

## KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI

Oleh:

Rianda Sapitra Lubis<sup>1</sup>

Genap Munthe<sup>2</sup>

Eva Morani Sinurat<sup>3</sup>

Desman Jonto Sinaga<sup>4</sup>

Arwadi Sinuraya<sup>5</sup>

Universitas Negeri Medan

Alamat: JL. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara (20221).

Korespondensi Penulis: [yaandas@gmail.com](mailto:yaandas@gmail.com), [pampean1007@gmail.com](mailto:pampean1007@gmail.com),  
[evasinurat529@gmail.com](mailto:evasinurat529@gmail.com), [desmansinaga@unimed.ac.id](mailto:desmansinaga@unimed.ac.id),  
[arwadisinuraya@unimed.ac.id](mailto:arwadisinuraya@unimed.ac.id).

**Abstract.** This study presents a comprehensive analysis of the dynamic characteristics of electric machines, particularly three-phase induction motors, through a systematic literature review of eight scientific publications. Induction motors remain the most widely used machines in industrial applications due to their robustness, simple construction, and low maintenance requirements. However, their dynamic behavior is inherently complex because it is influenced by nonlinear electromagnetic parameters, mechanical load variations, and fluctuating operating conditions. Understanding these dynamic characteristics is crucial, as induction motors frequently operate in transient conditions such as starting, sudden load changes, supply frequency variations, and voltage imbalances, all of which significantly affect current, torque, rotor speed, and system stability. The reviewed studies highlight that starting conditions can produce inrush currents up to several times the rated current and generate high initial torque, emphasizing the need for accurate dynamic modeling and appropriate protection settings. Research based on dq0 transformation models demonstrates that this

Received November 11, 2025; Revised November 22, 2025; December 10, 2025

\*Corresponding author: [yaandas@gmail.com](mailto:yaandas@gmail.com)

# KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI

*mathematical approach effectively captures transient interactions between stator currents, rotor flux, and electromagnetic torque. Additional findings show that variations in supply frequency from 50 Hz to 60 Hz, result in notable differences in steady-state torque, transient duration, and thermal behavior. Load variations also have a substantial impact on electromagnetic and mechanical response, influencing energy consumption, torque-speed profiles, and system settling time. The synthesis of these studies indicates that the dynamic performance of induction motors is governed by the interplay between electrical, mechanical, and system-level factors. This literature review provides an integrated theoretical foundation that can support the development of improved control strategies, protection schemes, and performance optimization for electric machines in modern industrial applications.*

**Keywords:** *Induction Motor, Dynamic Characteristics, Mechanical Loads, Supply Frequency.*

**Abstrak.** Penelitian ini menyajikan analisis komprehensif mengenai karakteristik dinamik mesin listrik, khususnya motor induksi tiga fasa, melalui metode *literature review* sistematis terhadap delapan publikasi ilmiah yang relevan. Motor induksi merupakan mesin yang paling banyak digunakan di sektor industri karena ketangguhan, konstruksi sederhana, serta kebutuhan perawatan yang rendah. Namun demikian, perilaku dinamik motor ini sangat kompleks karena dipengaruhi oleh sifat nonlinier parameter elektromagnetik, perubahan beban mekanik, dan variasi kondisi operasi. Pemahaman terhadap karakteristik dinamik tersebut menjadi sangat penting mengingat motor induksi sering beroperasi dalam kondisi transien seperti starting, perubahan beban mendadak, variasi frekuensi suplai, dan ketidakseimbangan tegangan, yang dapat memengaruhi arus, torka, kecepatan rotor, hingga stabilitas sistem secara keseluruhan. Hasil kajian menunjukkan bahwa kondisi starting dapat menghasilkan arus masuk yang jauh melebihi arus nominal disertai torka awal yang tinggi, sehingga menuntut adanya pemodelan dinamik yang akurat dan pengaturan proteksi yang tepat. Studi-studi yang menggunakan pemodelan dq0 membuktikan bahwa pendekatan matematis ini efektif dalam memetakan interaksi transien antara arus stator, fluks rotor, dan torka elektromagnetik. Variasi frekuensi suplai dari 50 Hz ke 60 Hz terbukti menghasilkan perubahan signifikan pada torka steady-state, durasi transien, dan potensi kenaikan temperatur motor. Sementara itu,

variasi beban menunjukkan pengaruh besar terhadap konsumsi energi, profil torka-kecepatan, serta waktu penyetelan menuju keadaan mantap. Sintesis dari seluruh temuan menunjukkan bahwa performa dinamik motor induksi ditentukan oleh interaksi simultan antara faktor elektris, mekanis, dan kondisi sistem tenaga. Kajian literatur ini memberikan dasar teoritis yang kuat untuk pengembangan strategi kontrol, sistem proteksi, serta optimasi kinerja motor listrik pada aplikasi industri modern.

**Kata Kunci:** Motor Induksi, Karakteristik Dinamik, Beban Mekanik, Frekuensi Suplai.

## LATAR BELAKANG

Motor listrik merupakan komponen utama dalam berbagai sistem industri modern karena mampu mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik secara efisien, handal, serta mudah dalam pengoperasian dan perawatannya. Di antara berbagai jenis motor listrik, motor induksi tiga fasa menjadi yang paling banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana dan kuat, tidak membutuhkan sikat, serta memiliki biaya perawatan yang rendah. Meskipun demikian, motor induksi memiliki karakteristik dinamik yang kompleks karena bersifat nonlinier, dipengaruhi oleh parameter internal mesin, serta kondisi operasi yang berubah-ubah sepanjang waktu.

Dalam praktik industri, motor induksi sering bekerja dalam kondisi transien sebelum mencapai keadaan mantap (*steady state*). Kondisi transien ini muncul ketika terjadi *starting*, perubahan frekuensi suplai, variasi beban mendadak, ketidakseimbangan tegangan, atau perubahan parameter stator dan rotor akibat temperatur maupun karakteristik beban. Hasil kajian Ahyanuardi menunjukkan bahwa motor induksi dapat mengalami arus start sebesar 6 hingga 10 kali arus nominal serta menghasilkan torka awal yang besar saat pengasutan tanpa beban, yang berimplikasi pada umur isolasi, kestabilan sistem, dan kebutuhan proteksi yang tepat. Temuan ini menegaskan bahwa memahami perilaku dinamik motor sangat penting untuk menjaga keandalan dan keselamatan operasi peralatan industri.

Berbagai penelitian telah mengembangkan model matematis dan simulasi dinamik untuk menganalisis perilaku motor induksi. Priyadarshini & Lekshmi memodelkan dinamika motor dengan transformasi dq0 untuk menganalisis respons transien terhadap perubahan tegangan dan frekuensi. Penelitian lain menerapkan metode kontrol skalar V/F untuk pengaturan kecepatan dengan memanipulasi frekuensi dan

# KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI

amplitudo tegangan stator, yang efektif dalam menghadapi sifat nonlinier motor induksi. Santoso et al. meneliti efek pengoperasian motor pada dua frekuensi (50 Hz dan 60 Hz), menunjukkan bahwa variasi frekuensi memengaruhi torka dan durasi transien, serta berpotensi meningkatkan temperatur motor ketika beroperasi di atas frekuensi nominal.

Meskipun banyak studi membahas pemodelan dan karakteristik dinamik motor listrik, masih terdapat celah penelitian (*gap analysis*) terkait bagaimana variasi beban yang lebih luas dan perubahan kondisi operasi yang kompleks memengaruhi perilaku arus, torka, dan kecepatan secara simultan. Sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada satu kejadian transien tertentu, seperti *starting* atau perubahan frekuensi saja. Padahal, dalam aplikasi industri nyata, motor sering beroperasi dalam kondisi dinamis yang melibatkan kombinasi perubahan beban, frekuensi, dan variabel lainnya secara bersamaan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik dinamik motor listrik melalui pendekatan *literature review* sistematis yang merangkum, membandingkan, dan mensintesis temuan dari delapan jurnal ilmiah relevan. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti memperoleh gambaran komprehensif mengenai dinamika motor induksi berdasarkan bukti empiris dan model matematis yang telah diuji oleh para peneliti sebelumnya. Hasil kajian ini diharapkan mampu memperkuat pemahaman mengenai perilaku dinamik motor listrik pada variasi beban dan kondisi operasi, serta memberikan dasar ilmiah bagi peningkatan desain kontrol, proteksi, efisiensi, dan reliabilitas motor listrik dalam aplikasi industri modern.

## KAJIAN TEORITIS

### Motor Listrik dan Karakteristik Dinamik

Motor listrik merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam industri, motor listrik digunakan untuk menggerakkan berbagai peralatan dengan karakteristik operasi yang beragam. Penelitian mengenai karakteristik dinamik motor listrik penting karena perilaku motor tidak hanya ditentukan oleh kondisi mantap (*steady state*), tetapi juga oleh respon transien akibat perubahan beban, tegangan, maupun frekuensi suplai.

Motor induksi tiga fasa menjadi salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan karena konstruksinya sederhana, tidak menggunakan sikat, dan memiliki daya tahan yang tinggi. Namun, motor induksi bersifat nonlinier dan parameteranya sensitif terhadap kondisi operasi seperti temperatur, perubahan beban, dan karakteristik fluks magnetisasi. Oleh karena itu, analisis dinamik diperlukan untuk memahami perubahan arus, torka, kecepatan, serta fluks motor pada kondisi non *steady-state*.

Dalam penelitian Ahyanuardi, dijelaskan bahwa motor induksi akan mengalami kondisi transien saat mengalami perubahan tegangan, pembebanan mendadak, maupun starting. Arus awal dapat mencapai 6–10 kali arus nominal, dan torka awal jauh lebih besar dari torka beban penuh, sehingga potensi kerusakan dapat terjadi apabila proteksi tidak dirancang dengan tepat.

### **Model Matematis dan Transformasi dq0**

Untuk menganalisis karakteristik dinamis motor tiga fasa, banyak penelitian menggunakan metode transformasi dq0. Metode ini mentransformasikan sistem abc tiga fasa dengan komponen sinusoidal menjadi sistem ortogonal dua sumbu (kuadrat langsung) yang menghasilkan variabel DC pada kondisi tunak. Hal ini memungkinkan analisis persamaan dinamis yang lebih sederhana dan komprehensif.

Priyadarshini & Lekshmi (2013) menjelaskan bahwa transformasi dq0 dapat menghilangkan komponen induktansi yang berubah terhadap waktu, sehingga menyederhanakan pemodelan motor induksi dalam berbagai kondisi operasi. Model ini memfasilitasi simulasi karakteristik arus stator, fluks rotor, dan torsi elektromagnetik dengan mengaproksimasikan perbedaan kecepatan sudut antara referensi dan rotor.

Model matematika serupa juga diterapkan pada motor sinkron untuk menganalisis dinamika akibat ketidakseimbangan tegangan. Penelitian Reynaldo Putra menunjukkan bahwa ketidakseimbangan tegangan sebesar 1–5% menyebabkan penurunan torsi, peningkatan arus pada salah satu fasa, dan penurunan efisiensi motor yang signifikan. Hal ini menunjukkan pentingnya transformasi dq0 dalam studi dinamika mesin listrik tiga fasa.

# KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI

## Pengaruh Beban Terhadap Karakteristik Motor

Variasi beban merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi perilaku dinamis motor listrik. Perubahan beban yang tiba-tiba dapat menyebabkan osilasi arus, perubahan torsi, dan fluktuasi kecepatan sebelum mencapai kondisi tunak.

Penelitian Ahyanuardi menegaskan bahwa motor induksi sangat sensitif terhadap perubahan beban yang tiba-tiba, terutama dalam hal peningkatan arus dan durasi transien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar perubahan beban, semakin lama waktu yang dibutuhkan motor untuk kembali ke kondisi tunak.

Selain motor induksi, studi motor BLDC oleh Wijaya Putra (2025) menunjukkan bahwa peningkatan beban berbanding lurus dengan konsumsi daya motor. Pada beban 100 kg, konsumsi daya mencapai 729,578 W, lebih tinggi daripada beban 55 kg yang hanya 649,605 W. Meskipun jenis motornya berbeda, fenomena ini menekankan bahwa beban memiliki pengaruh langsung terhadap energi yang dibutuhkan dan respons dinamis motor listrik.

## Pengaruh Frekuensi Terhadap Karakteristik Motor

Perubahan frekuensi suplai merupakan variabel penting dalam pengendalian kecepatan motor induksi. Pengendalian skalar berbasis V/F (tegangan per frekuensi) umumnya digunakan karena mempertahankan rasio fluks magnetisasi yang optimal. Prasetia & Santoso menyatakan bahwa perubahan frekuensi secara langsung memengaruhi kecepatan motor, torsi elektromagnetik, dan arus stator, sehingga pemodelan dinamis diperlukan untuk meningkatkan akurasi pengendalian.

Santoso dkk. (2025) mempelajari operasi motor induksi pada dua frekuensi, 50 Hz dan 60 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada 60 Hz, torsi tunak yang diperoleh lebih besar (31,03 Nm) dibandingkan dengan 50 Hz (25,89 Nm), dengan durasi transien sekitar 0,5 detik pada kedua kondisi tersebut. Perubahan ini menunjukkan bahwa frekuensi sebagai variabel pengendali dapat mengubah karakteristik dinamis motor secara signifikan, terutama ketika frekuensi operasi melebihi frekuensi nominal.

## Pengukuran dan Karakteristik Mekanik Motor Induksi

Untuk memahami karakteristik mekanis motor induksi secara empiris, dinamometer digunakan sebagai alat pembebanan. Penelitian oleh Ella Sundari dkk.

(2017) menggunakan dinamometer hidrolik untuk menentukan karakteristik torsi, daya mekanis, dan efisiensi motor induksi.

Dengan memvariasikan bukaan katup hidrolik, torsi dan kecepatan diukur secara bersamaan. Hasil eksperimen menunjukkan hubungan kuadrat antara torsi dan kecepatan, dengan titik operasi optimal motor pada 2791 rpm, daya maksimum 756 W, dan efisiensi maksimum 69,8%. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik mekanis motor berubah secara signifikan seiring dengan variasi beban.

### **Dinamika Sistem Tenaga sebagai Pendukung Konteks Beban**

Meskipun tidak secara langsung membahas motor listrik, penelitian Rositawati (2022) tentang pengaruh variasi beban pada sistem tenaga listrik menunjukkan bahwa perubahan beban memiliki efek dinamis terhadap stabilitas frekuensi sistem tenaga. Variasi beban dan keterbatasan generator dapat menyebabkan fluktuasi frekuensi dan memperlambat proses pemulihan sistem, yang secara konseptual relevan dalam menilai dinamika beban pada motor listrik industri yang terhubung ke jaringan.

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan pustaka sistematis dengan meninjau secara kritis delapan jurnal ilmiah yang membahas karakteristik dinamis mesin listrik. Sumber-sumber ini dipilih berdasarkan relevansinya dengan topik penelitian, terutama yang membahas pemodelan motor induksi dan motor sinkron menggunakan transformasi dq0, dinamika arus dan torsi, pengaruh variasi frekuensi, fenomena start, respons transien, dan karakteristik mekanis motor di bawah pembebahan. Proses pengumpulan data dilakukan melalui identifikasi konsep-konsep dasar seperti persamaan tegangan stator-rotor, model torsi elektromagnetik, hubungan torsi-kecepatan, dan respons motor terhadap perubahan beban. Setiap artikel dianalisis untuk mendapatkan temuan-temuan kunci, termasuk karakteristik arus start dan torsi start pada motor induksi (Ahyanuardi), pengaruh frekuensi operasi yang berbeda (Santoso dkk.), variasi konsumsi energi terhadap beban dinamis (Wijaya Putra), dan karakteristik mekanis berbasis dinamometer (Ella Sundari).

Lebih lanjut, analisis dilakukan melalui proses komparatif dan sintesis tematik untuk memperoleh gambaran komprehensif tentang bagaimana variasi beban dan kondisi

# KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI

operasi memengaruhi perilaku dinamis motor listrik. Pendekatan ini memungkinkan integrasi model matematika dq0 dengan temuan empiris dari berbagai studi, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang fenomena transien dan kondisi tunak. Validasi silang antar sumber digunakan untuk memastikan konsistensi logis dan memperkuat argumen teoretis, misalnya, kesesuaian antara model fluks-arus dq0 yang dijelaskan oleh Priyadarshini dan perilaku mekanis yang diukur oleh dinamometer. Semua kesimpulan dalam studi ini dikonstruksi secara ilmiah berdasarkan analisis kritis literatur tanpa melibatkan eksperimen atau simulasi fisika baru, sehingga mengutamakan integritas akademis dan ketelitian metodologis sebagai standar publikasi ilmiah bereputasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian pustaka menunjukkan bahwa karakteristik dinamik mesin listrik, khususnya motor induksi tiga fasa, sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara kondisi operasi, variasi beban, dan parameter elektromagnetik internal motor. Studi pemodelan berdasarkan transformasi dq0 (Priyadarshini; Ahyanuardi) memberikan gambaran yang sangat jelas tentang dinamika arus stator, fluks rotor, dan pembentukan torsi elektromagnetik dalam kondisi transien. Transformasi dq0 memungkinkan analisis sistem nonlinier dalam bentuk yang lebih terstruktur dengan memisahkan komponen langsung dan kuadratur, sehingga fenomena transien seperti lonjakan arus saat start dan fluktuasi fluks akibat perubahan beban dapat diamati secara kuantitatif. Selama kondisi start, motor induksi mengalami arus masuk hingga berkali-kali lipat dari arus nominal. Ahyanuardi menjelaskan bahwa kondisi ini disebabkan oleh pembentukan fluks rotor yang kurang stabil, sehingga motor menyerap energi magnetisasi yang besar selama start. Fenomena ini merupakan karakteristik mendasar dari sistem elektromekanis yang tidak dapat dihindari, tetapi sangat relevan untuk analisis perlindungan, kontrol, dan konsumsi energi dalam aplikasi industri.

Pengaruh frekuensi sebagai variabel operasi juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap dinamika motor. Hasil penelitian Santoso dkk. menunjukkan bahwa perubahan frekuensi dari 50 Hz ke 60 Hz tidak hanya memengaruhi kecepatan sinkron tetapi juga berdampak pada peningkatan torsi steady-state, perubahan kurva akselerasi, dan perbedaan respons transien. Pada frekuensi 60 Hz, motor menghasilkan torsi yang

lebih besar daripada pada 50 Hz, yang mencerminkan hubungan langsung antara frekuensi, fluks magnetik, dan kemampuan pembangkitan torsi. Temuan ini sejalan dengan prinsip dasar kontrol skalar V/F yang dijelaskan oleh Prasetya & Santoso, di mana rasio tegangan dan frekuensi harus dijaga agar fluks magnetik tidak berkurang ketika frekuensi dinaikkan. Perubahan frekuensi tanpa kompensasi tegangan akan menghasilkan fluks yang lebih rendah, yang pada akhirnya mengurangi torsi elektromagnetik. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan bahwa dinamika motor tidak dapat dipisahkan dari interaksi antara parameter kontrol dan parameter elektromagnetik internal motor.

Variasi beban mekanis merupakan faktor lain yang terbukti memengaruhi perilaku dinamis mesin listrik secara signifikan. Analisis Ahyanuardi menunjukkan bahwa perubahan beban yang tiba-tiba menyebabkan fluktuasi yang signifikan pada arus dan torsi stator sebelum sistem kembali ke kondisi tunak. Durasi transien ini meningkat seiring dengan besarnya perubahan beban, yang menunjukkan bahwa respons motor sangat sensitif terhadap dinamika pembebahan. Sementara itu, studi Wijaya Putra tentang motor BLDC, meskipun menggunakan jenis motor yang berbeda, menunjukkan pola respons yang serupa: peningkatan beban menyebabkan peningkatan konsumsi daya dan perubahan profil energi dinamis motor. Fenomena ini secara teoritis paralel dengan perilaku motor induksi, karena kedua jenis motor mengikuti prinsip umum bahwa torsi elektromagnetik harus menyeimbangkan torsi beban untuk mempertahankan kecepatan rotor.

Lebih lanjut, karakteristik mekanis motor listrik juga memberikan kontribusi penting untuk memahami dinamika sistem secara keseluruhan. Penelitian Ella Sundari menggunakan dinamometer hidrolik menunjukkan bahwa hubungan torsi-kecepatan motor bersifat nonlinier, di mana peningkatan beban menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan torsi yang signifikan. Titik operasi optimum ditemukan dalam kondisi tertentu ketika daya dan efisiensi mekanis mencapai nilai maksimumnya. Temuan ini memberikan perspektif mekanis yang memperkaya pemodelan matematika dq0, karena dinamika elektromagnetik dan mekanis tidak dapat dipisahkan dalam analisis kinerja motor listrik. Karakteristik mekanis ini semakin memperkuat pemahaman bahwa respons dinamis motor sangat ditentukan oleh sifat beban yang bekerja pada poros motor.

Di sisi lain, Rositawati menunjukkan bahwa variasi beban tidak hanya memengaruhi motor individual, tetapi juga sistem tenaga secara keseluruhan. Meskipun

## **KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI**

konteks penelitiannya adalah Kontrol Pembangkit Otomatis (AGC), konsep yang dihasilkan menunjukkan bahwa perubahan beban dapat menyebabkan fluktuasi frekuensi sistem, yang kemudian memengaruhi motor yang terhubung ke jaringan listrik. Hubungan ini menunjukkan bahwa dinamika motor listrik tidak berdiri sendiri, melainkan merupakan bagian dari interaksi sistem tenaga yang lebih besar. Oleh karena itu, memahami dinamika beban sangat penting dalam merancang sistem industri yang andal dan efisien.

Secara keseluruhan, sintesis antara delapan jurnal menunjukkan bahwa karakteristik dinamik mesin listrik dipengaruhi oleh empat komponen utama:

1. Parameter elektromagnetik dan transformasi dq0 yang mengatur hubungan antara fluks, arus, dan torsi.
2. Variasi frekuensi yang memengaruhi kecepatan sinkron, fluks magnetik, dan torsi.
3. Dinamika beban mekanis yang menentukan profil energi dan respons transien.
4. Integrasi antara karakteristik mekanis dan sistem tenaga yang memengaruhi stabilitas operasi motor.

Interaksi keempat komponen ini menjelaskan mengapa mesin listrik menunjukkan respons yang kompleks dan seringkali non-linier saat beroperasi dalam kondisi dinamis. Dengan pemahaman yang mendalam terhadap literatur ini, penelitian ini mampu memberikan gambaran yang komprehensif tentang perilaku motor induksi dalam berbagai variasi beban dan kondisi operasi, sehingga dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan metode kontrol, proteksi, dan optimasi kinerja motor listrik dalam aplikasi industri modern.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka sistematis terhadap delapan sumber ilmiah, dapat disimpulkan bahwa karakteristik dinamis mesin listrik terutama motor induksi tiga fasa ditentukan oleh interaksi kompleks antara kondisi operasi, variasi beban, dan parameter elektromagnetik internal motor. Pemodelan berdasarkan transformasi dq0 memberikan pemahaman mendalam tentang dinamika arus stator, fluks rotor, dan pembangkitan torsi elektromagnetik, terutama dalam kondisi transien seperti start-up dan perubahan beban mendadak. Peningkatan frekuensi suplai telah terbukti memengaruhi torsi dan kecepatan sinkron motor, sementara variasi beban mekanis memiliki efek

signifikan terhadap konsumsi daya, stabilitas kecepatan, dan durasi waktu penyelesaian. Di sisi mekanis, karakteristik torsi-kecepatan yang diperoleh melalui pengujian dinamometer menunjukkan hubungan nonlinier, yang menegaskan fakta bahwa dinamika motor merupakan kombinasi fenomena elektromekanis yang bekerja secara simultan. Integrasi temuan ini menunjukkan bahwa perilaku dinamis motor listrik tidak hanya dipengaruhi oleh faktor-faktor kelistrikan, tetapi juga oleh kondisi mekanis beban dan stabilitas sistem tenaga tempat motor beroperasi.

Berdasarkan sintesis keseluruhan temuan, beberapa rekomendasi dapat diajukan. Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk mengembangkan model dinamis yang lebih terintegrasi antara aspek elektromagnetik dan mekanik, terutama untuk merepresentasikan beban industri variabel dan nonlinier. Selain itu, validasi eksperimental dan simulasi mendalam model dq0 diperlukan untuk merepresentasikan kinerja motor secara lebih akurat dalam kondisi operasi dunia nyata. Penelitian selanjutnya juga perlu mempertimbangkan pengaruh kualitas daya, seperti ketidakseimbangan tegangan dan harmonisa, karena keduanya dapat memperburuk respons transien motor. Terakhir, pengembangan strategi kontrol berbasis model atau optimasi kontrol skalar (V/F) dapat menjadi arah penelitian potensial dalam meningkatkan stabilitas dinamis motor dalam aplikasi industri modern.

## DAFTAR REFERENSI

- Ahyanuardi. (2011). Pemodelan perilaku dinamik motor induksi tiga fasa. *Proceeding ITB*, 22(1/2/3).
- Prasetia, A. M., & Santoso, H. (2018). Implementation of scalar control method for 3 phase induction motor speed control. *ELINVO: Electronics, Informatics, and Vocational Education*, 3(1), 63–69.
- Priyadarshini, R., & Lekshmi, M. (2013). Dynamic performance of three-phase induction motor. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(4), 715–716.
- Putra, R. R., et al. (2022). Analisis pemodelan dinamik motor sinkron tiga fasa menggunakan transformasi dq0. (*Jurnal, informasi volume/tahun tidak tercantum*).

## **KARAKTERISTIK DINAMIK MESIN LISTRIK PADA VARIASI BEBAN DAN KONDISI OPERASI**

- Rositawati, S. (2020). Analisis perubahan beban terhadap dinamika sistem AGC. (*Jurnal, detail publikasi tidak tercantum*).
- Santoso, A. H., Ridzki, I., Hakim, L., Effendi, P., Harijanto, P. S., & Wijaya, A. A. (2025). Perilaku dinamik motor induksi pada dual frekuensi suplai. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 12(1).
- Sundari, E. (2017). Analisis kinerja motor listrik dengan pengujian dinamometer hidrolik. *Jurnal Austenit*, 9(2).
- Wijaya Putra, M. (2025). Analisis konsumsi energi motor BLDC pada variasi beban dinamis.