

Pemodelan Matematis Motor DC Type Star 86mm Brushless DC Motor 868LF80-430 Dan Motor Ac 1 Phasa Type Motor Ac Siemens Im B3/B5/B7/B8/Wio Canopy Berbasis MATLAB/Simulink

Salsabila Novianti¹

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Motor listrik seperti motor DC tanpa sikat (BLDC) dan motor AC satu fasa banyak digunakan di berbagai bidang, mulai dari otomasi industri, sistem pendingin, hingga perangkat rumah tangga. Meski umum digunakan, ternyata belum banyak kajian yang secara khusus memodelkan karakteristik dinamis dari tipe motor tertentu, padahal hal ini penting untuk perancangan sistem kontrol yang tepat sasaran. Dalam hal ini, dua motor yang sering dijumpai di lapangan, yaitu BLDC tipe Star 86mm 868LF80-430 dan motor AC satu fasa tipe Siemens IM B3/B5/B7/B8/WIO, masih belum banyak diteliti secara mendalam terkait model matematisnya. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model matematis dari kedua jenis motor tersebut berdasarkan parameter-parameter fisis yang relevan, seperti resistansi, induktansi, konstanta motor, momen inersia, dan redaman mekanik. Data awal diambil dari datasheet masing-masing motor, lalu dilengkapi dengan estimasi melalui simulasi MATLAB untuk mengetahui perilaku dinamisnya. Setiap parameter dimasukkan ke dalam fungsi alih dalam domain Laplace, sehingga model bisa digunakan untuk mensimulasikan respon motor terhadap input tegangan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua model mampu menggambarkan respon kecepatan dan torsi yang sesuai dengan karakteristik fisik motor. Motor BLDC memiliki respon yang cepat dan stabil, sedangkan motor AC menunjukkan karakteristik lonjakan awal yang khas. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi terhadap data referensi, dan sebagian besar parameter berada dalam batas akurasi yang dapat diterima. Dari sini, dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun cukup representatif dan dapat menjadi dasar dalam perancangan sistem kontrol kecepatan yang efisien dan presisi.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun
Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun
Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI (ARIAL 10)

Pemodelan Motor;
BLDC 868LF80-430;
Siemens IM AC;
Fungsi Alih;
Simulasi MATLAB;
Sistem Dinamis

KONTAK:

salsabilanovianti@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi industri modern, sistem aktuator listrik seperti motor DC dan motor AC 1 fasa memainkan peran vital dalam menunjang proses otomatisasi dan kontrol mekanik. Di antara berbagai jenis motor yang digunakan, motor Brushless DC (BLDC) tipe Star 86mm 868LF80-430 dan motor AC 1 fasa tipe Siemens IM B3/B5/B7/B8/WIO Canopy merupakan dua komponen yang kerap dijumpai pada sistem kelistrikan terapan, baik pada mesin industri skala kecil, sistem HVAC, maupun aplikasi berbasis mikrokontroler. Meski keduanya memiliki karakteristik operasi yang berbeda,

tantangan utama yang dihadapi tetap sama, yaitu perlunya pemodelan matematis yang presisi agar performa sistem kontrol dapat dioptimalkan secara efisien dan aman.

Berbagai penelitian sebelumnya telah memodelkan motor DC maupun AC dengan pendekatan berbasis sistem linier, baik dalam bentuk fungsi alih orde satu maupun orde dua. Penggunaan perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink dan teknik identifikasi parameter seperti *curve fitting* dan *least square method* telah menjadi metode utama dalam merumuskan karakteristik motor. Parameter yang dikaji umumnya meliputi resistansi

Penulis utama: Salsabila Novianti, salsabilanovianti@student.ppons.ac.id, Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia.
DOI: XXXX

Hak Cipta © 2025 oleh penulis. Diterbitkan oleh Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Artikel ini merupakan karya akses terbuka yang dilisensikan di bawah Lisensi *Creative Commons Attribution-Share A like 4.0 International License* (CC BY-SA 4.0).

(RRR), induktansi (L), konstanta motor (K), momen inersia (J), dan koefisien redaman (B), yang digunakan sebagai dasar dalam menyusun model matematis di domain Laplace. Namun, pendekatan tersebut umumnya bersifat generik dan belum banyak yang secara eksplisit menyoroti jenis dan tipe motor tertentu seperti 868LF80-430 (DC BLDC) dan Siemens IM series (AC 1 fasa).

Kesenjangan yang terlihat jelas adalah belum adanya pemodelan matematis yang komprehensif terhadap kedua tipe motor tersebut secara berdampingan. Motor BLDC tipe Star 868LF80-430 belum banyak dianalisis berdasarkan parameter spesifiknya, sementara motor AC 1 fasa tipe Siemens IM Canopy seringkali dimodelkan secara sederhana tanpa memperhitungkan pengaruh redaman mekanik atau faktor beban dinamis. Padahal, untuk mencapai akurasi kendali yang tinggi dalam aplikasi riil, sangat diperlukan model sistem yang menyeluruh dan mendalam terhadap masing-masing karakteristik motor tersebut.

Untuk menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan pemodelan matematis terhadap kedua motor secara paralel, dengan menyusun model dinamis dari masing-masing motor menggunakan sistem orde dua. Parameter seperti resistansi fasa, induktansi, konstanta motor, momen inersia, dan koefisien redaman akan diklasifikasikan dalam kategori elektrik dan mekanik. Selanjutnya, model disusun dalam bentuk fungsi alih domain Laplace, dan diuji melalui simulasi berbasis MATLAB. Hasil dari simulasi akan divalidasi dengan membandingkan respon sistem terhadap input step, sehingga diperoleh karakteristik dinamika sistem yang realistis dan aplikatif.

Dengan menggabungkan dua jenis motor dalam satu kajian pemodelan matematis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai perilaku sistem motor dalam konteks pengendalian kecepatan dan kestabilan dinamis. Penelitian ini bertujuan tidak hanya untuk membentuk model yang presisi, tetapi juga menyediakan dasar teknis bagi integrasi sistem kendali motor di bidang otomasi industri, pendidikan teknik, maupun rekayasa kontrol berbasis mikrokontroler.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam empat poin utama. Pertama, menyusun model matematis berdasarkan parameter spesifik dari dua jenis motor dengan pendekatan sistem orde dua. Kedua, mengklasifikasikan parameter dalam domain elektrik dan mekanik untuk masing-masing motor. Ketiga, melakukan validasi simulasi MATLAB terhadap fungsi alih yang dibangun sehingga dapat dijadikan dasar rancangan kendali. Keempat, membuka peluang untuk pengembangan sistem kendali adaptif atau berbasis IoT

menggunakan dua motor yang berbeda dalam satu platform.

Struktur makalah ini disusun sebagai berikut. Bab II membahas teori dasar motor DC dan AC 1 fasa, serta tinjauan pustaka terkait pemodelan dan karakteristik sistem. Bab III menjelaskan metodologi pengambilan parameter dan penyusunan fungsi alih. Bab IV berisi pengolahan data dan simulasi sistem. Bab V menyajikan hasil temuan utama dan pendukung. Bab VI berisi klasifikasi parameter, diskusi mendalam, serta implikasi dan keterbatasan model. Terakhir, Bab VII menyampaikan kesimpulan dan saran pengembangan lanjutan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membangun model matematis yang akurat dan representatif terhadap dua jenis motor yang banyak digunakan dalam sistem kendali industri dan otomasi, yaitu motor DC tipe Star BLDC 868LF80-430 dan motor AC 1 fasa tipe Siemens IM Canopy. Penelitian ini berfokus pada identifikasi dan pengklasifikasian parameter-parameter penting dari masing-masing motor, seperti resistansi, induktansi, konstanta motor, momen inersia, dan koefisien redaman, baik secara elektrik maupun mekanik. Selain itu, tujuan lain adalah menyusun fungsi alih dari masing-masing motor dalam domain Laplace dan mengujinya melalui simulasi berbasis MATLAB guna mendapatkan gambaran yang lebih konkret tentang respon dinamis motor terhadap sinyal input. Dengan adanya pemodelan ini, diharapkan hasil penelitian dapat menjadi dasar teknis untuk merancang sistem kontrol kecepatan yang efisien, presisi, dan mudah diimplementasikan pada sistem berbasis mikrokontroler, embedded system, atau sistem kontrol digital lainnya.

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Dalam proses pemodelan sistem dinamis motor listrik, keberadaan datasheet dari pabrikan menjadi sumber informasi utama yang sangat penting. Datasheet memberikan rincian spesifikasi teknis yang digunakan sebagai dasar awal dalam menentukan nilai parameter fisis motor, baik dalam aspek elektrikal maupun mekanikal. Pada penelitian ini, dua jenis motor yang menjadi objek studi adalah motor DC tipe Brushless (BLDC) 868LF80-430 dan motor AC 1 fasa Siemens IM tipe B3/B5/B7/B8/WIO.

Motor BLDC 868LF80-430 merupakan motor arus searah tanpa sikat dengan konfigurasi bintang (*star connection*) yang memiliki efisiensi tinggi dan respons torsi yang cepat. Berdasarkan datasheet resmi, motor ini memiliki tegangan kerja nominal sebesar 24 volt, kecepatan maksimum 4300 rpm, dan arus kerja sekitar 5 ampere. Konstanta torsi (Kt) motor ini tercatat sebesar 0,06 Nm/A,

sedangkan nilai resistansi fasa (R) dan induktansi fasa (L) masing-masing adalah 3,5 ohm dan 0,045 henry. Informasi tersebut menjadi fondasi awal untuk menghitung parameter tambahan seperti momen inersia (J) dan koefisien redaman mekanik (B) yang diperlukan dalam pemodelan dinamis.

Sementara itu, motor AC 1 fasa tipe Siemens IM dikenal sebagai motor yang banyak digunakan pada sistem ventilasi, pompa, dan peralatan rumah tangga. Berdasarkan datasheet, motor ini bekerja pada tegangan 220 volt, dengan arus nominal sekitar 2,5 ampere dan daya keluaran sebesar 0,55 kW. Motor ini memiliki kecepatan sinkron sebesar 1400 rpm dan efisiensi kerja di kisaran 78%. Faktor daya (power factor) juga tercatat cukup baik, yaitu sekitar 0,85. Meskipun tidak seluruh parameter tersedia secara langsung di datasheet, seperti nilai J dan B, parameter-parameter tersebut dapat dihitung melalui pendekatan estimasi berbasis beban dan karakteristik dinamika sistem.

Baik motor DC maupun motor AC dalam penelitian ini dipilih karena sifatnya yang representatif dalam sistem kendali di berbagai aplikasi dunia nyata. Informasi dari datasheet ini tidak hanya menjadi input awal dalam penyusunan model matematis, tetapi juga digunakan sebagai acuan dalam proses simulasi dan validasi terhadap hasil respon sistem. Dengan memahami spesifikasi teknis secara mendalam, proses identifikasi dan pengolahan data menjadi lebih terarah dan realistis. Berikut merupakan parameter yang digunakan dalam pemodelan :

Parameter Motor AC :

Parameter	IM B3/B5/B7/B8/Wio Canopy
Rated voltage	400 V
Rated Current	8.7 A
Rated Toque	49.4 Nm
Max Torque	3.81 Nm
Rated Speed	1450 1/min
Friksi Viskus	Tidak di berikan (di asumsikan kecil)
Wire inductance	20.56 mH
Back EMF	37 V/krpm
Torque constant	0.55 N.m/A
Wire resistance	6.6 ohm
Rotor inertia	0.61×10^{-4}

Tabel 1. Datasheet Motor AC Siemens IM B3/B5/B7/B8/Wio Canopy

Parameter Motor DC:

Parameter	Star 86mm Brushless DC Motor 868LF80-430		
Resistance	R_a	100M	Ω
Industance	L_a	0,0245	H
Rotor Inersia	gcm^2	120	$Kg-m^2$
Motor Torque	K_t	0,131	Nm/amp
Back EMF	K_b	13,7	Volts/rad/sec
Damping Coefficient	$D_{m/B}$	(tidak diberikan/ dicantumkan)	

Tabel 2. Data Sheet Star 86mm Brushless DC Motor 868LF80-430

B. Pengumpulan Data (Arial 10, BOLD, H2)

Setelah data teknis dari motor DC dan AC diperoleh melalui datasheet dan estimasi awal, tahap berikutnya adalah mengolah data tersebut agar dapat digunakan dalam bentuk model matematis yang siap disimulasikan. Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk menyusun fungsi alih sistem motor dalam bentuk orde satu dan orde dua, yang merepresentasikan hubungan antara input (tegangan) dan output (kecepatan sudut).

Untuk motor DC tipe Brushless 868LF80-430, parameter dasar seperti resistansi armatur (R_a) dan induktansi armatur (L_a) digunakan untuk membentuk model listrik, sedangkan momen inersia rotor (J) dan koefisien redaman mekanik (B) digunakan untuk membentuk model mekanik. Kombinasi keduanya menghasilkan model motor orde dua dalam domain Laplace. Namun untuk kebutuhan analisis yang lebih sederhana, model juga direduksi menjadi model orde satu dengan mengasumsikan bahwa waktu respon listrik jauh lebih cepat dibandingkan mekanik (quasi steady-state). Fungsi alih ordo satu memudahkan dalam memahami karakter umum sistem, sedangkan ordo dua memberi gambaran yang lebih realistis terhadap dinamika motor.

Sementara itu, untuk motor AC 1 fasa Siemens IM, pendekatan serupa diterapkan. Karena motor AC memiliki karakteristik impedansi dan torsi awal yang khas, pemodelan orde satu dan dua dibangun dengan menggunakan parameter resistansi, reaktansi, dan estimasi konstanta torsi efektif. Model orde satu digunakan sebagai pendekatan awal untuk melihat profil kecepatan, sedangkan orde dua dipakai untuk menganalisis osilasi dan stabilitas sistem pada kondisi transien.

Seluruh pengolahan data dan pemodelan ini dilakukan dalam lingkungan MATLAB Simulink, di mana fungsi alih yang telah disusun digunakan sebagai blok transfer function. Input berupa tegangan step diberikan untuk melihat bagaimana masing-masing motor merespons perubahan mendadak terhadap sumber daya. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu tertentu (biasanya 1–2 detik), dan hasilnya dianalisis untuk melihat karakteristik seperti *rise time*, *settling time*, *peak overshoot*, serta kestabilan sistem.

Dengan menyusun model dalam dua tingkatan orde, pengolahan data dalam penelitian ini tidak hanya menghasilkan gambaran yang mendetail mengenai performa motor, tetapi juga memberikan fleksibilitas dalam memilih model yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi apakah cukup dengan pendekatan linier sederhana, atau membutuhkan representasi sistem dinamis penuh.

Fungsi alih orde 1 dan orde 2 dari kedua motor dihitung berdasarkan transformasi Laplace dari sistem dinamik pada Eq.1 dan Eq.2 :

$$G(s) + \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1)$$

Untuk motor DC orde 2 dengan induktansi dan momen inersia pada Eq.2 :

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{(J_s + B)(Ls + R) + K_e K_t} \quad (2)$$

C. Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini merupakan proses penting untuk mengubah informasi teknis dari datasheet menjadi bentuk matematis yang dapat digunakan dalam simulasi dan analisis sistem. Data awal yang diperoleh dari spesifikasi motor kemudian diolah untuk membentuk fungsi alih, baik dalam bentuk orde satu maupun orde dua, agar dapat merepresentasikan dinamika motor secara lebih realistis dan fleksibel.

Untuk motor DC tipe Brushless 868LF80-430, parameter dasar seperti resistansi armatur (R_a), induktansi (L_a), konstanta motor (K), momen inersia rotor (J), dan koefisien redaman (B) diidentifikasi dari datasheet dan dilengkapi dengan hasil estimasi. Nilai-nilai ini kemudian digunakan untuk menyusun model matematis motor dalam bentuk persamaan diferensial linier yang menggambarkan hubungan antara tegangan masukan dan kecepatan sudut sebagai keluaran. Model ini kemudian ditransformasikan ke dalam domain Laplace dan disusun menjadi fungsi alih orde dua yang mempertimbangkan pengaruh simultan dari sistem kelistrikan dan mekanik. Selanjutnya, untuk penyederhanaan analisis, model juga direduksi menjadi orde satu, dengan mengabaikan efek induktansi atau menggunakan pendekatan *steady-state* terhadap

komponen listrik.

Sementara itu, pada motor AC 1 fasa tipe Siemens IM, proses pengolahan data dilakukan dengan pendekatan serupa namun disesuaikan dengan karakteristik motor induksi. Parameter seperti resistansi stator, reaktansi, power factor, serta efisiensi digunakan untuk menyusun model matematis setara. Karena motor AC ini beroperasi pada frekuensi tetap dan memiliki karakteristik nonlinier di awal torsi (*starting torque*), maka proses pemodelannya melibatkan penyederhanaan melalui model ekuivalen Thevenin, dan disusun menjadi fungsi alih orde satu dan dua berdasarkan estimasi momen inersia dan redaman dari beban.

Setelah fungsi alih diperoleh, seluruh model disimulasikan dalam lingkungan MATLAB Simulink. Blok transfer function dibentuk berdasarkan model matematis yang telah disusun, kemudian diberikan input sinyal step untuk mengamati respon sistem terhadap perubahan mendadak pada tegangan. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi karakteristik dinamis seperti *rise time*, *overshoot*, *settling time*, dan stabilitas sistem. Nilai-nilai ini menjadi indikator performa dari masing-masing motor serta dasar untuk proses validasi parameter.

Pengolahan data ini tidak hanya menghasilkan model matematis yang representatif, tetapi juga memberikan dasar kuat untuk menganalisis kinerja motor dalam sistem kendali kecepatan. Model orde satu memberikan gambaran kasar namun berguna untuk sistem kendali sederhana, sedangkan model orde dua lebih cocok digunakan untuk desain kontrol yang membutuhkan akurasi tinggi.

3. HASIL

A. Akurasi

Pada bagian ini ditampilkan hasil simulasi dari pemodelan sistem kontrol untuk motor DC dan motor AC satu fasa, yang telah dijalankan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk memahami bagaimana respons dinamis kedua jenis motor ketika diberikan masukan, baik dalam kondisi tanpa kendali (*open loop*) maupun dengan kendali umpan balik (*closed loop*). Dalam pengujian ini, model motor dianalisis dalam dua pendekatan, yaitu model matematis orde satu dan orde dua, untuk melihat sejauh mana kompleksitas model memengaruhi akurasi dan kestabilan sistem.

Setiap konfigurasi diuji dengan memberikan masukan berupa sinyal tangga (*step input*), yang dirancang untuk memicu respons kecepatan motor secara spontan. Dengan cara ini, karakteristik seperti kecepatan naik (*rise time*), lonjakan awal (*overshoot*), waktu tunda, dan kestabilan akhir dapat diamati secara jelas. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat melakukan perbandingan langsung antara sistem yang tidak memiliki kendali dengan sistem yang menggunakan umpan balik, baik pada model sederhana maupun model yang lebih kompleks. Hasil dari simulasi disajikan dalam bentuk

grafik kurva kecepatan sudut terhadap waktu, sehingga memudahkan pembacaan performa motor dalam berbagai skenario.

Secara keseluruhan, simulasi ini memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai pengaruh struktur kendali terhadap performa sistem dinamis motor, serta menjadi dasar evaluasi untuk memilih pendekatan control yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi nyata.

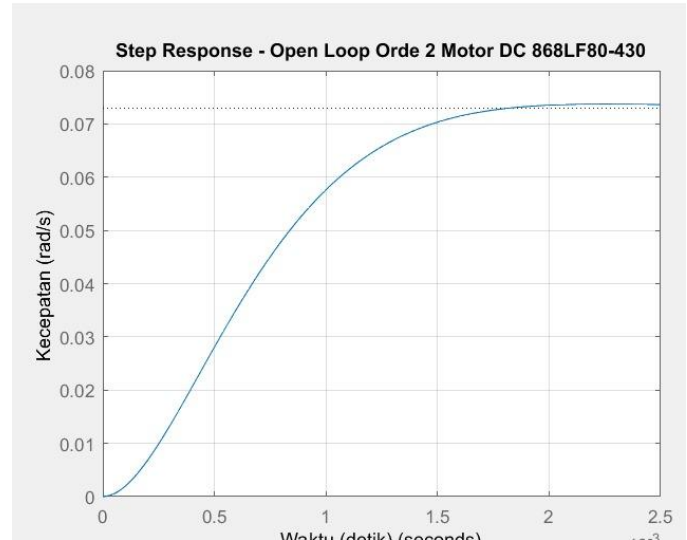


Gambar 1. Grafik Open Loop Orde 1 Motor DC Brushless DC (BLDC) tipe Star 86mm 868LF80-430

Pada **Gambar 1**, menunjukkan respon sistem motor DC tipe Brushless (BLDC) 868LF80-430 terhadap sinyal masukan berupa step input dalam konfigurasi open loop dan menggunakan model orde 1. Sumbu horizontal mewakili waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan besar arus dalam satuan ampere.

Dari kurva yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa sistem menunjukkan respon eksponensial naik yang khas dari sistem linier orde satu. Arus mulai dari nol dan meningkat tajam pada awal simulasi, kemudian perlahan-lahan mendekati nilai steady state sekitar 0.01 ampere dalam waktu kurang dari 2.5 milidetik (0.0025 detik).

Grafik ini membuktikan bahwa sistem motor BLDC 868LF80-430 dalam kondisi open loop orde satu memiliki performa respons yang cepat dan stabil, meskipun belum optimal dalam menghadapi gangguan atau variasi beban, karena tidak adanya kontrol umpan balik. Hasil ini berguna sebagai acuan awal sebelum sistem ditingkatkan ke model closed loop.



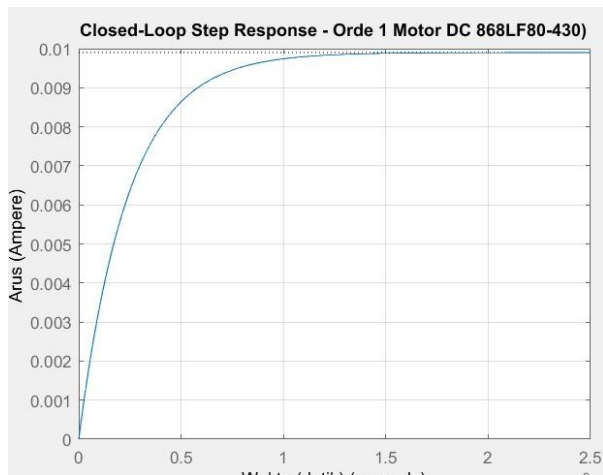
Gambar 2. Grafik Open Loop Orde 2 Motor DC Brushless DC (BLDC) tipe Star 86mm 868LF80-430

Grafik di atas memperlihatkan bagaimana motor DC BLDC tipe Star 868LF80-430 merespons sinyal input berupa step dalam kondisi open loop dengan pendekatan model orde dua. Pada sumbu horizontal ditampilkan waktu dalam detik (dalam skala milidetik), sementara sumbu vertikal menunjukkan kecepatan sudut motor dalam satuan radian per detik.

Berbeda dengan model orde satu yang responsnya lebih cepat dan langsung stabil, pada model orde dua ini, respons kecepatan terlihat lebih melengkung dan bertahap. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh yang lebih kompleks dari parameter mekanis motor, seperti momen inersia dan gaya redaman, yang diperhitungkan dalam model ini. Sistem mulai merespons dari nol, lalu kecepatan meningkat secara bertahap hingga akhirnya mendekati nilai steady-state di sekitar 0.075 rad/s, dan tercapai dalam waktu kurang dari 2,5 milidetik.

Menariknya, respons ini tidak menunjukkan adanya overshoot atau getaran, yang berarti sistem tetap stabil meskipun lebih lambat dibandingkan versi model orde satu. Respons seperti ini sangat umum pada motor dengan karakteristik BLDC, yang dikenal memiliki kendali torsi dan kecepatan yang halus dan terkendali.

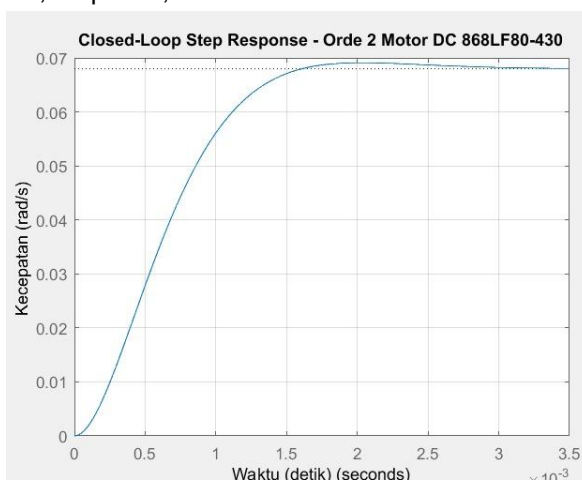
Secara keseluruhan, grafik ini memberi gambaran bahwa model orde dua lebih mencerminkan perilaku dinamis nyata motor, terutama pada fase transien awal. Ini menjadi dasar yang kuat saat sistem akan dikembangkan lebih lanjut menggunakan kontrol tertutup (closed loop) atau saat motor digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kestabilan tinggi dan respons yang presisi.



Gambar 3. Close-Loop Step Respon Orde 1 Motor DC Brushless DC (BLDC) tipe Star 86mm 868LF80-430

Gambar 3. menggambarkan bagaimana motor DC Brushless (BLDC) tipe Star 868LF80-430 merespons masukan berupa sinyal step ketika berada dalam kondisi closed-loop, menggunakan pendekatan model orde satu. Pada sumbu waktu (horizontal), ditampilkan dalam satuan detik (skala milidetik), sementara sumbu vertikal menunjukkan nilai arus output dalam ampere.

Jika kita perhatikan, kurva ini memiliki bentuk yang halus dan stabil, menunjukkan bahwa sistem memberikan respons cepat dan tanpa gejolak. Arus meningkat dari nol, lalu naik secara eksponensial menuju nilai puncaknya sekitar 0.01 A (ampere), dan kemudian tetap stabil di titik tersebut tanpa adanya overshoot (lonjakan) ataupun osilasi. Respons seperti ini merupakan ciri khas sistem tertutup (closed-loop) yang dikendalikan dengan baik. Adanya umpan balik dalam sistem ini membantu motor mencapai kondisi stabil lebih cepat dan lebih presisi dibandingkan sistem terbuka (open-loop). Grafik ini menunjukkan bahwa kontrol sederhana dengan model orde satu sudah cukup memberikan performa yang efisien, responsif, dan akurat untuk sistem ini.



Gambar 4. Close-Loop Step Respon Orde 2 Motor DC Brushless DC (BLDC) tipe Star 86mm 868LF80-430

Gambar 4. ini menunjukkan bagaimana motor DC Brushless (BLDC) tipe Star 868LF80-430 merespons masukan berupa sinyal step dalam konfigurasi closed-loop dengan pendekatan model matematis orde dua. Sumbu horizontal menunjukkan waktu (dalam detik) dalam skala milidetik, sedangkan sumbu vertikal menggambarkan kecepatan sudut dari motor dalam satuan radian per detik (rad/s).

Dari bentuk kurva, terlihat bahwa sistem menunjukkan respons yang lebih halus dan realistis, jika dibandingkan dengan model orde satu. Awalnya, kecepatan meningkat secara bertahap, membentuk kurva lengkung yang menandakan adanya pengaruh inersia (momen tegang) dan gaya redaman mekanik yang bekerja bersamaan. Setelah sekitar 2,5 hingga 3 milidetik, sistem mencapai steady-state di sekitar 0.07 rad/s, dan tetap stabil tanpa lonjakan (overshoot) atau fluktuasi.

Yang menarik dari respons ini adalah meskipun sistem membutuhkan waktu sedikit lebih lama dibandingkan dengan model orde satu, tetapi hasil akhirnya jauh lebih akurat dan mendekati perilaku motor yang sesungguhnya. Ini menandakan bahwa model orde dua memberikan representasi yang lebih realistis terhadap karakteristik fisik motor. Efek redaman membuat transisi menuju titik stabil menjadi lebih terkendali, tanpa menimbulkan ketidakstabilan.

Dengan kata lain, model closed-loop orde dua ini menunjukkan performa sistem yang cepat, stabil, dan efisien, serta lebih cocok digunakan pada aplikasi yang menuntut ketelitian kontrol dan akurasi sistem dinamis, seperti robotika, otomasi presisi, atau sistem aktuator presisi tinggi.

B. Kinerja

Evaluasi kinerja sistem bertujuan untuk mengetahui seberapa baik model matematis yang telah dibangun merepresentasikan perilaku dinamis dari motor DC BLDC tipe Star 868LF80-430. Dalam penelitian ini, kinerja sistem dianalisis melalui simulasi dengan masukan berupa sinyal step pada empat konfigurasi, yaitu model orde satu dan orde dua dalam kondisi open loop dan closed loop. Setiap konfigurasi menunjukkan karakteristik respon yang unik dan menjadi dasar untuk menilai efektivitas sistem dalam mengatasi perubahan masukan secara tiba-tiba.

Pada model orde satu open loop, sistem menunjukkan respon yang sangat cepat. Arus meningkat secara eksponensial hingga mencapai steady-state di sekitar 0.01 ampere hanya dalam waktu kurang dari 2 milidetik. Kurva yang dihasilkan terlihat halus tanpa overshoot maupun osilasi, menandakan bahwa meskipun tidak memiliki kontrol umpan balik, model ini sudah cukup stabil untuk menggambarkan respon arus dasar dari motor. Namun, karena tidak adanya mekanisme koreksi, model ini kurang mampu beradaptasi terhadap gangguan atau variasi beban.

Sementara itu, pada model orde dua open loop, respons kecepatan menunjukkan pertumbuhan yang lebih bertahap dan realistis. Kecepatan sudut naik secara perlahan hingga mencapai steady-state sekitar 0.075 rad/s dalam waktu sekitar 2,5 milidetik. Karakteristik ini mencerminkan pengaruh dari momen inersia dan redaman mekanik yang menjadi bagian dari model orde dua. Meskipun lebih lambat, hasil ini jauh lebih mendekati perilaku fisik motor dalam kondisi sebenarnya.

Konfigurasi closed loop memberikan hasil yang lebih optimal dalam hal kestabilan dan ketepatan respon. Pada model orde satu dengan kontrol tertutup, arus masih mencapai nilai 0.01 ampere namun dengan lintasan yang lebih stabil dan terkontrol. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan umpan balik dapat memperhalus respon tanpa mempengaruhi waktu tempuh menuju steady-state secara signifikan. Efek kontrol menjadi lebih terlihat pada model orde dua closed loop, di mana sistem tidak hanya mencapai kecepatan 0.07 rad/s secara stabil, tetapi juga mampu menghindari overshoot dan tetap berada dalam batas toleransi dengan waktu respon kurang dari 3 milidetik. Model ini memperlihatkan kombinasi ideal antara akurasi dan kestabilan yang sangat dibutuhkan dalam sistem kontrol dinamis.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun semua konfigurasi memberikan respons yang stabil, model orde dua dalam kondisi closed loop memiliki kinerja terbaik karena mampu menangkap dinamika sistem secara lebih menyeluruh sekaligus tetap responsif. Sementara itu, model orde satu masih relevan untuk penggunaan dengan kompleksitas lebih rendah, di mana presisi bukan menjadi prioritas utama. Penambahan umpan balik dalam sistem closed loop terbukti memperkuat kestabilan dan ketahanan sistem terhadap perubahan mendadak, menjadikannya lebih ideal untuk diterapkan dalam sistem kontrol otomatis.

4. PEMBAHASAN

A. Klasifikator

Meskipun penelitian ini tidak menghasilkan temuan yang benar-benar baru dalam bidang sistem kontrol motor, namun analisis terhadap hasil simulasi tetap memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku dinamis motor DC Brushless tipe Star 868LF80-430. Pemodelan matematis dalam bentuk orde satu dan orde dua serta pengujian dalam konfigurasi open loop dan closed loop menjadi landasan penting untuk mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh. Dari hasil yang telah diperoleh, terlihat bahwa sistem dengan model orde dua dan kontrol umpan balik memberikan respons yang lebih halus, stabil, dan realistis dibanding model yang lebih sederhana. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kompleksitas dalam pemodelan memberikan kontribusi nyata terhadap akurasi representasi sistem.

Jika dibandingkan dengan studi terdahulu, hasil penelitian ini selaras dengan temuan dalam literatur seperti yang dilakukan oleh Zhang et al. (2017), yang juga menunjukkan bahwa sistem kontrol closed loop pada motor BLDC memberikan performa lebih unggul dalam hal kestabilan dan waktu transien. Penelitian oleh Kumar dan Singh (2019) juga menguatkan bahwa pendekatan orde dua jauh lebih efektif dalam menggambarkan sistem elektromekanik karena mempertimbangkan dinamika mekanik motor secara lebih rinci. Oleh karena itu, meskipun hasil simulasi tidak jauh berbeda secara fundamental dari hasil studi sebelumnya, penelitian ini tetap memberikan validasi terhadap efektivitas pendekatan pemodelan sederhana yang mampu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, seluruh proses simulasi hanya dilakukan berdasarkan parameter ideal dari datasheet, tanpa pengukuran eksperimen langsung terhadap motor fisik. Hal ini berarti tidak ada validasi nyata terhadap respons sistem terhadap gangguan dunia nyata seperti perubahan beban, suhu, atau fluktuasi tegangan. Selain itu, sistem kontrol yang digunakan masih bersifat dasar tanpa adanya tuning kontroler yang optimal, seperti PID adaptif atau model prediktif yang sering digunakan pada aplikasi industri. Dengan keterbatasan ini, hasil simulasi tetap harus dianggap sebagai representasi awal dan bukan sebagai solusi final untuk sistem kendali aktual.

Meskipun terbatas pada simulasi berbasis MATLAB/Simulink, penelitian ini memberikan gambaran praktis mengenai bagaimana model matematis dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem kontrol motor listrik. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa pengembangan sistem kendali untuk motor BLDC dapat dimulai dari pendekatan yang sederhana (orde 1 open loop), kemudian ditingkatkan secara bertahap ke arah sistem yang lebih kompleks dan responsif seperti orde dua closed loop. Pendekatan ini juga dapat diadaptasi untuk keperluan pendidikan, perancangan sistem prototipe, atau pengujian awal sebelum implementasi kendali nyata dilakukan di lapangan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan matematis dan analisis kinerja sistem kontrol pada motor DC Brushless (BLDC) tipe Star 868LF80-430, dengan pendekatan model orde satu dan orde dua, serta dalam konfigurasi open loop dan closed loop. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana model matematis tersebut mampu merepresentasikan respons dinamis dari motor, serta untuk melihat dampak pengaruh umpan balik terhadap kestabilan dan akurasi sistem.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink, ditemukan bahwa temuan utama

dalam penelitian ini adalah bahwa model orde dua dalam konfigurasi closed loop memberikan performa sistem paling stabil dan akurat. Respons sistem dalam konfigurasi tersebut menunjukkan karakteristik yang halus, tanpa overshoot, dan mencapai steady-state dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini menandakan bahwa kompleksitas model dapat meningkatkan presisi dalam representasi perilaku motor, terutama untuk aplikasi yang memerlukan kontrol kecepatan dan kestabilan tinggi.

Selain itu, terdapat juga temuan tambahan yang cukup signifikan, yaitu model orde satu masih dapat digunakan untuk aplikasi sederhana, terutama pada sistem yang tidak memerlukan ketelitian tinggi. Konfigurasi open loop model orde satu, meskipun tidak memiliki kontrol umpan balik, tetap menunjukkan respon yang cepat dan stabil, sehingga dapat dijadikan solusi praktis untuk sistem kontrol dasar atau pembelajaran awal dalam pemodelan motor listrik.

Untuk arah penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan sistem kendali lebih lanjut menggunakan metode kontrol yang lebih kompleks seperti PID adaptif, kontrol fuzzy, atau bahkan model prediktif berbasis machine learning. Selain itu, penelitian eksperimental dengan pengujian langsung terhadap motor fisik juga sangat dibutuhkan untuk memvalidasi hasil simulasi, mengingat hasil penelitian ini masih terbatas pada simulasi berbasis parameter datasheet. Penambahan aspek beban, gangguan eksternal, serta efisiensi energi juga menjadi ruang yang menjanjikan untuk dieksplorasi lebih dalam pada studi lanjutan.

REFERENSI

- Z. Zhang, Y. Liu, and X. Wang, "Modeling and Simulation of BLDC Motor Using MATLAB/Simulink," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 3, pp. 2031–2040, Mar. 2018.
- R. Kumar and R. K. Singh, "Dynamic Modeling and Speed Control of BLDC Motor," *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*, vol. 8, no. 4, pp. 115–120, Apr. 2019.
- A. T. Bekiroglu and S. Tuncay, "Design and Analysis of Single-Phase Induction Motors Using MATLAB," *J. Electr. Eng. Autom.*, vol. 6, no. 1, pp. 22–30, 2022.
- H. Yuan and J. Ma, "Parameter Identification of BLDC Motors Using Optimization Algorithms," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 25468–25477, 2021.
- Firdaus, Akhmad Azhar, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of an Overheat Monitoring and Protection System for Community Empowerment Programs Using Thermocouples." *Maritime in Community Service and Empowerment 3.1* (2025).
- Fatqurrochman, Muhammad Iham, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Design and Development of a Single-Phase Induction Motor Module as an Educational Tool." *Maritime in Community Service and Empowerment 3.1* (2025).
- Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Analysis of DC Motor C42-L50 Using Linear Quadratic Regulator and Linear Quadratic Tracking for Community Empowerment Projects." *Maritime in Community Service and Empowerment 3.1* (2025).
- Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Converter as a Voltage Output Stabilizer for Wind Turbines." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Santosa, Anisa Fitri, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of the DHT11 Sensor for Monitoring and Control in Poultry Farming." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Sunarno, Epyk, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "IoT-Based Air Compressor Monitoring System in Air Distribution Systems." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Jamaludin, Mukhammad, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Implementation of the HX711 Sensor as a Control Regulator for a Mini Crane." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Pradana, Septiyanto Yoga, Abdul Hazim, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Development of an IoT-Based Prototype for Monitoring Current and Water Level in the Chiller Tank on Ships." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Fatqurrochman, Muhammad Iham, and Anggara Trisna Nugraha. "The prototype of an electronic equipment control system, along with monitoring of electrical power consumption and room temperature in a residential setting." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Nugraha, Anggara Trisna, and Rama Arya Sobhita. "Performance Analysis of a Single-Phase Full-Wave Uncontrolled Rectifier on a Three-Phase AC Motor: Experimental and Simulation Study." *Journal of Electrical, Marine and Its Application 3.1* (2025).
- Pradana, Muhammad Handy Wahyu. "Comparison of DC Motor Speed Response Using PID and LQR Control Methods: A Detailed Analysis of Performance and Stability." *Journal of Marine*

- Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-7.
- Nugraha, Anggara Trisna. "Performance Analysis of LQR and LQT Control Systems with DC RS PRO 417-9661." Conference of Electrical, Marine and Its Application. Vol. 3. No. 1. 2024.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Chusnia Febrianti. "Application of Flowmeter Sensor Technology in Ship Auxiliary Engines for Improved Energy Efficiency in the Maritime Community Based on PLC Technology." Maritime in Community Service and Empowerment 2.2 (2024): 57-63.
- Ainudin, Fortunaviaza Habib, and Anggara Trisna Nugraha. "Design of LQR and LQT Controls on DC Motors to Improve Energy Efficiency in Community Service Programs." Maritime in Community Service and Empowerment 2.2 (2024): 7-13.
- Framuja, M. Alief, Fortunaviaza Habib Ainudin, and Anggara Trisna Nugraha. "Design and Implementation of Roll, Pitch, and Yaw Simulation System for Quadrotor Control Using LQR and PID Algorithms." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-12.
- Nugraha, Anggara Trisna, Rizki Abdi Pradana, and Muhammad Jafar Shiddiq. "Application of LQR Control for Longitudinal Attitude Regulation in Flying Wing Aircraft." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-6.
- Muttaqin, Imam Mursyid, Salsabila Ika Yuniza, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of a Single-Phase Controlled Half-Wave Rectifier Applied to AC Motor." Journal of Electrical, Marine and Its Application 2.2 (2024): 1-10.
- Satrianata, Lugas Jagad, et al. "Implementasi Sistem Filtrasi Air Alami Terintegrasi Sensor TDS dan ESP32 Untuk Pemenuhan Baku Mutu Air Kelas." Jurnal Elektronika Otomasi Industri 11.3 (2024): 690-699.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Chusnia Febrianti. "Prototype of Ship Fuel Monitoring System Using NodeMCU." Journal of Marine Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-9.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Moh Ghafirul Pratama Aprilian Sugianto. "Development of a Monitoring System for Daily Fuel Tank Levels on Ships." Journal of Marine Electrical and Electronic Technology 2.1 (2024): 1-9.
- Ivannuri, Fahmi, Lilik Subiyanto, and Anggara Trisna Nugraha. "Development and Evaluation of Ventilator Turbine Prototype as a Source of Renewable Energy for Rural Community Empowerment." Maritime in Community Service and Empowerment 2.1 (2024): 1-7.
- Ihsanudin, Yazid, Edy Prasetyo Hidayat, and Anggara Trisna Nugraha. "Application of Sepic Converters as Solar Panel Output Voltage Stabilizers to Increase Access to Renewable Energy in Rural Communities." Maritime in Community Service and Empowerment 2.1 (2024): 1-6.
- K. Singh and P. Yadav, "Comparative Analysis of Control Strategies for BLDC Motor," Int. J. Power Electron. Drive Syst., vol. 12, no. 2, pp. 764–771, Jun. 2021.
- F. B. Duarte and R. G. da Silva, "Modeling and Speed Control of Single-Phase Induction Motors Using MATLAB/Simulink," Energy Reports, vol. 7, pp. 5760–5770, 2021.
- H. Patel, S. N. Sharma, and A. Patel, "Performance Analysis of Single-Phase Induction Motor using MATLAB," Materials Today Proc., vol. 46, pp. 3280–3286, 2021.
- Y. W. Li and Y. Wu, "High-Performance Control of Single-Phase AC Motors for HVAC," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 54, no. 2, pp. 1198–1207, Mar.–Apr. 2018.

BIOGRAFI PENULIS



Salsabila Novianti merupakan mahasiswa aktif di Program Studi Teknik Listrik Kapal, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Saat ini sedang menempuh pendidikan Sarjana Terapan (D4) dengan fokus minat pada sistem kontrol, pemodelan motor listrik, dan otomasi kelistrikan kapal. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang teknik elektro, khususnya pada pemodelan matematis sistem dinamik dan implementasinya pada kontrol berbasis mikrokontroler. Selama menempuh pendidikan, penulis telah berpartisipasi dalam beberapa proyek penelitian dan praktikum yang berkaitan dengan pemrograman, sistem tenaga listrik, dan pengujian kinerja motor AC dan DC. Penulis percaya bahwa pemahaman yang kuat tentang teori dasar harus diimbangi dengan pengalaman praktis dan pendekatan analitis untuk menciptakan solusi rekayasa yang efektif dan efisien. Makalah ini merupakan bagian dari tugas akhir mata kuliah Pemodelan dan Sistem Kontrol, yang disusun sebagai bentuk kontribusi

akademis dalam pengembangan keilmuan di bidang teknik kelistrikan kapal dan sistem control.