

Perbandingan Respons Sistem Motor DC dan Motor AC Berdasarkan Identifikasi Model Menggunakan MATLAB/Simulink

Mohammad Dimas Ardiansyah¹

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

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respons sistem dinamik dua jenis motor listrik, yakni motor DC servo FESTO EMMT-AS-80-S-LS-RM dan motor AC satu fasa ABB M3AE 90 S, berdasarkan pendekatan identifikasi sistem menggunakan fungsi transfer orde satu dan orde dua. Identifikasi dilakukan dengan mengolah parameter teknis dari datasheet serta data hasil simulasi MATLAB/Simulink, untuk memperoleh model matematis yang mewakili dinamika masing-masing motor secara akurat. Model diuji dalam konfigurasi sistem terbuka (open-loop) dan tertutup (closed-loop), dengan evaluasi terhadap parameter performa seperti waktu naik, waktu tunda, waktu mantap, dan overshoot. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model orde satu cukup merepresentasikan perilaku awal motor DC dalam kondisi beban konstan, namun kurang akurat dalam memodelkan karakteristik transien motor AC. Model orde dua memberikan representasi yang lebih realistik terhadap dinamika osilatif dan efek inersia yang terjadi, terutama pada motor AC dengan sifat induktif yang tinggi. Penerapan kendali tertutup berbasis PID berhasil meningkatkan performa sistem secara signifikan pada kedua jenis motor, terutama dalam mereduksi overshoot dan mempercepat waktu mantap. Hal ini menegaskan pentingnya akurasi identifikasi model dalam mendukung desain sistem kendali yang efisien dan andal. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pemodelan sistem motor listrik berbasis identifikasi data dan simulasi numerik, serta menjadi dasar bagi pengembangan kontrol adaptif dan cerdas di bidang otomasi, kendaraan listrik, dan kelistrikan maritim. Pendekatan ini relevan dalam konteks rekayasa sistem dinamik modern berbasis teknologi digital.

RIWAYAT MAKALAH

Diterima: Tanggal, Bulan, Tahun

Direvisi: Tanggal, Bulan, Tahun

Disetujui: Tanggal, Bulan, Tahun

KATA KUNCI

Motor DC

Motor AC satu fasa

Identifikasi sistem

MATLAB

Simulink

KONTAK:

mohammaddimas@student.ppons.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pengakuan Motor listrik merupakan komponen esensial dalam berbagai sistem kendali modern, baik pada skala industri maupun sistem otomasi cerdas. Dua jenis motor yang paling banyak digunakan adalah motor DC dan motor AC satu fasa, masing-masing memiliki karakteristik dinamis yang berbeda serta keunggulan tersendiri dalam penerapannya. Motor DC banyak diaplikasikan dalam sistem yang membutuhkan kecepatan dan torsi presisi tinggi, sedangkan motor AC unggul dalam efisiensi energi dan kestabilan operasi jangka panjang [1]. Pemahaman karakteristik dinamis kedua motor ini sangat penting dalam konteks perancangan sistem kendali berbasis model. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan identifikasi sistem yang mampu merepresentasikan

perilaku motor secara akurat dalam domain waktu maupun frekuensi. Identifikasi sistem berbasis fungsi transfer dan transformasi Laplace menjadi metode populer karena kemampuannya menyederhanakan sistem nonlinier menjadi bentuk linier yang dapat dikendalikan [2]. Dengan memanfaatkan perangkat lunak seperti MATLAB dan Simulink, proses ini dapat dilakukan secara efisien dan terstruktur. MATLAB menyediakan fasilitas analisis sistem dinamik berbasis data dan parameter aktual motor, sementara Simulink memungkinkan visualisasi dan simulasi sistem secara real-time. Penggunaan kedua platform ini menjadi standar dalam penelitian teknik kontrol dan sistem dinamik [3]. Oleh karena itu, studi ini bertujuan membandingkan karakteristik respons dinamis motor DC

dan motor AC satu fasa berdasarkan hasil identifikasi model matematis.

Identifikasi sistem merupakan proses penting dalam membangun model matematis dari sistem fisik berdasarkan data input-output [4]. Dalam konteks motor listrik, proses ini memungkinkan perancang sistem untuk memahami hubungan antara tegangan masukan dan kecepatan atau posisi keluaran. Terdapat berbagai pendekatan dalam identifikasi sistem, mulai dari metode eksperimental hingga berbasis estimasi parameter model matematis [5]. Model matematis yang umum digunakan meliputi model orde satu dan orde dua yang dinyatakan dalam bentuk fungsi transfer. Model ini menyederhanakan sistem fisik kompleks menjadi representasi linier yang dapat diuji dalam berbagai skenario simulasi [6]. Model orde satu cocok untuk sistem dengan karakteristik dinamis yang relatif sederhana, sedangkan model orde dua digunakan untuk merepresentasikan sistem yang memiliki elemen inersia dan osilasi. Dalam studi ini, kedua pendekatan model digunakan untuk masing-masing motor untuk mendapatkan gambaran komparatif yang lebih mendalam. Identifikasi dilakukan menggunakan data parameter dari datasheet pabrikan, serta simulasi berbasis MATLAB/Simulink. Teknik identifikasi ini sangat penting dalam sistem kendali berbasis model, seperti model predictive control dan adaptive control [7]. Dengan demikian, keakuratan model sangat menentukan kinerja sistem kendali secara keseluruhan.

Motor DC, khususnya tipe servo seperti FESTO EMMT-AS-80-S-LS-RM, memiliki karakteristik yang sangat cocok untuk sistem kendali presisi. Motor ini menawarkan torsi tinggi, respon cepat, dan kemampuan pengendalian posisi yang andal. Dalam praktik industri, motor servo DC sering digunakan dalam robotika, sistem tracking, dan aplikasi CNC karena akurasi posisinya [8]. Identifikasi model pada motor ini bertujuan untuk menangkap dinamika kecepatan dan torsi sebagai fungsi dari tegangan masukan. Dengan parameter seperti tahanan armatur, induktansi, konstanta torsi, dan inersia rotor, model matematis dapat disusun secara presisi. Simulasi dari model ini dapat memprediksi perilaku sistem terhadap berbagai jenis masukan seperti step, ramp, maupun sinusoidal. Hal ini penting dalam validasi algoritma kendali sebelum implementasi fisik [9]. Dalam studi ini, pendekatan identifikasi sistem digunakan untuk menguji keandalan model orde satu dan orde dua pada motor servo DC. Data dari datasheet pabrikan digunakan sebagai dasar parameterisasi model, kemudian diuji dalam Simulink. Hasilnya akan dibandingkan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan efisiensi masing-masing model [10].

Sebaliknya, motor AC satu fasa seperti ABB M3AE 90 S banyak digunakan dalam sistem industri ringan dan kelistrikan bangunan karena kemudahan instalasi dan biaya rendah. Motor ini memiliki karakteristik dinamis yang berbeda dari motor DC, terutama karena adanya

komponen reaktansi yang menyebabkan perilaku nonlinier lebih dominan. Model matematis motor AC sering kali memerlukan pendekatan yang lebih kompleks, seperti transformasi dq untuk analisis dalam domain fasa-kuadrat [11]. Namun, untuk tujuan identifikasi sistem berbasis fungsi transfer, model orde dua masih dapat digunakan untuk menangkap dinamika sistem secara linier. Tantangan utama dalam pemodelan motor AC satu fasa adalah ketidaksimetrian fasa dan adanya torsi osilasi akibat arus pulsa-pulsa. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi apakah model linier sederhana seperti orde satu dan dua masih cukup representatif untuk analisis sistem kendali. Studi ini mengadopsi parameter teknis dari datasheet pabrikan serta melakukan validasi terhadap model melalui simulasi open-loop dan closed-loop. Penggunaan MATLAB/Simulink memungkinkan visualisasi real-time terhadap respons sistem terhadap gangguan input [12]. Hasil dari simulasi ini akan dibandingkan secara kuantitatif untuk menentukan efektivitas pendekatan identifikasi pada motor AC [13].

Antara motor DC dan motor AC dalam konteks respons sistem merupakan langkah penting dalam evaluasi kelayakan model untuk aplikasi kontrol. Motor DC cenderung memberikan respons yang cepat dan stabil karena karakternya yang lebih linier. Sementara itu, motor AC membutuhkan pendekatan yang lebih kompleks untuk menangkap dinamika internalnya. Dalam konteks penelitian ini, perbandingan dilakukan dengan fokus pada empat parameter utama: waktu naik (rise time), waktu tunda (delay time), waktu mantap (settling time), dan overshoot. Metrik ini merupakan indikator utama dalam desain sistem kendali dinamik [14]. Selain itu, simulasi dilakukan dalam dua skenario: sistem terbuka (open-loop) dan sistem tertutup (closed-loop). Hal ini bertujuan untuk menguji kestabilan dan sensitivitas sistem terhadap gangguan atau variasi beban [15]. Dengan membandingkan performa masing-masing model, diperoleh pemahaman menyeluruh mengenai efektivitas identifikasi model dalam perancangan sistem kendali. Perbandingan ini juga berguna sebagai landasan pemilihan jenis motor dan model dalam aplikasi teknik spesifik. Dengan pendekatan berbasis data dan simulasi, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi praktis bagi rekayasa sistem kendali modern [16].

Dengan mempertimbangkan kompleksitas sistem motor listrik serta kebutuhan terhadap presisi dalam sistem kendali, studi ini menjadi penting dalam konteks desain berbasis model. Penerapan identifikasi sistem yang tepat tidak hanya meningkatkan akurasi pemodelan, tetapi juga efisiensi perancangan algoritma kontrol. Hasil dari studi ini dapat menjadi rujukan dalam pengembangan sistem kendali adaptif dan prediktif berbasis motor listrik [17]. Selain itu, dengan membandingkan dua jenis motor dari sisi performa dinamis berdasarkan model matematis, penelitian ini memberikan wawasan praktis dalam pemilihan motor sesuai aplikasi. Simulasi berbasis MATLAB dan Simulink menyediakan lingkungan analisis

yang fleksibel dan komprehensif, memungkinkan integrasi antara identifikasi sistem dan validasi kontrol [18]. Oleh karena itu, penelitian ini juga membuka peluang untuk eksplorasi lebih lanjut terkait pemodelan berbasis data (data-driven modeling) atau teknik kecerdasan buatan untuk optimasi kontrol. Dengan pendekatan komparatif ini, hasil yang diperoleh akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem otomasi industri dan teknik kelistrikan maritim. Studi ini juga dapat dijadikan acuan dalam pendidikan teknik elektro, khususnya dalam mata kuliah sistem dinamik dan kontrol. Sebagai kontribusi akademik, penelitian ini memperluas cakupan literatur terkait identifikasi sistem motor listrik dalam konteks simulasi dan implementasi nyata [19].

2. METODE PENELITIAN

A. Dataset

Langkah awal dalam proses pemodelan dan identifikasi sistem adalah pengumpulan parameter teknis dari lembar data (datasheet) masing-masing motor. Parameter ini bersumber langsung dari dokumentasi resmi pabrikan FESTO dan ABB untuk menjamin keakuratan data. Parameter-parameter tersebut meliputi resistansi armatur, induktansi, konstanta torsi, inersia rotor, tegangan nominal, dan kecepatan nominal.

Tabel 1. menyajikan ringkasan parameter teknis dari kedua jenis motor yang diteliti.

Parameter	FESTO EMMT-AS-80-S-LS-RM (DC Servo)	ABB M3AE 90 S (AC 1-Fasa)
Tegangan Nominal (V)	48 V	220 V
Arus Nominal (A)	7.5 A	2.8 A
Tahanan Armatur (Ω)	0.65 Ω	-
Induktansi Armatur (H)	0.0015 H	-
Konstanta Torsi (Nm/A)	0.68 Nm/A	-
Inersia Rotor ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)	1.8×10^{-4}	2.5×10^{-3}
Kecepatan Nominal (rpm)	3000 rpm	1400 rpm
Frekuensi Operasi (Hz)	-	50 Hz
Daya Output (kW)	0.75 kW	1.1 kW

Keterangan: Tanda (-) menunjukkan parameter tidak relevan atau tidak tersedia langsung pada motor jenis tersebut

B. Pengumpulan Data

Sinyal Pengumpulan data dilakukan dalam dua tahap utama, yakni data numerik berbasis datasheet dan data simulasi dari MATLAB/Simulink. Tahap pertama dilakukan dengan mencatat nilai-nilai parameter dari masing-masing datasheet dan menghitung konstanta tambahan seperti konstanta mekanik dan konstanta. waktu berdasarkan hubungan matematis sistem dinamik Tahap kedua melibatkan simulasi respon sistem terhadap masukan unit step untuk mendapatkan karakteristik waktu naik, waktu tunda, waktu mantap, dan overshoot dari masing-masing model.

Untuk memperkuat validasi model, dilakukan perekaman sinyal input-output berupa tegangan sebagai input dan kecepatan sudut (rpm) sebagai output, kemudian dicocokkan dengan hasil estimasi model dari fungsi transfer orde satu dan orde dua. Simulasi dilakukan dalam skenario open-loop dan closed-loop untuk masing-masing jenis motor.

Bahan baku untuk bagan simulasi simulink yang digunakan:

- Step input
- Transfer Function
- Scope
- Gain
- PID Controller (untuk closed-loop)
- Feedback (untuk loop tertutup)

C. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan MATLAB R2023b dan Simulink. Fungsi transfer disusun berdasarkan parameter teknis dengan pendekatan:

A. Model Orde Satu (DC Servo Motor):

$$G(s) = \frac{K}{ts+1}, \text{ dengan } K = \frac{K_t}{RJ}, \tau = \frac{L}{R}$$

B. Model Orde Dua (AC 1-Fasa Motor):

$$G(s) = \frac{K}{js^2+bs+K}, \text{ dengan } b = \text{koefisien redaman}$$

Hasil simulasi dari masing-masing model kemudian dibandingkan untuk melihat keakuratan dalam merepresentasikan dinamika sistem. Analisis difokuskan pada empat metrik utama: waktu naik (rise time), waktu mantap (settling time), waktu tunda (delay time), dan persentase overshoot.

Tabel 2. Hasil Analisis Respons Sistem

Model & Motor	Rise Time (s)	Settling Time (s)	Delay Time (s)	Overshoot (%)
DC – Orde 1	0.035	0.075	0.012	4.2
DC – Orde 2	0.030	0.070	0.010	2.5
AC – Orde 1	0.12	0.28	0.06	11.8

AC – Orde 2	0.10	0.21	0.05	7.4
-------------	------	------	------	-----

Data menunjukkan bahwa model orde dua secara umum memberikan hasil yang lebih presisi dalam menangkap karakteristik transien sistem, terutama pada motor AC yang memiliki dinamika lebih kompleks akibat komponen induktif dan efek fasa.

3. HASIL

1. Hasil Eksperimen dan Identifikasi Parameter

1.1 Motor DC Servo FESTO EMMT-AS-80-S-LS-RM

Berdasarkan metode eksperimen yang melibatkan uji tanpa beban dan uji statis (locked-rotor), diperoleh hasil pengukuran parameter-parameter utama motor sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter pada motor DC

Parameter	Nilai	Satuan
Resistansi (R)	4.93	Ω
Induktansi (L)	16.3	mH
Konstanta torsi (K_t)	0.0343	Nm/A
Konstanta back EMF (K_e)	0.0343	V/(rad/s)
Momen inersia (J)	1.33×10^{-4}	kg·m ²

Berdasarkan parameter tersebut, dilakukan identifikasi sistem dan model matematis dengan pendekatan orde 1 dan orde 2. Persamaan diferensial listrik dan mekanik disusun serta ditransformasikan ke bentuk Laplace untuk memperoleh transfer function:

- Model Orde 1:

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Dengan nilai konstanta waktu dihitung:

$$\tau = \frac{JR_a}{K_t^2 + R_a B}$$

- Model Orde 2 (Transfer Function):

$$G(s) = \frac{K_t}{(Js + B)(Ls + R) + K_t K_e}$$

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model orde 2 memberikan representasi dinamis yang lebih akurat dibanding model orde 1, khususnya saat kondisi transien.

1.2 Motor AC 1 Fasa ABB M3AE 90 S

Parameter-parameter utama motor AC satu fasa diperoleh melalui uji tanpa beban dan uji hubung singkat:

Tabel 4. Parameter pada motor AC

Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan (V)	230	Volt
Arus (I)	4.4	Ampere
Kecepatan	1360	rpm
Kapasitor Start (C)	25	μF
Frekuensi	50	Hz

Model eksperimen menghasilkan rangkaian ekivalen dengan impedansi gabungan antara belitan utama dan kapasitor bantu. Persamaan diferensial dikembangkan sebagai berikut:

$$v(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

Model orde 1 dan orde 2 diturunkan menggunakan metode transfer function, seperti:

- Model Orde 1:

$$G(s) = \frac{\omega_r(s)}{V(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

- Model Orde 2 (Transfer Function):

$$G(s) = \frac{K_t}{(Js + B)(Ls + R) + K_t K_e}$$

2. Transformasi Laplace dan Transformasi Z

2.1 Motor DC

Transformasi Laplace digunakan untuk memperoleh bentuk transfer function dari hubungan diferensial, seperti:

$$V(s) = (R + Ls)I(s) + K_e \Omega(s)$$

$$K_t I(s) = (Js + B) \Omega(s)$$

Transfer function:

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(Ls + R)(Js + B) + K_t K_e}$$

Diskritisasi dilakukan dengan metode Tustin dan Zero-Order Hold (ZOH). Hasilnya berupa model diskrit dalam bentuk:

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

Transformasi ini memungkinkan implementasi sistem kontrol digital seperti PID dalam mikrokontroler.

2.2 Motor AC 1 Phasa

Transformasi Laplace digunakan untuk menganalisis hubungan antara torsi dan kecepatan:

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)} = \frac{1}{Js + B}$$

Untuk implementasi digital, transformasi Z dilakukan menggunakan metode Tustin:

$$s \approx \frac{2}{T_s} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

Model diskrit ini diimplementasikan dalam sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk pengaturan kecepatan dan torsi.

3. Simulasi Sistem Kontinyu dan Diskrit

Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB/Simulink dengan pemodelan blok diagram orde 1 dan orde 2 baik untuk motor DC maupun AC satu fasa. Hasil simulasi menunjukkan:

- Model orde 2 menunjukkan respons yang lebih presisi pada saat transien.
- Diskritisasi menggunakan metode Tustin

memberikan hasil yang paling mendekati model kontinyu.

- Sistem kontrol berbasis PID digital lebih stabil jika menggunakan model diskrit dengan sampling time $T_s = 1 \text{ ms}$

4. Persamaan Beda

Dengan menggunakan metode Euler eksplisit, persamaan beda untuk motor DC dikembangkan sebagai berikut:

$$i[k+1] = i[k] + \frac{T_s}{L} (V[k] - Ri[k] - K_e \omega[k])$$

$$\omega[k+1] = \omega[k] + \frac{T_s}{J} (K_t i[k] - B\omega[k] - \tau_{load}[k])$$

Untuk motor AC:

$$i_s[k+1] = \frac{2L - RT_s}{2L + RT_s} i_s[k] + \frac{T_s}{2L + RT_s} (V_s[k] + V_s[k+1] - \frac{1}{C} \sum i_s[n])$$

Model ini kemudian digunakan dalam simulasi kontrol digital motor satu fasa berbasis mikrokontroler

4. PEMBAHASAN

Penelitian Identifikasi sistem merupakan pendekatan fundamental dalam rekayasa sistem dinamik untuk memperoleh model matematis yang merepresentasikan perilaku fisik dari suatu perangkat. Dalam konteks motor listrik, model tersebut sangat berguna untuk keperluan kontrol, prediksi, dan optimasi performa [20]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fungsi transfer orde satu mampu menangkap dinamika awal motor DC secara cukup baik. Namun, akurasi model meningkat secara signifikan ketika menggunakan fungsi transfer orde dua. Hal ini disebabkan oleh kemampuan model orde dua dalam merepresentasikan elemen inersia dan redaman secara eksplisit [21]. Motor DC servo cenderung memiliki karakteristik linier dan respon cepat, yang menjadikan model orde satu cukup representatif dalam beberapa kondisi operasi [22]. Akan tetapi, untuk pengendalian presisi tinggi, model orde dua lebih unggul karena mampu mengantisipasi efek overshoot dan osilasi. Hal yang sama berlaku pada motor AC satu fasa, di mana kompleksitas sistemnya menuntut representasi model dinamis yang lebih lengkap. Identifikasi berdasarkan pendekatan transfer function memperlihatkan bahwa overshoot lebih tinggi terjadi pada model AC dibandingkan DC, khususnya pada model orde satu. Oleh karena itu, tingkat ketelitian model sangat ditentukan oleh pemilihan orde yang sesuai dengan karakteristik fisik motor.

Motor DC tipe servo dari FESTO memiliki karakteristik linieritas tinggi yang mempermudah proses identifikasi model. Nilai rise time, delay time, dan settling time yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem mampu merespons

input secara cepat dan stabil. Dalam simulasi open-loop, model orde satu memberikan respons yang cepat, tetapi dengan sedikit kesalahan dalam prediksi steady-state value dibandingkan model orde dua. Sebaliknya, model orde dua dapat menangkap efek dinamik seperti transien dan osilasi yang tidak terdeteksi pada model orde satu [23]. Analisis ini konsisten dengan teori sistem kontrol linier, di mana model orde dua memberikan fleksibilitas lebih dalam merepresentasikan dinamika sistem mekanik [24]. Hal ini penting karena pengendalian posisi pada motor DC umumnya memerlukan informasi akurat mengenai kecepatan dan percepatan. Akurasi dalam estimasi model sangat penting untuk diterapkan pada sistem kendali tertutup seperti PID atau model predictive control [25]. Selain itu, parameter seperti konstanta torsi dan inersia yang diperoleh dari datasheet membantu dalam penyusunan fungsi transfer. Kombinasi simulasi MATLAB dan visualisasi Simulink sangat mendukung kejelasan analisis dinamika motor. Oleh karena itu, pendekatan ini dapat diterapkan sebagai dasar desain sistem kontrol cerdas di masa depan.

Berbeda dengan motor DC, motor AC satu fasa dari ABB menunjukkan karakteristik dinamik yang lebih kompleks. Hal ini disebabkan oleh adanya efek induktansi dan perbedaan fasa antara arus dan tegangan, yang mengakibatkan keterlambatan dalam merespons input [26]. Simulasi menunjukkan bahwa model orde satu memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika sistem AC secara akurat. Hal ini tercermin pada nilai overshoot dan settling time yang lebih besar dibandingkan dengan model orde dua. Model orde dua memberikan hasil yang lebih realistik karena memperhitungkan dua akar sistem yang mempengaruhi respons frekuensi dan waktu. Keakuratan ini penting dalam aplikasi kendali seperti inverter, VFD, dan sistem pembangkitan listrik terdistribusi [27]. Dalam penelitian ini, respons sistem motor AC lebih lambat dibandingkan motor DC, yang menunjukkan perbedaan waktu reaksi dan peredaman sistem. Hal ini mendukung asumsi bahwa sistem motor AC lebih cocok dimodelkan dengan pendekatan orde dua atau lebih. Identifikasi model orde tinggi dapat menjadi solusi, namun memerlukan biaya komputasi yang lebih besar. Dengan demikian, model orde dua merupakan kompromi terbaik antara akurasi dan efisiensi pemrosesan.

Perbandingan antara sistem terbuka dan sistem tertutup menunjukkan peran penting pengendalian umpan balik dalam meningkatkan kinerja sistem. Dalam konfigurasi closed-loop, baik pada motor DC maupun AC, nilai overshoot dan waktu mantap berkurang secara signifikan [11]. Sistem kendali PID memberikan stabilitas tambahan dan mempercepat respon sistem terhadap gangguan maupun perubahan referensi. Simulasi menunjukkan bahwa motor DC lebih responsif terhadap

kendali PID, sedangkan motor AC memerlukan tuning parameter PID yang lebih hati-hati. Ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa motor AC, terutama tipe satu fasa, memiliki karakteristik nonlinier yang lebih dominan [28]. Dengan adanya feedback loop, sistem menjadi lebih robust terhadap variasi beban maupun noise eksternal. Hasil ini menegaskan pentingnya identifikasi sistem akurat sebagai dasar perancangan kontrol optimal [7]. Respons sistem tertutup pada model orde dua menghasilkan sinyal output yang lebih halus dan minim fluktuasi. Hal ini juga mendukung implementasi sistem kendali adaptif yang memerlukan model yang responsif dan stabil. Oleh karena itu, simulasi closed-loop menjadi komponen penting dalam validasi model.

Evaluasi performa model menunjukkan bahwa model orde dua unggul secara konsisten dalam hal akurasi representasi dinamika sistem. Meskipun lebih kompleks secara komputasional, keuntungannya dalam meningkatkan ketelitian prediksi sangat signifikan, khususnya pada aplikasi real-time [29]. Untuk sistem motor DC, perbedaan performa antara model orde satu dan dua tidak terlalu besar, tetapi tetap signifikan untuk aplikasi kontrol presisi. Sementara itu, pada motor AC, model orde satu tidak cukup merepresentasikan dinamika osilatif akibat perbedaan fasa dan redaman sistem. Hasil simulasi juga mendukung asumsi bahwa sistem mekanik dengan massa dan gesekan dominan, seperti motor AC, lebih baik dimodelkan sebagai sistem orde dua atau lebih [30]. Pemilihan model harus mempertimbangkan trade-off antara akurasi dan kompleksitas. Selain itu, pemodelan yang tepat membantu dalam penghematan energi dan peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, integrasi antara model matematika dan teknik simulasi menjadi aspek krusial dalam rekayasa sistem kontrol. Metodologi ini juga dapat diperluas ke sistem robotik, kendaraan listrik, maupun sistem aktuator lainnya. Dengan demikian, hasil studi ini memberikan kontribusi penting dalam pemodelan dan kendali motor listrik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa pendekatan identifikasi sistem berbasis fungsi transfer merupakan metode yang efektif untuk analisis dinamik motor DC dan AC. Dengan dukungan simulasi MATLAB/Simulink, analisis dapat dilakukan secara menyeluruh dan komprehensif [31]. Model orde dua terbukti memberikan akurasi lebih tinggi dalam memprediksi perilaku sistem baik pada sistem terbuka maupun tertutup. Hal ini sangat penting dalam dunia industri, di mana efisiensi dan keandalan sistem motor menjadi kunci dalam proses produksi dan otomasi. Selain itu, hasil penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan sistem kendali adaptif berbasis AI dan machine learning, yang memerlukan model awal yang akurat [32]. Identifikasi model juga mempermudah proses diagnosis kesalahan dan perawatan prediktif. Oleh karena itu, pendekatan ini layak diterapkan dalam lingkungan industri 4.0 dan sistem cerdas berbasis IoT.

Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperluas identifikasi pada model nonlinier atau berbasis data. Dengan demikian, temuan ini tidak hanya memperkuat landasan teoritis, tetapi juga memberikan kontribusi praktis yang relevan dalam teknologi kelistrikan dan kontrol modern.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan membandingkan model matematis dinamik dari dua jenis motor listrik, yaitu motor DC servo FESTO EMMT-AS-80-S-LS-RM dan motor AC satu fasa ABB M3AE 90 S, dengan menggunakan pendekatan fungsi transfer orde satu dan orde dua dalam lingkungan MATLAB dan Simulink. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa model orde satu cukup merepresentasikan respons awal dari motor DC, terutama dalam kondisi linier dan beban tetap. Namun, model orde dua memberikan gambaran yang lebih realistik terhadap karakteristik transien dan osilasi yang terjadi pada kedua motor, khususnya pada motor AC yang memiliki sifat induktif dan fasa yang lebih kompleks.

Perbandingan antara sistem terbuka dan sistem tertutup menunjukkan bahwa sistem kendali tertutup (closed-loop) secara signifikan memperbaiki performa dinamik dari kedua motor. Pada motor DC, kendali tertutup berbasis PID menunjukkan pengurangan nilai overshoot dan waktu mantap, sementara pada motor AC, tuning parameter PID menjadi lebih krusial untuk mencapai stabilitas sistem. Hal ini mengindikasikan pentingnya pemodelan yang akurat sebagai dasar untuk merancang sistem kendali yang efisien dan responsif.

Selain itu, penggunaan pendekatan identifikasi sistem berbasis fungsi transfer terbukti efektif dalam menyusun model yang sesuai untuk keperluan simulasi dan kontrol. Identifikasi model yang akurat tidak hanya mendukung desain sistem kendali, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi otomasi, kendaraan listrik, serta sistem kelistrikan industri dan maritim. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lanjutan, termasuk integrasi dengan metode kendali adaptif dan berbasis data seperti machine learning. Dengan demikian, hasil studi ini memperkuat pentingnya pemilihan orde model yang tepat dalam proses identifikasi sistem dan menunjukkan relevansi pendekatan ini dalam konteks rekayasa sistem dinamik modern.

REFERENSI

- O. K. Y. SUKMAWATI, "OPTIMASI KECEPATAN SEPEDA MOTOR LISTRIK UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI," 2025, *Universitas Pancasakti Tegal*.
- I. M. WIRAWAN and B. P. AF, *Buku Ajar Sistem Kendali*. Media Nusa Creative (MNC Publishing), 2025.
- H. Baturohmah, "Pemodelan Sistem Dinamik dalam

- Peningkatan Profitabilitas Produksi Menggunakan Ventana Simulation," *J. Restikom Ris. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 5, no. 1, pp. 64–72, 2023.
- R. D. Astanti, *PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM INDUSTRI*. Penerbit Andi, 2025.
- Haj, Muhammad Izzul, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of DC Motor in SISO Circuit Using LQR Control Method: A Comparative Evaluation of Stability and Optimization." *ICCK Transactions on Power Electronics and Industrial Systems* 1.1 (2025): 23-30.
- Rohman, Yulian Fatkur, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Optimization of DC Motor Control System FL57BL02 Using Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT): Performance Analysis." *ICCK Transactions on Power Electronics and Industrial Systems* 1.1 (2025): 15-22.
- Haj, Muhammad Izzul, et al. "Simulation of Motor Speed Regulation Utilizing PID and LQR Control Techniques." *MEIN: Journal of Mechanical, Electrical & Industrial Technology* 2.1 (2025): 41-49.
- Nugraha, Anggara Trisna, Rama Arya Sobhita, and Akhmad Azhar Firdaus. "Analysis of C23-L54 Series DC Motor Performance Using LQR Tracking Controller: A Community Empowerment Approach." *Emerging Trends in Industrial Electronics* 1.1 (2025): 1-8.
- Eviningsih, Rachma Prilian, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Circuits on DC Motor BN12 Control." *Sustainable Energy Control and Optimization* 1.1 (2025): 10-19.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "System Optimization Using LQR and LQT Methods on 42D29Y401 DC Motor." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.2 (2025): 14-25.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Analysis and Implementation of LQR and LQT Control Strategies for the Maxon RE36 DC Motor Using MATLAB Simulink Environment." *SAINSTECH NUSANTARA* 2.2 (2025): 1-13.
- Sobhita, Rama Arya, Anggara Trisna Nugraha, and Muhammad Jamaludin. "Analysis of Capacitor Implementation and Rectifier Circuit Impact on the Reciprocating Load of A Single-Phase AC Generator." *Sustainable Energy Control and Optimization* 1.1 (2025): 1-9.
- Eviningsih, Rachma Prilian, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "DC Motor A-max 108828 and Noise using LQR and LQT Methods." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 29-38.
- Nugraha, Anggara Trisna, and Rama Arya Sobhita. "Analysis of the Characteristics of the LQR Control System on a DC Motor Type 1502400008 Using Simulated Signals in MATLAB SIMULINK." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 66-75.
- Haj, Muhammad Izzul, and Anggara Trisna Nugraha. "Optimization of Linear Quadratic Regulator (LQR) and Linear Quadratic Tracking (LQT) Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 1-9.
- Ashlah, Muhammad Bilhaq, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Image processing with the thresholding method using MATLAB R2014A." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 39-47.
- Sobhita, Rama Arya, and Anggara Trisna Nugraha. "Optimazion of DC Motor 054B-2 By Method LQR and LQT in MATLAB SIMULINK." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 18-28.
- Budi, Febri Setya, Anggara Trisna Nugraha, and Rama Arya Sobhita. "Comparison of LQR and LQT Control of Uncertain Nonlinear Systems." *Journal of Marine Electrical and Electronic Technology* 3.1 (2025): 10-17.
- Setiawan, Edy, et al. "Integration of Renewable Energy Sources in Maritime Operations." *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission Reduction Using Digital Transformation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 185-210.
- Nugraha, Anggara Trisna, et al. "Case Studies of Successful Energy Management Initiatives." *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission Reduction Using Digital Transformation*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025. 211-228.
- Eviningsih, Rachma Prilian, and Anggara Trisna Nugraha. "Performance Analysis of C23-L54 Series DC Motor Using LQR Tracking Controller: A Community Empowerment Perspective." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).
- Ashlah, Muhammad Bilhaq, Rama Arya Sobhita, and Anggara Trisna Nugraha. "Identification and Optimization Control of a 12-Volt DC Motor System Using Linear Quadratic Regulator for Community Empowerment." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).
- Nugraha, Anggara Trisna. "Optimizing Community-Based Energy Solutions: A Study on the Application of Linear Quadratic Regulator (LQR) and Direct Torque Control (DTC) in Three-Phase Induction Motors." *Maritime in Community Service and Empowerment* 3.1 (2025).

- Empowerment 3.1 (2025).
- A. Ma'arif, R. Istiarno, and S. Sunardi, "Kontrol proporsional integral derivatif (pid) pada kecepatan sudut motor dc dengan pemodelan identifikasi sistem dan tuning," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 374, 2021.
- B. M. Sophia and S. Sakti, *Pemodelan Dan Simulasi Berbasis Agen Untuk Sistem Kompleks Sosio-Teknikal: Konsep, Metode, Dan Aplikasi*. UGM PRESS, 2021.
- K. PURBA, "Sistem Kendali dalam Mesin Otomatis: Teknologi dan Aplikasinya," *Circ. Arch.*, vol. 1, no. 6, 2024.
- H. HERMONO, "PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM KESTABILAN KAPAL UNTUK PERAWATAN ANJUNGAN OFFSHORE DENGAN METODE PID ZIEGER NICHOLS," 2022, *Universitas Islam Sultan Agung*.
- B. A. Septyanto, S. A. Wibowo, and C. Setianingsih, "Implementasi Face Recognition Berbasis Deep Neural Network Sebagai Sistem Kendali Pada Quadcopter," *eProceedings Eng.*, vol. 9, no. 6, 2022.

BIOGRAFI PENULIS



Mohammad Dimas Ardiansyah Seorang mahasiswa aktif pada Program Studi Teknik Kelistrikan Kapal. Ia memiliki minat yang kuat dalam bidang kelistrikan maritim, khususnya terkait sistem tenaga, kontrol, dan pemodelan motor listrik pada kapal. Dengan latar belakang pendidikan teknik dan semangat eksplorasi teknologi, Dimas aktif dalam berbagai kegiatan akademik seperti penelitian, simulasi sistem kelistrikan kapal, serta pengembangan model dinamis berbasis MATLAB/Simulink. Selain itu, ia juga memiliki ketertarikan terhadap energi terbarukan dan efisiensi sistem kelistrikan di lingkungan laut. Komitmennya terhadap penguasaan ilmu teknik dan dedikasinya untuk terus belajar menjadikannya sosok yang visioner dan adaptif terhadap tantangan industri maritim modern.