

PEMODELAN INTERAKTIF MOTOR DC BN23HS: STUDI DUA SKEMA LOOP

Devina Puspita Sari¹⁾, Anggara Trisna Nugraha²⁾, dan Rama Arya Sobhita²⁾

¹Managemen Bisnis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

²Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: devina.songhyekyo@gmail.com

Abstract

This study explores the mathematical modeling and simulation of a BN23HS-18HS type direct current (DC) motor system using both open-loop and closed-loop control approaches. DC motors are widely utilized in industrial and robotic applications due to their precision in speed and position control. Achieving optimal performance requires a thorough understanding of their dynamic behavior and the implementation of effective control systems. The research begins with a theoretical analysis of the physical and electromechanical characteristics of the motor, leading to the development of a mathematical model in the form of differential equations. This model is then implemented in simulation software for testing and validation. Simulations are conducted for both open-loop (without feedback) and closed-loop (with PID controller feedback) configurations. While the primary focus is on modeling and simulation, PID control is discussed conceptually. The simulation results indicate that the developed model accurately represents the motor's dynamic response. The open-loop system reveals limitations in accuracy and stability, whereas the closed-loop configuration shows significant improvements in speed and position control. This study highlights the importance of modeling and simulation as foundational steps in developing effective DC motor control systems and provides a basis for future work in PID implementation and control system design.

Keywords: *Close loop, DC Motor, Mathematical Modeling, Open loop, Simulation*

PENDAHULUAN

Motor arus searah (DC) memegang peranan vital dalam berbagai bidang industri dan teknologi robotika karena kemampuannya dalam mengatur kecepatan dan posisi secara presisi. Motor DC banyak digunakan pada aplikasi yang menuntut ketelitian tinggi, seperti sistem otomasi, perangkat medis, hingga aktuator robotik (Anderson et al., 2020). Salah satu varian yang sering dimanfaatkan adalah tipe BN23HS-18HS, yang dikenal memiliki karakteristik inersia rendah, konstanta torsi stabil, serta kinerja yang andal pada sistem presisi. Hal ini menjadikan BN23HS-18HS relevan sebagai obyek penelitian karena karakteristik dinamikanya dapat mewakili kebutuhan pengembangan sistem kendali modern. Untuk mencapai kinerja maksimal dari motor ini, diperlukan pemahaman mendalam terhadap karakteristik dinamikanya, serta penerapan sistem kendali yang tepat.

Langkah awal yang krusial dalam memahami dinamika motor DC adalah melalui pemodelan matematis (Baptista dan Oliveira, 2019). Model yang akurat memungkinkan dilakukannya simulasi dan analisis terhadap perilaku sistem dalam berbagai kondisi operasi, baik menggunakan pendekatan open loop maupun close loop. Pendekatan open loop mengoperasikan sistem tanpa mekanisme umpan balik, sedangkan pendekatan close loop melibatkan sistem kendali berbasis umpan balik untuk meningkatkan performa (Brown et al., 2019).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun model matematis dan melakukan simulasi terhadap motor DC tipe BN23HS-18HS, dengan menitikberatkan pada kedua pendekatan kontrol tersebut (Rachmawan, 2020). Di samping itu, penelitian juga meninjau konsep dasar dari kontroler PID yang umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan respons sistem kendali (Nugraha, 2022).

Metodologi yang diterapkan mencakup kajian teoritis untuk penyusunan model matematis, implementasi model ke dalam perangkat lunak simulasi, serta evaluasi performa sistem melalui simulasi open loop dan close loop (Zhang et al., 2019). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berarti dalam pengembangan sistem kendali motor DC serta menjadi landasan bagi penelitian lanjutan terkait implementasi kontroler PID dan teknologi kendali motor lainnya (Nugraha dan Eviningsih, 2022).

METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian

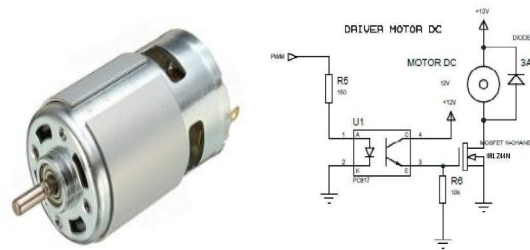
Penelitian ini dilakukan untuk memodelkan dan menganalisis kinerja Motor DC tipe BN23HS-18HS secara sistematis melalui tahapan pengumpulan parameter, perumusan model matematis, hingga simulasi berbantuan MATLAB. Setiap tahap dirancang agar penelitian tidak hanya berfokus pada parameter motor semata, tetapi juga menyajikan alur kerja yang komprehensif mulai dari akuisisi data, pembentukan model, pelaksanaan simulasi, hingga analisis hasil.

1. Akuisisi Parameter Motor: Mengumpulkan data parameter motor BN23HS-18HS dari datasheet/rujukan, menyesuaikan ke satuan SI, serta memastikan konsistensi dan validitas data.
2. Perumusan Model Matematis: Menyusun model matematis motor DC yang menghubungkan tegangan masukan dengan kecepatan sudut keluaran berdasarkan parameter yang telah diperoleh.

3. Penetapan Skenario Simulasi: Menentukan jenis rangkaian close loop dan open loop
4. Implementasi Simulasi di MATLAB: Memasukkan parameter dan model ke dalam MATLAB, kemudian menjalankan simulasi untuk memperoleh respon dinamik motor.
5. Analisis Hasil Simulasi: Mengevaluasi hasil simulasi berdasarkan metrik kinerja yang telah ditetapkan serta membandingkan dengan referensi atau data eksperimen bila tersedia.

2.2 Motor DC BN23HS-18HS

Motor DC tipe BN23HS-18HS merupakan salah satu varian unggulan dalam kelas motor arus searah yang dirancang untuk aplikasi-aplikasi yang menuntut presisi tinggi dan kinerja optimal.



Gambar 1. Motor DC BN23HS-18HS

Parameter yang digunakan dalam penelitian kali ini sebagai berikut (Sam, n.d.):

Tabel 1
Parameter Motor DC BN23HS-18HS

No	Parameter	Nilai
1	Resistance	0,14 Ohm
2	Inductance	0,00023mh
3	Frameless Rotor Inertia	0,000699Kg.m2
4	Motor Torque Constant	0,0110N.m / A
5	BEMF Constant	0,011V / rad.s-1
6	Damping Coefficient	0,0000549344

2.3 Persamaan Matematis

Proses penurunan fungsi transfer motor DC dimulai dengan menentukan hubungan antara tegangan input $V(s)$ dan kecepatan sudut keluaran $\Omega(s)$ melalui analisis sistem dalam domain Laplace (Chen et al., 2021).

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

menurunkan persamaan tegangan armatur, kemudian menyubstitusikan arus $I(s)$ 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 sistem persamaan untuk memperoleh bentuk eksplisit dari $\Omega(s)$ sebagai respons terhadap $V(s)$

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

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

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

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

2.4 Permodelan sistem

a. Pemodelan Sistem Kontrol Terbuka (Open Loop)

Pada sistem kendali terbuka (open loop), tidak terdapat mekanisme umpan balik yang digunakan untuk menyesuaikan respon keluaran (Johnson, 2020). Dalam konfigurasi ini, motor DC dijalankan semata-mata berdasarkan sinyal tegangan input yang diberikan, tanpa mempertimbangkan kondisi keluaran seperti kecepatan putar atau posisi rotor sebagai acuan koreksi (Yuniza et al., 2022).

b. Pemodelan Sistem Kontrol Tertutup (Close Loop)

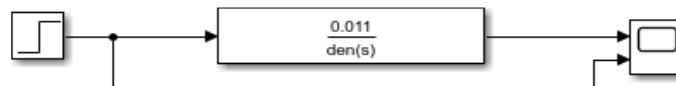
Pada sistem kendali tertutup (closed loop), sinyal keluaran digunakan sebagai umpan balik untuk membandingkan dengan nilai referensi, sehingga sistem dapat melakukan koreksi secara otomatis terhadap input demi mencapai performa yang diharapkan (Bintari et al., 2022). Dalam konteks motor DC tipe BN23HS-18HS, pendekatan closed loop ini dimodelkan dengan memanfaatkan prinsip umpan balik. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kestabilan dan ketepatan sistem dalam merespons perubahan beban serta gangguan yang terjadi, dengan mengandalkan karakteristik dinamis alami dari sistem itu sendiri (Nguyen et al., 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini, respon plant akan dilihat melalui dua blok diagram yaitu open loop dan close loop tanpa metode. Model fungsi transfer yang digunakan adalah

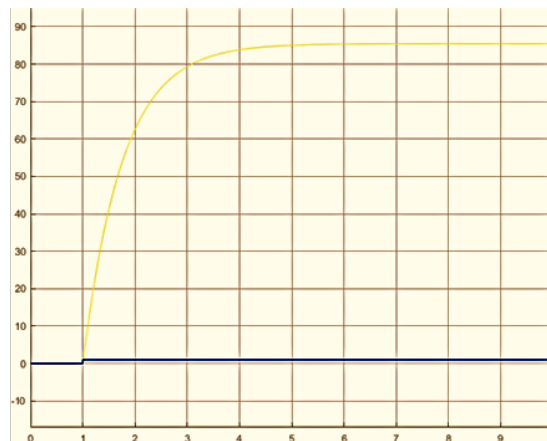
$$G(s) = \frac{0.011}{1.608e - 07s^2 + 9.787e - 05s + 0.0001287}$$

3.1 Hasil Pemodelan Sistem Kontrol Terbuka (Open Loop)



Gambar 2. Block diagram pemodelan sistem terbuka (open loop)

Pada gambar 2 ditampilkan rangkain block diagram dari proses simulasi open loop. Proses ini dijalankan menggunakan software MATLAB. Dengan dibuat dan dijalankanya rangkaian, maka didapatkan hasil sinyal yang tercipta. Berikut adalah hasil sinyal yang terbentuk dari sistem kontrol terbuka:



Gambar 3. Sinyal hasil simulasi Block diagram pemodelan sistem terbuka (open loop)

Dari hasil sinyal yang tampak pada gambar 3. Berikut adalah parameter yang dapat diambil dari gambar tersebut

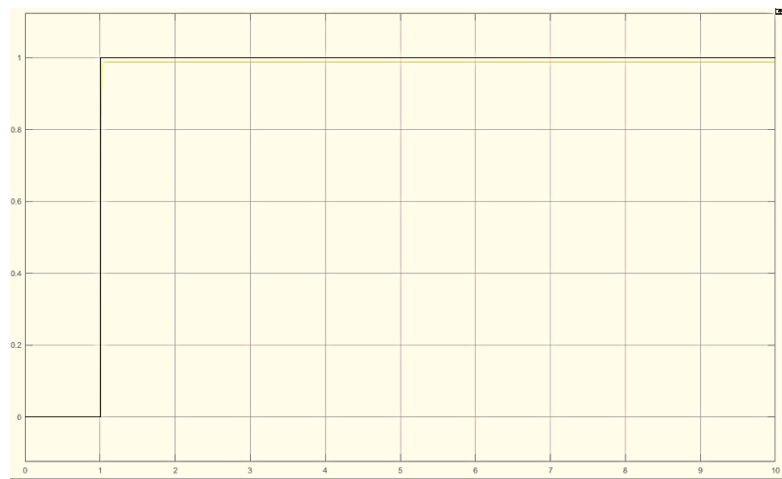
Tabel 2
Parameter hasil simulasi open loop

No	Nilai
Rise Time	1634000 ms
Settling Time	s
Overshoot	0,502%
Undershoot	1,987%
Steady State	0,8462

Hasil analisis respon sistem menunjukkan bahwa waktu naik (rise time) tercatat sebesar 1.634.000 ms, sementara waktu pemantapan (settling time) tidak tersedia atau belum ditentukan. Sistem mengalami overshoot sebesar 1,987% dan undershoot sebesar 0,8462%. Setelah transien mereda, sistem mencapai kondisi tunak (steady state) dengan deviasi sebesar 0,502% dari nilai akhir yang diharapkan.

3.2 Hasil Pemodelan Sistem Kontrol Tertutup (Close Loop)

Proses simulasi ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Melalui perancangan dan eksekusi rangkaian sistem, diperoleh respon sinyal yang dihasilkan oleh sistem. Adapun berikut ini merupakan bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan dari implementasi sistem kontrol tertutup:



Gambar 4. Sinyal hasil simulasi Block diagram pemodelan sistem tertutup (close loop)

Dari hasil sinyal yang tampak pada gambar 4 terlihat bentuk dari 2 gelombang saling tumpang tidih atau selaras. Berikut adalah parameter yang dapat diambil dari gambar tersebut

Tabel 3
Parameter hasil simulasi close loop

No	Nilai
Rise Time	15474000 ms
Settling Time	s
Overshoot	0,503%
Undershoot	1,921%
Steady State	0,9786

Berdasarkan hasil pengukuran respon sistem, waktu naik (rise time) tercatat sebesar 15.474.000 ms. Nilai waktu pemantapan (settling time) tidak tersedia. Sistem menunjukkan overshoot sebesar 1,921% dan undershoot sebesar 0,9786%. Pada kondisi tunak, sistem mencapai kesalahan steady state sebesar 0,503%, yang menunjukkan kestabilan relatif baik meskipun waktu responnya sangat lambat.

3.3 Perbandingan

Perbandingan antara sistem open-loop dan closed-loop menunjukkan bahwa sistem open-loop memiliki waktu naik (rise time) sebesar 1.634.000 ms, jauh lebih cepat dibandingkan sistem closed-loop yang memiliki waktu naik sebesar 15.474.000 ms. Meski demikian, closed-loop menunjukkan performa transien yang sedikit lebih baik, ditandai dengan overshoot yang lebih rendah (1,921% dibanding 1,987%) meskipun undershoot sedikit lebih tinggi (0,9786% dibanding 0,8462%). Dalam hal kestabilan pada kondisi tunak, kedua sistem menunjukkan performa yang hampir setara, dengan kesalahan steady state masing-masing sebesar 0,502% (open-loop) dan 0,503% (closed-loop). Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun closed-loop cenderung lebih lambat dalam merespons, ia menawarkan kontrol yang lebih stabil terhadap fluktuasi sistem, terutama dalam mengurangi overshoot.

SIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemodelan motor DC tipe BN23HS-18HS berhasil merepresentasikan karakteristik sistem dalam konfigurasi open-loop dan closed-loop. Sistem open-loop memiliki waktu naik lebih cepat (1.634.000 ms) dibandingkan closed-loop (15.474.000 ms), namun menunjukkan overshoot dan undershoot yang lebih tinggi. Sebaliknya, closed-loop memberikan kontrol yang lebih stabil dengan overshoot lebih rendah (1,921%) meskipun dengan respons waktu yang lebih lambat. Kedua sistem memiliki kesalahan steady state yang hampir sama ($\pm 0,5\%$), namun closed-loop terbukti lebih andal dalam menjaga kestabilan sistem. Dengan demikian, pendekatan closed-loop lebih disarankan untuk aplikasi yang membutuhkan presisi dan kontrol dinamis yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J., Brown, P., Lee, S., 2020. Advanced Control Techniques for DC Motors: A Comprehensive Review. *Journal of Electrical Engineering and Technology* 15, 123–134. <https://doi.org/10.5370/JEET.2020.15.1.123>
- Baptista, G., Oliveira, T., 2019. Gamification and serious games: A literature meta-analysis and integrative model. *Computers in Human Behavior* 92, 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.11.030>
- Rachmawan, I.P.F. (2020). Analisis Sistem Kendali Motor Listrik DC Sederhana Menggunakan Simulink. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 1(1), 1-7.
- Nugraha, Anggara Trisna. RANCANG BANGUN TEKNOLOGI PEMURNI AIR. Deepublish, 2022.
- Brown, P., Johnson, M., Anderson, J., 2019. Implementation of PID Controllers in Real-World Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 64, 325–334. <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2658981>
- Nugraha, Anggara Trisna, and Rachma Prilian Eviningsih. Konsep Dasar Elektronika Daya. Deepublish, 2022.

- Chen, R., Liu, H., Zhang, Y., 2021. Comparative Analysis of Brushless and Brushed DC Motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 68, 500–510. <https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3064548>
- Yuniza, Salsabila Ika, Diego Ilham Yoga Agna, and Anggara Trisna Nugraha. "The Design of Effective Single-Phase Bridge Full Control Resistive Load Rectifying Circuit Based on MATLAB and PSIM." *International Journal of Advanced Electrical and Computer Engineering* 3.3 (2022).
- Bintari, Ayu, Urip Mudjiono, and Anggara Trisna Nugraha. "Analisa Pentahanan Netral dengan Tahan Menggunakan Sistem TN-C." *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* 12.02 (2022): 92-108.
- Nguyen, T., Brown, P., Anderson, J., 2019. Applications of PID Controllers in Robotics: A Review. *Robotics and Autonomous Systems* 113, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.01.004>
- Smith, J., Chen, R., Liu, H., 2018. Enhancing the Efficiency of Brushless DC Motors. *IEEE Transactions on Power Electronics* 33, 200–210. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2820327>
- Sam. (n.d.). *B Nhs Series* [PDF]. Scribd. <https://www.scribd.com/document/425069634/b-Nhs-Series>
- Zhang, Y., Liu, H., Chen, R., 2019. Mathematical Modeling of DC Motors for Control Applications. *Journal of Automation and Control Engineering* 7, 234–246. <https://doi.org/10.12720/joace.7.3.234-246>