kuantitatif sekunder melibatkan analisis data yang dikumpulkan dari datasheet motor di situs web rs-online.com. Metode kuantitatif eksperimental melibatkan perlakuan subjek penelitian

dengan cara tertentu dan melacak hasilnya. Dalam hal ini, penulis menggunakan aplikasi MATLAB (Achmad & Nugraha, 2022). MATLAB digunakan sebagai alat utama untuk mengolah data, serta model sistem dinamik yang akan disimulasikan (Shiddiq & Nugraha, 2022). Persamaan matematis diperlukan untuk memahami hubungan antara variabel listrik dan mekanik pada motor DC Servo (Ivannuri, Nugraha, & Subiyanto, 2022).

- Persamaan elektrik

Persamaan tegangan pada kumparan jangkar (Jamil et al., 2021).

$$V_a = E_b + I_a R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (1)$$

Keterangan :

V_a : tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar

E_b : gaya gerak listrik balik (backEMF)

I_a : arus yang mengalir melalui kumparan jangkar

R_a : resistansi kumparan jangkar

L_a : Induktansi kumparan jangkar

$\frac{dI_a}{dt}$: Laju perubahan arus terhadap waktu

- Gaya Gerak Listrik Balik (Back EMF)

Gaya gerak listrik ini dihasilkan oleh rotor dalam suatu medan magnet dinyatakan:

$$E_b = K_e \cdot \omega_m \quad (2)$$

Keterangan :

E_b : gaya gerak listrik balik

K_e : konstanta back EMF

ω_m : Kecepatan sudut rotor

Menggabungkan persamaan Back EMF ke tegangan kumparan jangkar, didapat :

$$V_a = K_e \cdot \omega_m + I_a R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (3)$$

- Persamaan Mekanik

Persamaan dinamika rotor (Nugraha et al., 2023):

$$T_e - T_i = J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m \quad (4)$$

Keterangan :

T_e : torsi elektromagnetik yang dihasilkan oleh motor

T_i : torsi beban yang bekerja pada rotor

J : momen inersia rotor

$\frac{d\omega_m}{dt}$: percepatan sudut rotor

B : koefisien gesekan viskos

ω_m : kecepatan sudut rotor

Torsi Elektromagnetik dapat menggunakan persamaan berikut:

$$T_e = K_t \cdot I_a \quad (5)$$

Keterangan :

K_t : konstanta torsi (Nm/A)

I_a : arus jangkar (A)

- Transformasi Laplace

Untuk memudahkan analisis lebih lanjut diperoleh persamaan (6) dan (9) :

$$V_a(s) = K_e \cdot \Omega_m(s) + I_a(s)R_a + L_a(sI_a(s) - I_a(0)) \quad (6)$$

Jika asumsi di arus awal adalah : $I_a(0) = 0$

$$V_a(s) = I_a(s)(R_a + L_a(s) + K_e \cdot \Omega_m(s)) \quad (7)$$

Menerapkan Transformasi Laplace pada persamaan mekanis sebagai berikut

$$K_t \cdot I_a(s) - T_i(s) = J(s\Omega_m(s) - \omega_m(0) - B\Omega_m(s)) \quad (8)$$

Jika pada asumsi kecepatan awal $\omega_m(0) = 0$:

$$\Omega_m(s) = \frac{K_t \cdot I_a(s) - T_i(s)}{(Js+B)} \quad (9)$$

Selanjutnya persamaan ke (6) disubstitusikan ke persamaan (8) sebagai berikut :

$$V_a(s) = \frac{\omega(s)}{K_t} \cdot (L_a \cdot J_m \cdot s^2) + (R_a \cdot J_m + L_a B_m) \cdot s + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t) \quad (10)$$

- Fungsi Transfer

Dari persamaan (10), diperoleh fungsi transfer model matematis motor DC servo (Nugraha et al., 2022e).

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(L_a \cdot J_m \cdot s^2) + (R_a \cdot J_m + L_a B_m) \cdot s + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)} \quad (11)$$

Keterangan :

$\Omega(s)$: Kecepatan sudut rotor dalam domain laplace dengan satuan (rad/s)

- $V_a (S)$: Tegangan armature dalam domain laplace satuan : Volt(V)
- K_t : Konstanta torsi, yang menghubungkan arus jangkar dengan torsi
Satuan Newton-meter per ampere(Nm/A)
- L_a : Induktansi kumparan jangkar, Satuan Henry (H)
- R_a : Resistansi kumparan jangkar. Satuan Ohm
- J_m : Momen inersia rotor. Satuan ($\text{Kg}\cdot\text{m}^2$)
- B_m : Koefisien gesekan viskos pada rotor. Satuan (Nm-s/rad)
- K_m : Konstanta gaya gerak listrik balik, dengan menghubungkan kecepatan Sudut rotor dengan satuan (V-s/rad)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kestabilan motor DC Servo menggunakan fungsi transfer orde 2 memerlukan datasheet motor untuk menentukan parameter-parameter matematis.

Tabel 1
Datasheet Motor DC Servo McLeenan Type18105

| Parameter | Nilai | Satuan |
|------------------------------|------------------|--|
| Resistansi jangkar (R_a) | 12 | Ω |
| Induktansi jangkar (L_a) | 0,001 | H |
| Inersia motor (J) | 0,000009 | $\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ |
| Koefisien gesekan (B) | 0.00007291378573 | $\text{Nm}/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| Konstanta torsi (K_t) | 0.0029 | Nm/A |
| Konstanta GGL (K_b) | 0.03017 | $\text{V}/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ |

Dari tabel data tersebut kita dapat Transfer Fuction pada orde 2

$$\frac{0.0029}{9e-09 s^2 + 0.0001081 s + 0.0009625}$$

Gambar 1. Transfer function

Open loop Tanpa Metode

Pada suatu sistem kontrol *open loop* memberikan input ke sistem, dan pada sistem tersebut menghasilkan output.

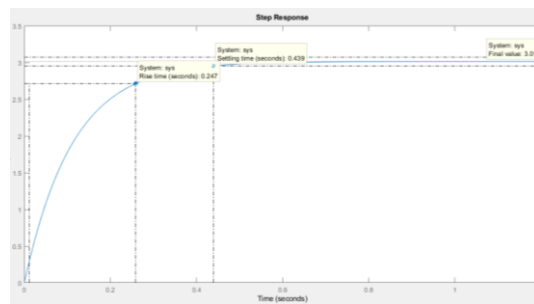
```

1 - R=12;
2 - I=0,001;
3 - Kt = 0,0029;
4 - Kb = 0,0001;
5 - J = 0,000009;
6 - B = 0,000072913785734;
7 - num = Kt;
8 - den = [(L*J) (L*B + R*J) (R*B + Kb*Kt)];
9 - G = tf (num,den)
10 - figure (1)
11 - step (num,den)

```

Gambar 2. Coding matlab *open loop*

Pada gambar sistem *open loop*, kolom 1 hingga 6 adalah input parameter untuk menentukan fungsi transfer. Kolom 7 dan 8 berisi rumus matematis yang diolah di MATLAB untuk menentukan fungsi transfer. Kolom 9 menampilkan G(s) sebagai fungsi transfer, sementara kolom 10 dan 11 digunakan untuk menampilkan grafik step response.

Gambar 3. Grafik Step response *open loop*

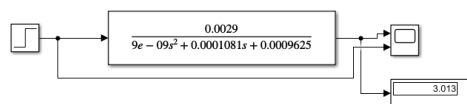
Pada gambar tersebut terdapat sumbu Y Amplitude dan sumbu X Time (*second*) dan beberapa parameter seperti berikut:

Tabel 2

Parameter Grafik *Step Respon open loop*

| Parameter | Nilai | Satuan |
|----------------------|-------|---------|
| <i>Rise time</i> | 0,247 | Seconds |
| <i>Settling time</i> | 0,439 | Seconds |
| <i>Over shoot</i> | 0 | % |

Dari grafik step response dan Tabel 2, sistem *open loop* tidak menunjukkan *overshoot* atau osilasi awal.

Gambar 4. Rangkain Simulink *open loop*

Pada gambar percobaan di dapatkan suatu *peak* amplitude pada display sebesar 3,013.

Closed loop Tanpa metode

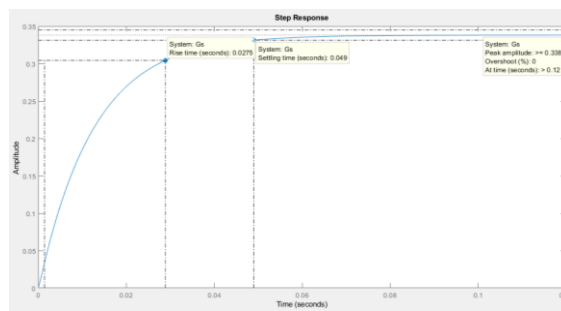
Closed loop adalah sistem kontrol dengan umpan balik untuk mengatur output. Output dipantau dan dibandingkan dengan nilai referensi atau setpoint.

```

1 - R=12;
2 - L=0.001;
3 - Kt = 0.0029;
4 - Kd = 0.03017;
5 - J = 0.000009;
6 - B = 0.000072913785734;
7 - num = Kt;
8 - den = [(L*s) (L*B + R*s) (R*B + Kd*Kt)];
9 - G = tf(num,den);
10 - figure(1);
11 - step(num,den);
12 - H=2.626;
13 - GG = feedback(G,H);
14 - figure(2);
15 - step(GG);
16
    
```

Gambar 5. Coding Matlab Closed loop

Pada gambar tersebut adalah menambahkan pada kolom 13 untuk *feedback* dengan parameter H yang bernilai 2,626. Dan pada kolom 15 dan 16 adalah perintah untuk menampilkan grafik *step response*.



Gambar 6. Grafik Step response Closed loop

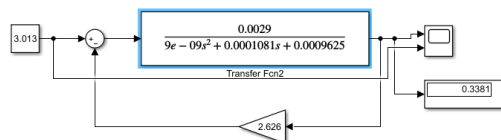
Pada grafik *step response* terdapat beberapa parameter yaitu sebagai berikut:

Tabel 3

Parameter Grafik *Step Respon open loop*

| Parameter | Nilai | Satuan |
|---------------|--------|---------|
| Rise time | 0,0275 | Seconds |
| Settling time | 0,049 | Seconds |
| Over shoot | 0 | % |

Grafik step response dan Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem *closed loop* tidak mengalami *overshoot* atau osilasi awal.



Gambar 7. Simulasi Simulink closed loop

Berdasarkan gambar percobaan di dapatkan suatu *peak* amplitude pada display 0,3381

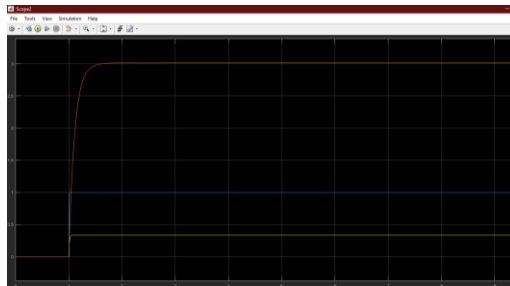
Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terdapat perbedaan. Perbandingan antara sistem *open loop* dan *closed loop* terlihat jelas dari tabel berikut.

Tabel 4
Perbandingan Transfer Function Antara *Open loop* dan *Closed loop*

| Transfer function | Rise time (s) | Settling time (s) | Overshoot (%) |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| <i>Open loop</i> | 0,247 | 0,439 | 0 |
| <i>Closed loop</i> | 0,0275 | 0,049 | 0 |

Tabel menunjukkan perbandingan tanggapan, bahwa Sistem *closed loop* merespons dan stabil lebih cepat daripada sistem *open loop*.



Gambar 8. Grafik Simulasi Simulink *Open loop* dan *Closed loop*

Berdasarkan gambar, perbandingan sistem transfer function melalui simulasi Simulink menunjukkan bahwa sistem *open loop* mencapai steady state lebih tinggi dari set point (3,013) tanpa *overshoot* dan ripple, sementara sistem *closed loop* mencapai steady state di bawah set point (0,3381) juga tanpa *overshoot* dan ripple.

SIMPULAN

Dalam simulasi, sistem *closed loop* unggul dari open loop dalam hal waktu naik, waktu tuntas, dan *overshoot*; sistem *closed loop* memiliki waktu naik 0,000416 detik, waktu tuntas 0,0081 detik, dan *overshoot* 59,7%. Open loop memiliki waktu naik 0,0904 detik dan waktu tuntas 0,162 detik. sistem kontrol *closed loop* lebih baik daripada sistem kontrol open loop, menegaskan betapa pentingnya umpan balik untuk kontrol motor.

DAFTAR PUSTAKA

- BINUS School of Engineering. (n.d.). *Module trainer motor servo DC*. BINUS University. Retrieved July 6, 2024, from https://base.binus.ac.id/research/6CCF7664-881F-410A-88BF-7CC653774E5A/module-trainer-motor-servo-dc/?lecturer_id=D1026
- Nugraha, A. T., Yuniza, S. I., Fathurrohman, M. F., Novsyafantri, Purba, J. V., & Shiddiq, M. J. (2022). Penyearah satu fase terkendali gelombang penuh beban resistif. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*, 2.
- Nugraha, A. T., Yuniza, S. I., Fathurrohman, M. F., Novsyafantri, Purba, J. V., & Shiddiq, M. J. (2022). Pengaplikasian generator AC pada turbin untuk penerangan sawah samping waduk beron. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*, 2, 52-55.
- Nugraha, A. T., Yuniza, S. I., Fathurrohman, M. F., Novsyafantri, Purba, J. V., & Shiddiq, M. J. (2022). Kontrol LQT untuk lepas landas dan pendaratan vertikal pada pesawat tanpa awak coaxial trirotor. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*, 2, 56-64.
- Nugraha, A. T., Yuniza, S. I., Fathurrohman, M. F., Novsyafantri, Purba, J. V., & Shiddiq, M. J. (2022). Tuning parameter linear quadratic tracking menggunakan algoritma genetika untuk pengendalian gerak lateral quadcopter. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*, 2, 65-71.
- Nugraha, A. T., Yuniza, S. I., & Shiddiq, M. J. (2023). Quadcopter movement analysis using output feedback control based on line of sight. *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)*, 6(1), 1-10.
- Achmad, I., & Nugraha, A. T. (2022). Implementasi buck-boost converter pada hybrid turbin angin savonius dan panel surya. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)*, 3(2).
- Shiddiq, M. J., & Nugraha, A. T. (2022). Sistem monitoring detak jantung pada sepeda treadmill. *COMPLETE*, 3(2).
- Ivannuri, F., Nugraha, A. T., & Subiyanto, L. (2022). Prototype turbin ventilator sebagai pembangkit listrik tenaga angin. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)*, 3(2).
- Nugraha, A. T., et al. (2022). Battery charger design in a renewable energy portable power plant based on Arduino Uno R3. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics: ICEBEHI 2021*, 3–4 November, Surabaya, Indonesia.
- Jamil, M. H., et al. (2021). The existence of rice fields in Makassar City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 681(1). IOP Publishing.
- Nugraha, A. T., Sa'diyah, A., Indaryani, S., As'ad, R. F., Yuniza, S. I., Agna, D. I. Y., & Shiddiq, M. J. (2023). *Sepeda treadmill inovasi dan desain*. Deepublish.
- Nugraha, A. T., Pambudi, D. S. A., Utomo, A. P., Priyambodo, D., Hari, M. D., & Febrianto, R. (2022). *Rancang bangun battery charger pada pembangkit listrik portabel energi terbarukan berbasis Arduino Uno R3*. Deepublish.
- Nugraha, A. T., Widodo, H. A., Pambudi, D. S. A., Cahyono, L., Apriani, M., Utomo, A. P., Priyambodo, D., Putra, M. D. H., & Febrianto, R. (2022). *Portable – 2WG: Inovasi turbin pembangkit listrik portabel air dan angin untuk kebutuhan rumah tangga pada penduduk daerah aliran sungai*. Deepublish.