

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

Irenius Aditya Lumbangaol¹

Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan
Andira²

Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan
Muhammad Ikbal³

Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan
Desman Jonto Sinaga⁴

Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan
Arwadi Sinuraya⁵

Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan

Email:

ireniusiren7@gmail.com¹ andira0831@gmail.com² muhammadikbal0514@gmail.com³ desmansinaga@unimed.com⁴ arwadisinuraya@unimed.ac.id⁵

Alamat: Jl. William Iskandar Psr. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: *ireniusiren7@gmail.com*

Abstract. This study presents a literature review on the influence of starting methods and stator resistance on slip characteristics, inrush current, and power quality performance of three-phase induction motors. Several starting strategies including direct-on-line (DOL), star-delta, autotransformer, soft-starter, and voltage-frequency (V/f) control using inverter-based drives are reviewed to evaluate their effect on initial current surge and electromagnetic torque development. Findings indicate that conventional starting methods such as DOL produce high inrush current and voltage sag, while soft-starter and inverter-based methods provide smoother torque transition and reduced starting current. Variation of stator resistance demonstrates a proportional effect on slip characteristics and torque, where higher resistance increases slip and reduces starting efficiency. In addition, starting methods may influence power quality parameters such as harmonic distortion, power factor, and voltage drop depending on the applied control strategy. The study concludes that integrating appropriate starting control with stator resistance adjustments can improve dynamic performance of induction motors and reduce power disturbances in industrial systems.

Keywords: Induction motor, starting method, stator resistance, slip, inrush current, power quality.

Received November 20, 2025; Revised Desember 03, 2025; Januari 01, 2026

* Irenius Aditya Lumbangaol, ireniusiren7@gmail.com

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

Abstrak. Penelitian ini menyajikan kajian literatur mengenai pengaruh metode pengasutan dan variasi resistansi stator terhadap karakteristik slip, arus awal, dan kualitas daya pada motor induksi tiga fasa. Beberapa metode starting seperti *direct-on-line* (DOL), *star-delta*, *autotransformer*, *soft-starter*, serta pengaturan tegangan-frekuensi (V/f) berbasis inverter ditinjau untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap lonjakan arus awal dan perkembangan torsi elektromagnetik. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode *starting* konvensional seperti DOL menghasilkan arus awal tinggi dan penurunan tegangan sesaat, sedangkan soft-starter dan inverter memberikan transisi torsi lebih halus serta menekan arus awal. Variasi resistansi stator menunjukkan pengaruh proporsional terhadap slip dan torsi, dimana peningkatan resistansi meningkatkan slip dan menurunkan efisiensi awal motor. Selain itu, metode *starting* juga dapat mempengaruhi parameter kualitas daya seperti distorsi harmonisa, faktor daya, dan drop tegangan tergantung strategi kontrol yang diterapkan. Studi ini menyimpulkan bahwa integrasi metode starting dan penyesuaian resistansi stator dapat meningkatkan performa dinamis motor induksi serta mengurangi gangguan daya pada sistem industri.

Kata kunci: Arus awal, kualitas daya, motor induksi, metode starting, resistansi stator.

LATAR BELAKANG

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada sistem tenaga listrik industri karena memiliki struktur yang sederhana, konstruksi mekanis yang kuat, serta biaya perawatan yang rendah. Pada sistem produksi modern, lebih dari 60% beban mekanis industri digerakkan oleh motor induksi tipe rotor sangkar tupai karena karakteristiknya yang handal pada kondisi beban bervariasi serta kemampuannya bekerja langsung pada sistem distribusi tiga fasa. Meskipun demikian, performa motor induksi pada saat pengasutan (*starting*) sering menjadi isu penting dalam perancangan sistem tenaga karena dapat menimbulkan lonjakan arus awal (*inrush current*) dan slip besar sebelum motor mencapai kecepatan sinkron.

Proses starting motor induksi umumnya memerlukan arus yang jauh lebih besar dibandingkan arus nominalnya, bahkan dapat mencapai 6–8 kali arus beban penuh pada metode starting konvensional seperti *direct-on-line* (DOL). Arus awal yang tinggi tersebut dapat menyebabkan gangguan sementara pada sistem kelistrikan berupa penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*), fluktuasi torsi mekanis, serta menurunkan faktor daya. Kondisi tersebut tidak hanya mempengaruhi performa motor yang bersangkutan, tetapi juga dapat memberikan dampak terhadap kualitas daya sistem distribusi lokal, terutama pada instalasi dengan kapasitas sumber terbatas atau banyak motor bekerja secara simultan.

Selain metode starting, parameter resistansi stator juga memiliki pengaruh signifikan terhadap respon dinamis motor pada saat pengasutan. Peningkatan resistansi stator dapat meningkatkan slip awal sehingga torsi elektromagnetik pada kondisi starting berubah secara proporsional. Namun, penambahan resistansi stator juga dapat menurunkan efisiensi dan

mempengaruhi kenaikan temperatur kumparan stator. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi resistansi stator dapat digunakan sebagai metode kontrol sederhana untuk mengatur karakteristik starting, meskipun secara umum metode kontrol berbasis elektronika daya seperti soft-starter dan inverter memberikan performa lebih baik dalam mengurangi lonjakan arus awal.

Berbagai metode starting seperti *star-delta*, *autotransformer*, *soft-starter*, hingga inverter berbasis pengaturan tegangan-frekuensi (V/f) telah diterapkan untuk mengurangi arus awal dan memperbaiki profil torsi saat starting. Namun, kajian komprehensif mengenai hubungan antara metode *starting*, variasi resistansi stator, slip, dan kualitas daya masih terbatas pada penelitian terpisah dengan fokus pada parameter tertentu saja. Sebagian penelitian hanya membahas karakteristik arus awal, sementara penelitian lain fokus pada slip atau kualitas daya tanpa meninjau keterkaitan variabel secara menyeluruh.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kajian literatur untuk mengintegrasikan temuan penelitian terdahulu dan memberikan analisis menyeluruh mengenai bagaimana metode starting dan resistansi stator mempengaruhi slip, arus awal, serta kualitas daya pada motor induksi. Kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam menentukan metode starting yang optimal serta memberikan dasar pengembangan penelitian lanjutan terkait manajemen kualitas daya pada sistem industri berbasis motor induksi.

KAJIAN TEORITIS

1. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik antara medan putar stator dan konduktor rotor. Ketika tegangan tiga fasa diberikan pada kumparan stator, terbentuk medan putar dengan kecepatan sinkron $N_s = \frac{120f}{P}$, dimana f adalah frekuensi sumber dan P jumlah kutub stator. Rotor sangkar tupai, yang umum digunakan di industri, menghasilkan arus induksi ketika terdapat perbedaan kecepatan antara rotor dan medan stator, sehingga menghasilkan torsi elektromagnetik.

Karakteristik dasar motor induksi adalah bahwa rotor tidak pernah mencapai kecepatan sinkron ($N_r < N_s$), dan selisih relatifnya disebut slip $s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$. Slip merupakan parameter kunci dalam pembentukan torsi, terutama saat starting ketika rotor diam sehingga slip mencapai nilai maksimum ($s = 1$).

Penelitian oleh Adam (2020) menunjukkan bahwa karakteristik torsi motor pada saat starting sangat dipengaruhi oleh kondisi elektromagnetik stator, terutama ketika

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

motor dihubungkan langsung ke sumber (DOL). Studi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan metode starting berbeda menghasilkan profil slip dan arus awal yang signifikan terhadap respons dinamis motor. Hal ini menunjukkan bahwa teori dasar motor induksi memiliki relevansi langsung dengan pemilihan metode pengasutan dalam aplikasi industri.

2. Fenomena Starting pada Motor Induksi

Proses starting pada motor induksi merupakan kondisi transien ketika motor belum menghasilkan torsi nominal dan arus yang mengalir sangat tinggi akibat slip maksimum. Kondisi ini terjadi karena saat rotor diam, medan putar stator memotong konduktor rotor dengan frekuensi penuh, sehingga arus rotor tinggi dan impedansi rotor rendah terhadap arus induksi. Secara praktis, arus awal dapat mencapai 6–8 kali arus beban penuh untuk metode direct-on-line (DOL). Tingginya arus awal tersebut dapat menimbulkan penurunan tegangan sesaat (voltage sag), ketidakstabilan torsi awal, serta penurunan faktor daya sistem.

Beberapa metode starting digunakan untuk mengurangi arus awal, diantaranya star-delta, autotransformer, soft-starter, serta inverter berbasis pengaturan tegangan-frekuensi (V/f control). Penelitian oleh Wakhyudwiono (2021) menemukan bahwa metode star-delta mampu menurunkan arus awal hingga 60% dibandingkan DOL, sekaligus mengurangi penurunan tegangan pada bus distribusi lokal hingga di bawah 5%. Sementara itu, Supartono (2020) menunjukkan bahwa penggunaan soft-starter berbasis kontrol sudut fasa mampu mengendalikan kenaikan tegangan awal motor, memberikan transisi torsi yang lebih halus, serta mengurangi dampak harmonisa selama starting. Hasil ini menegaskan bahwa fenomena starting tidak hanya dipahami secara teoretis, tetapi memiliki implikasi praktis terhadap kualitas daya sistem industri dan pemilihan metode pengasutan yang tepat.

3. Pengaruh Resistansi Stator terhadap Slip dan Torsi Awal

Resistansi stator (R_1) merupakan salah satu parameter utama dalam model rangkaian ekivalen motor induksi yang mempengaruhi distribusi arus dan pembentukan torsi. Secara teoritis, peningkatan resistansi stator akan meningkatkan rugi-rugi tembaga, menurunkan tegangan internal rotor, serta menggeser kurva torsi terhadap slip. Hubungan antara resistansi stator dan torsi dapat dianalisis melalui persamaan torsi elektromagnetik dasar, dimana puncak torsi terjadi pada kondisi slip kritis $s_{max} = \frac{R_2}{X_2}$. Ketika resistansi

stator meningkat, nilai slip kritis juga meningkat, sehingga motor membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kecepatan operasi.

Penelitian oleh Dahlan (2021) menunjukkan bahwa peningkatan resistansi stator sebesar $1,5 \Omega$ pada motor induksi tiga fasa menghasilkan kenaikan slip sebesar 18,4% pada saat starting dan menurunkan efisiensi beban dari 82,3% menjadi 76,5%. Namun, penelitian tersebut juga mencatat bahwa peningkatan resistansi stator dapat menurunkan arus awal hingga 22% pada titik pengasutan tertentu, sehingga pendekatan ini dapat menjadi metode sederhana untuk mengatur karakteristik starting pada sistem dengan kapasitas sumber terbatas. Hasil ini menunjukkan bahwa resistansi stator memiliki efek ganda terhadap performa starting menurunkan efisiensi namun membantu mengendalikan arus awal dan slip transien.

4. Arus Awal dan Dampaknya terhadap Kualitas Daya

Arus awal (inrush current) pada motor induksi merupakan fenomena transien kritis yang terjadi ketika motor pertama kali dihubungkan ke sumber daya. Secara teori, arus awal yang tinggi berasal dari kondisi slip maksimum $s = 1$, dimana rotor masih diam dan medan putar stator menghasilkan induksi maksimum terhadap konduktor rotor. Pada kondisi ini, impedansi rotor yang rendah menyebabkan aliran arus yang sangat besar, dan arus magnetisasi stator mencapai nilai puncak sebelum medan elektromagnetik stabil. Karakteristik ini dapat diturunkan melalui model rangkaian ekivalen Thevenin pada stator, dimana kenaikan impedansi stator dan reaktansi menyebabkan distribusi arus yang tidak seimbang pada saat starting.

Arus awal yang tinggi dapat memberikan dampak langsung terhadap kualitas daya pada sistem distribusi, antara lain penurunan tegangan sesaat (voltage sag), distorsi harmonisa, serta penurunan faktor daya sistem. Voltage sag terjadi akibat peningkatan arus pada rangkaian seri impedansi saluran, sehingga menghasilkan penurunan tegangan terminal motor maupun beban lain yang terhubung dalam satu jaringan. Dahlan (2021) mendokumentasikan bahwa lonjakan arus awal sebesar 5,7 kali arus nominal menyebabkan penurunan tegangan sebesar 8,92% pada panel distribusi lokal. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan ketidakstabilan pada peralatan lain, seperti inverter, sistem kontrol PLC, maupun peralatan sensitif terhadap gangguan tegangan.

Selain itu, arus awal dapat menyebabkan distorsi harmonisa, terutama pada metode starting berbasis soft-starter yang bekerja dengan pengaturan sudut fasa. Distorsi

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

harmonisa terjadi akibat pemotongan sinyal sinusoidal saat proses pengasutan, yang menginduksi komponen harmonik orde rendah dalam sistem distribusi. Penelitian oleh Supartono (2020) menunjukkan bahwa penggunaan soft-starter dapat menurunkan arus awal hingga 65%, namun juga menghasilkan harmonisa orde ke-5 dan ke-7 pada sistem dengan THD sebesar 4,32%. Namun, nilai THD tersebut tetap berada dalam batas aman IEEE 519-2014, sehingga secara umum metode soft-starter dinilai lebih efektif dalam menyeimbangkan antara arus awal dan kualitas daya sistem.

5. Kualitas Daya dalam Sistem Distribusi Industri

Kualitas daya (power quality) merupakan parameter penting dalam sistem tenaga industri, karena menentukan stabilitas tegangan, faktor daya, dan tingkat distorsi harmonisa. Parameter kualitas daya secara umum meliputi tegangan RMS, faktor daya (power factor), distorsi harmonisa total (THD), serta fenomena transien seperti sag, swell, dan flicker. Pada sistem distribusi industri, motor induksi sering menjadi penyebab utama gangguan kualitas daya terutama ketika beberapa motor melakukan starting secara simultan atau dihubungkan dalam jaringan dengan kapasitas sumber terbatas.

Secara teoritis, kualitas daya dipengaruhi oleh interaksi antara impedansi saluran, beban induktif, dan metode kontrol starting. Metode DOL memberikan arus awal tinggi sehingga memicu voltage sag, sedangkan metode star-delta mengurangi tegangan pada fase awal sehingga menurunkan arus awal, namun dapat menghasilkan ketidakseimbangan torsi sesaat. Penggunaan autotransformer memberikan transisi tegangan yang lebih halus dibanding star-delta, sementara metode inverter berbasis V/f memberikan kontrol paling baik terhadap profil starting dan pengurangan harmonisa. Adam (2020) mencatat bahwa penggunaan inverter dapat mengurangi voltage sag hingga 78%, dengan faktor daya yang lebih stabil pada saat starting.

Kualitas daya juga berkaitan dengan faktor daya pada saat starting. Pada kondisi arus awal, faktor daya sering turun akibat dominasi komponen reaktif dari arus magnetisasi. Wakhyudwiono (2021) menunjukkan bahwa metode star-delta menghasilkan faktor daya awal sebesar 0,36, lebih baik dibanding DOL pada faktor daya 0,28, yang menunjukkan bahwa penurunan tegangan awal membantu mengurangi aliran komponen reaktif. Namun demikian, dalam operasi industri skala besar, pemilihan metode starting tidak hanya mempertimbangkan faktor daya semata, tetapi juga integritas tegangan sistem dan kompatibilitas dengan perangkat elektronik lainnya. Oleh karena itu,

kualitas daya dalam konteks starting motor tidak hanya menjadi isu teknis motor itu sendiri, tetapi isu sistem yang mempengaruhi seluruh jaringan distribusi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur (*literature review*) untuk menganalisis pengaruh metode starting dan variasi resistansi stator terhadap slip, arus awal, dan kualitas daya pada motor induksi tiga fasa. Pendekatan literatur dipilih karena fokus penelitian bukan pada pengukuran langsung, melainkan pada eksplorasi sistematis dari temuan empiris dan konseptual yang telah dipublikasikan sebelumnya. Prosedur pencarian literatur dilakukan melalui basis data ilmiah nasional, termasuk Garuda, Portal Neliti, dan SINTA, dengan menggunakan kata kunci “motor induksi”, “metode starting”, “arus awal”, “slip”, “resistansi stator”, dan “kualitas daya”. Untuk menjaga relevansi teknis terhadap perkembangan kontrol starting modern, literatur dibatasi pada publikasi tahun 2017–2024, sehingga seluruh artikel mencerminkan kondisi terkini penerapan teknologi starting berbasis elektronik daya maupun metode konvensional. Dari hasil pencarian awal, diperoleh sepuluh artikel jurnal yang memenuhi kriteria penelitian berdasarkan kesesuaian topik, kejelasan data, dan kontribusi metodologis. Dari sepuluh artikel tersebut, empat jurnal digunakan sebagai sumber data utama, yaitu Adam (2020), Dahlan (2021), Supartono (2020), dan Wakhyyudwiono (2021), sedangkan enam referensi lainnya digunakan sebagai pendukung konseptual dan konfirmasi temuan untuk memperkuat validitas analisis teoritis.

Seluruh artikel yang terpilih dianalisis menggunakan metode komparatif-deskriptif, yaitu dengan mengekstraksi temuan utama dari masing-masing penelitian dan membandingkannya berdasarkan parameter yang sama, yaitu nilai slip saat starting, besarnya arus awal, penurunan tegangan sesaat, faktor daya awal, serta perubahan karakteristik torsi akibat variasi resistansi stator. Data kuantitatif yang terdapat dalam artikel diolah secara naratif melalui teknik sintesis tematik, yaitu mengelompokkan temuan berdasarkan konsep teoritis yang mendasarinya, seperti hubungan slip–torsi, model rangkaian ekivalen stator, dan karakteristik starting pada berbagai metode pengasutan. Analisis dilakukan dengan cara mengintegrasikan teori dasar motor induksi dengan hasil pengukuran dan simulasi yang dilaporkan oleh penelitian terdahulu sehingga diperoleh pemahaman terstruktur mengenai bagaimana perubahan nilai resistansi stator dan pemilihan metode starting mempengaruhi respon dinamis motor dan kondisi kualitas

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

daya pada sistem distribusi. Pendekatan ini sekaligus memungkinkan peneliti mengidentifikasi persamaan dan perbedaan antar penelitian sebelumnya, mengungkap faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil, serta menunjukkan gap penelitian yang belum dibahas secara komprehensif dalam literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kajian literatur terhadap sepuluh publikasi ilmiah nasional menunjukkan bahwa metode starting pada motor induksi tiga fasa memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai arus awal, slip, dan kualitas daya pada sistem distribusi. Nilai arus awal pada metode direct-on-line (DOL) dilaporkan oleh Adam (2020) mencapai sekitar 5,7 kali arus nominal, sehingga menimbulkan penurunan tegangan sesaat pada panel distribusi sebesar 8,92%. Kondisi tersebut selaras dengan teori bahwa pada saat starting, kecepatan rotor masih nol sehingga slip bernilai satu dan induksi elektromagnetik berada pada titik maksimum. Nilai arus awal yang sangat tinggi ini berpotensi menimbulkan gangguan pada peralatan sensitif dan meningkatkan rugi daya pada jaringan distribusi lokal. Metode starting berbasis reduksi tegangan seperti star-delta memberikan hasil yang lebih baik dalam mereduksi arus awal, karena penurunan tegangan fasa pada saat awal starting menurunkan arus magnetisasi. Wakhyudwiono (2021) melaporkan bahwa metode star-delta mampu menurunkan arus awal hingga 60% dibandingkan DOL dan menekan tegangan sag di bawah 5%, yang menunjukkan bahwa metode ini masih relevan untuk aplikasi industri dengan keterbatasan kapasitas sistem. Selain metode konvensional tersebut, penggunaan peralatan berbasis elektronik daya seperti soft-starter memberikan kontrol starting yang lebih halus dengan reduksi arus awal mencapai 65%, meskipun menghasilkan distorsi harmonisa selama transien. Temuan Supartono (2020) menunjukkan bahwa distorsi harmonisa total mencapai 4,32%, tetapi masih berada dalam batas aman IEEE-519 sehingga metode ini tetap sesuai untuk sistem dengan toleransi harmonisa moderat.

Selain metode starting, resistansi stator juga memberikan kontribusi terhadap karakteristik starting motor induksi. Berdasarkan kajian terhadap penelitian Dahlan (2021), penambahan resistansi stator sebesar $1,5 \Omega$ menghasilkan peningkatan slip hingga 18,4% dan menurunkan arus awal sebesar 22% dibandingkan kondisi standar. Hal ini dapat dijelaskan melalui pergeseran titik torsi maksimum ke nilai slip yang lebih tinggi akibat peningkatan resistansi. Dengan demikian, torsi awal meningkat pada kanal

tertentu, tetapi motor membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kecepatan nominal dan mengalami rugi-rugi tembaga yang lebih besar. Dalam konteks efisiensi energi, metode peningkatan resistansi stator kurang efektif dibandingkan metode pengasutan berbasis reduksi tegangan karena adanya penurunan efisiensi hingga 5,8%. Namun, metode ini tetap memiliki relevansi untuk sistem dengan kapasitas rendah yang membutuhkan pengurangan arus awal tanpa menggunakan peralatan elektronik daya.

Temuan dari seluruh literatur menunjukkan bahwa setiap metode starting memiliki kompromi teknis masing-masing. Metode DOL memberikan torsi awal tinggi tetapi menghasilkan arus awal besar dan penurunan tegangan signifikan. Star-delta dan autotransformer memberikan kompromi yang seimbang antara arus awal dan kebutuhan torsi, sementara metode berbasis elektronik daya menawarkan performa terbaik dalam menurunkan arus awal dan menjaga kualitas daya. Akan tetapi, metode berbasis elektronik daya juga dapat menimbulkan harmonisa pada saat starting, sehingga perlu diperhatikan batasan kualitas daya pada sistem distribusi. Dari sudut pandang kualitas daya, metode yang memberikan tegangan transien paling stabil adalah inverter berbasis pengaturan tegangan dan frekuensi, karena profil starting yang dihasilkan lebih linier, torsi lebih halus, dan harmonisa lebih rendah dibandingkan soft-starter berbasis kontrol sudut fasa. Kajian ini menunjukkan adanya pola korelasi yang jelas antara besarnya arus awal, nilai slip pada saat starting, dan kualitas daya sistem. Dengan demikian, pemilihan metode starting harus mempertimbangkan karakteristik beban, kapasitas jaringan, serta batasan kualitas daya yang diizinkan.

Hasil kajian juga mengidentifikasi adanya gap penelitian dari publikasi nasional yang dianalisis. Mayoritas penelitian membahas metode starting dan pengaruhnya terhadap arus awal serta kualitas daya, tetapi tidak mengintegrasikan variabel resistansi stator sebagai faktor pengendali slip dalam satu kerangka pembahasan yang utuh. Sebaliknya, penelitian mengenai resistansi stator umumnya berdiri sendiri tanpa melihat implikasinya terhadap kualitas daya pada sistem distribusi. Oleh karena itu, integrasi analisis metode starting dan variasi resistansi stator dalam satu model evaluasi diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antar variabel. Dengan fokus tersebut, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis berupa sintesis yang menjelaskan keterkaitan antara metode starting, resistansi stator, slip, arus awal, dan kualitas daya dalam satu alur analisis, sehingga dapat menjadi rujukan untuk

STUDI STARTING DAN RESISTANSI STATOR TERHADAP SLIP, ARUS AWAL, DAN KUALITAS DAYA MOTOR INDUKSI

penelitian lanjutan maupun penerapan praktis pada industri dengan kebutuhan optimasi kualitas daya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa metode starting pada motor induksi tiga fasa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya arus awal, karakteristik slip, serta kualitas daya pada sistem distribusi. Metode direct-on-line menghasilkan arus awal paling tinggi dan memicu penurunan tegangan yang berpotensi mengganggu peralatan sensitif, sementara metode star-delta dapat menurunkan arus awal hingga 60% dengan tingkat penurunan tegangan yang lebih terkendali. Penggunaan perangkat berbasis elektronik daya seperti soft-starter mampu memberikan profil starting yang lebih halus dengan reduksi arus awal lebih besar, meskipun disertai kenaikan harmonisa selama kondisi transien. Penambahan resistansi stator terbukti efektif menekan arus awal dengan meningkatkan nilai slip, namun metode ini menurunkan efisiensi dan meningkatkan rugi-rugi tembaga. Sintesis temuan menunjukkan bahwa setiap metode starting memiliki kompromi teknis, sehingga pemilihan metode harus mempertimbangkan kapasitas jaringan, kebutuhan torsi awal, serta batasan kualitas daya pada sistem. Kajian ini juga menemukan bahwa penelitian terdahulu masih terfragmentasi antara studi metode starting dan pengaruh resistansi stator, sehingga diperlukan integrasi kedua variabel dalam satu kerangka analisis yang utuh.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan penelitian lanjutan dilakukan dengan mengintegrasikan variasi resistansi stator ke dalam evaluasi metode starting, baik melalui simulasi maupun pemodelan matematis, untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara slip, arus awal, dan kualitas daya. Penggunaan perangkat starting berbasis inverter dengan kontrol tegangan dan frekuensi dapat dipertimbangkan sebagai solusi optimal pada sistem industri dengan tuntutan kualitas daya tinggi. Selain itu, analisis harmonisa pada metode berbasis elektronik daya perlu diperluas untuk memastikan kesesuaian dengan standar kualitas daya seperti IEEE-519. Kajian juga dapat diperluas dengan memasukkan variasi parameter seperti impedansi jaringan, karakteristik beban, serta kondisi sistem distribusi aktual untuk menghasilkan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan pada industri dengan keterbatasan kapasitas atau tuntutan performa tertentu.

DAFTAR REFERENSI

- Adam, S. (2020). Analisis pengaruh metode starting terhadap arus awal motor induksi tiga fasa pada sistem distribusi industri. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 12(2), 45–52.
- Dahlan, A. (2021). Pengaruh variasi resistansi stator terhadap slip dan arus awal motor induksi rotor sangkar. *Jurnal Elektro Nusantara*, 9(1), 11–18.
- Gunawan, R., & Siregar, B. (2019). Evaluasi metode star-delta dan autotransformer terhadap performansi starting motor induksi pada beban kompresor. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 15(3), 72–80.
- Hidayat, M., & Kurniawan, F. (2022). Analisis kualitas daya akibat starting motor induksi menggunakan metode direct-on-line pada jaringan distribusi tegangan rendah. *Jurnal Rekayasa Elektro Indonesia*, 6(1), 23–30.
- Kasim, A., & Yulianto, D. (2021). Studi harmonisa pada penggunaan soft-starter berbasis kontrol sudut fasa untuk motor induksi tiga fasa. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tenaga*, 10(2), 58–66.
- Nugroho, T., & Adriansyah, D. (2020). Optimasi starting motor induksi tiga fasa menggunakan inverter V/f pada aplikasi pompa industri. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 8(4), 95–102.
- Supartono, M. (2020). Analisis distorsi harmonisa pada motor induksi akibat penggunaan soft-starter berbasis elektronik daya. *Jurnal Elektronika dan Tenaga Listrik*, 7(2), 33–40.
- Sutopo, H., & Prayitno, E. (2023). Studi eksperimental karakteristik slip dan torsi pada motor induksi dengan variasi resistansi stator. *Jurnal Elektro dan Mesin Listrik*, 14(1), 14–22.
- Wakhyudwiono, A. (2021). Perbandingan metode star-delta terhadap metode DOL pada pengasutan motor induksi tiga fasa. *Jurnal Teknik Mesin dan Kelistrikan*, 5(2), 29–35.
- Zulfikar, A., & Akbar, M. (2019). Pengaruh variasi impedansi jaringan terhadap performansi starting motor induksi. *Jurnal Tenaga Listrik Indonesia*, 3(3), 40–48.