

## OPTIMALISASI KINERJA MOTOR INDUKSI DITINJAU DARI PERBANDINGAN METODE PENGASUTAN *SOFT STARTER* DAN *INVERTER*

Fitria Dea Filiani<sup>1)</sup>, Joko<sup>2)</sup>, Tri Rijanto<sup>3)</sup>, Tri Wrahatnolo<sup>4)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231, Indonesia

[fitria.20016@mhs.unesa.ac.id](mailto:fitria.20016@mhs.unesa.ac.id)<sup>1)</sup>, [joko@unesa.ac.id](mailto:joko@unesa.ac.id)<sup>2)</sup>, [tririjanto@unesa.ac.id](mailto:tririjanto@unesa.ac.id)<sup>3)</sup>, [triwrahatnolo@unesa.ac.id](mailto:triwrahatnolo@unesa.ac.id)<sup>4)</sup>

### Abstract

Induction motors are the most common type of electric motor used in the industrial sector. An important aspect of induction motor performance is that at start-up, the motor starting current can reach 5 to 7 times the nominal current, causing mechanical stress and load on the electrical system. This research aims to analyze the optimization of induction motor performance regarding motor starting current, motor starting torque and power efficiency in terms of a comparison of soft starter and inverter starting methods. Research methods include literature study, observation, data collection, simulation design with ETAP 19.0.1, testing, and analysis of simulation results. The results show that the soft starter increases the current gradually, with a peak current of 351% in 6 seconds and stable at 9 seconds. Meanwhile, the inverter is faster, with a peak current of 263% in 0.67 seconds and stable in 7 seconds. At the motor starting torque, the soft starter increases the torque gradually until it reaches a peak value of 132% and is stable at 7 seconds, while the inverter increases the torque quickly, reaching a peak value of 216.5% and stable at 1.2 seconds. In terms of efficiency, the inverter is superior to using a soft starter. The calculation results using direct measurement data show that the efficiency value of the inverter reaches 92.04%, while the simulation results are 90.18%.

### Article History

Submitted: 6 Juli 2024

Accepted: 11 Juli 2024

Published: 12 Juli 2024

### Key Words

Induction Motor, Starting, Soft Starter, Inverter, Starting Current, Optimization

### Abstrak

Motor induksi merupakan jenis motor listrik yang paling umum digunakan di sektor industri. Aspek penting dari kinerja motor induksi adalah pada saat start-up, arus starting motor dapat mencapai 5 hingga 7 kali dari arus nominal, menyebabkan tekanan mekanis dan beban pada sistem kelistrikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis optimalisasi kinerja motor induksi terhadap arus starting motor, torsi starting motor dan efisiensi daya ditinjau dari perbandingan metode pengasutan soft starter dan inverter. Metode penelitian mencakup studi literatur, observasi, pengumpulan data, perancangan simulasi dengan ETAP 19.0.1, pengujian, dan analisis hasil simulasi. Hasil menunjukkan soft starter meningkatkan arus secara bertahap, dengan arus puncak 351% dalam 6 detik dan stabil pada detik 9. Sedangkan inverter lebih cepat, dengan arus puncak 263% dalam 0,67 detik dan stabil dalam 7 detik. Pada torsi starting motor, soft starter menaikkan torsi bertahap hingga puncak dengan nilai 132% dan stabil di detik 7, sedangkan inverter, menaikkan torsi dengan cepat, mencapai puncak dengan nilai 216.5% dan stabil pada detik 1.2. Dari segi efisiensi inverter lebih unggul dibandingkan dengan penggunaan soft starter. Hasil perhitungan menggunakan data pengukuran langsung menunjukkan nilai efisiensi pada inverter mencapai 92,04%, sedangkan dari hasil simulasi sebesar 90,18%.

### Sejarah Artikel

Submitted: 6 Juli 2024

Accepted: 11 Juli 2024

Published: 12 Juli 2024

### Kata Kunci

Motor Induksi, Pengasutan, Soft Starter, Inverter, Arus Starting, Optimalisasi.

## PENDAHULUAN

Kemajuan sistem tenaga listrik yang berfokus pada kualitas dan keamanan didorong oleh tuntutan masyarakat, perkembangan teknologi, dan kebutuhan akan sistem energi yang berkelanjutan. Pengembangan sistem ini menjadi kebutuhan mendesak untuk memenuhi permintaan masa depan yang kompleks. Integrasi teknologi baru, regulasi yang baik, dan kolaborasi antar pemangku kepentingan adalah kunci utama [1].

Dengan memperhatikan kualitas dan keamanan energi listrik, sektor industri dapat

mengoptimalkan produktivitas, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi risiko kerugian akibat gangguan daya. Jika diabaikan, kedua faktor tersebut dapat memberikan dampak langsung terhadap risiko *loss of production* (kehilangan produksi) dalam sektor industri.

Gangguan atau pemadaman daya listrik dapat menimbulkan berbagai masalah yang berakibat pada penurunan produksi, kerugian finansial, dan kerugian reputasi di dunia industri. Sinergi antara energi listrik dan teknologi memungkinkan perusahaan mencapai kualitas produksi maksimal, meningkatkan efisiensi, akurasi, dan mengurangi kesalahan, yang pada gilirannya meningkatkan daya saing di pasar global.

Motor induksi adalah jenis motor listrik yang paling umum digunakan di sektor industri, berkontribusi signifikan terhadap efisiensi dan produktivitas dengan menggerakkan berbagai peralatan dan mesin. [2] Motor ini menjadi pilihan utama karena biaya produksi yang rendah, konstruksi sederhana, dan ketahanan terhadap kondisi industri yang keras seperti getaran, kelembaban, dan debu [3]. Motor induksi mudah diintegrasikan ke dalam sistem otomatisasi dan kendali industri, serta menunjukkan kinerja efisien, terutama saat beroperasi dengan beban penuh, mendukung upaya keberlanjutan dan efisiensi energi di industri.

Dalam penggunaannya, kinerja motor induksi menjadi fokus utama industri untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dan mengurangi konsumsi energi. Salah satu aspek penting adalah arus *starting* saat *start-up*, yang bisa mencapai 5 hingga 7 kali arus nominal, dapat menimbulkan lonjakan beban dalam sistem kelistrikan [4]. Lonjakan ini dapat menyebabkan fluktuasi tegangan yang mempengaruhi peralatan elektronik dan meningkatkan stres pada transformator.

Arus *start* yang tinggi juga bisa memicu perangkat pelindung listrik, berakibat pada pemadaman sistem [5]. Selain itu, torsi *starting* yang tinggi dapat menyebabkan penurunan tegangan dan meningkatkan risiko slip, mengurangi efisiensi operasional motor [6]. Oleh karena itu, pengoptimalan arus dan torsi *starting* menjadi kunci menjaga kinerja motor induksi pada level optimal

Penelitian sebelumnya yang relevan melibatkan studi oleh Hendri Naldi, dkk (2021) tentang pengaruh pemasangan *soft starter* pada motor induksi tiga fasa di PT Pindo Deli Perawang, yang membandingkan metode *Direct On Line* (DOL) dan *soft starter* serta menghitung karakteristik motor seperti arus dan torsi [7]. Penelitian lain oleh Muhammad Nur Hadi (2023) menganalisis efisiensi daya motor induksi tiga fasa 250 KW dengan *soft starter* untuk menilai kondisi dan kinerjanya menggunakan pendekatan kualitatif dan analisis deskriptif [8].

Dengan pertimbangan tersebut, menjadi jelas betapa pentingnya untuk meningkatkan kinerja motor induksi melalui penerapan metode pengasutan yang sesuai, seperti *soft starter* dan *inverter*. Penelitian ini menggunakan metode simulasi ETAP untuk membandingkan kedua metode pengasutan berdasarkan analisis arus *starting*, torsi *starting*, dan efisiensi daya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan untuk memilih metode pengasutan yang optimal dalam mengoperasikan motor induksi.

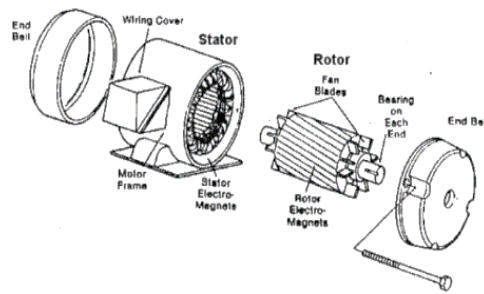
## TEORI

### A. Motor Induksi

Motor induksi adalah jenis motor AC (*Alternating Current*) yang bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus bolak-balik pada gulungan medan stator menciptakan medan magnet yang berputar. Medan magnet tersebut selanjutnya menimbulkan arus induksi pada gulungan rotor yang menyebabkan rotor berputar [9].

Konstruksi umum motor induksi melibatkan beberapa komponen kunci, seperti stator dan rotor. Stator adalah komponen motor induksi yang tidak bergerak dan menciptakan medan magnet konstan. Sedangkan rotor, adalah bagian yang berputar dalam motor. Terdapat dua jenis rotor yaitu rotor tipe sangkar tupai (*squirrel cage rotor*) dan rotor belitan

(*wound rotor*). Berikut adalah gambaran umum konstruksi motor induksi yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi

### B. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana medan magnet berputar yang dihasilkan oleh stator menginduksi arus listrik pada rotor, menghasilkan gerakan rotasional yang digunakan untuk pekerjaan mekanis [10]. Stator dilengkapi dengan gulungan kawat yang terhubung ke sumber daya listrik AC, menghasilkan medan magnet yang berputar di sekitar inti besi stator dan merambat melalui ruang antara stator dan rotor.

Rotasi medan magnet ini menghasilkan fluks magnetik yang memotong kumparan konduktor pada rotor, menginduksi arus listrik sesuai prinsip induksi elektromagnetik Faraday. Arus ini menciptakan medan magnet pada rotor, dan interaksinya dengan medan magnet stator menghasilkan gaya elektromagnetik yang mendorong rotor berputar [11].

### C. Optimalisasi Kinerja Motor Induksi

Optimalisasi kinerja motor induksi adalah suatu proses yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan produktivitas motor induksi dalam berbagai aplikasi [12]. Optimalisasi kinerja motor induksi dari segi arus *starting* melibatkan penggunaan metode pengasutan yang tepat untuk mengurangi arus *starting* yang tinggi. Hal ini dapat mengurangi tekanan pada sistem listrik dan komponen motor, meningkatkan umur pakai motor, dan menghemat energi. Nilai arus *starting* motor dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$I_{start} = \frac{S_{start}}{\sqrt{3} \times V_{phase}}$$

Keterangan :

$I_{start}$  = Arus start

$S_{start}$  = Daya semu pada saat *start* dalam satuan volt-ampere (VA)

$\sqrt{3}$  = Koefisien motor induksi 3 fasa

$V_{phase}$  = Tegangan fase dalam satuan volt (V)

Selain itu, torsi *starting* motor juga menjadi perhatian utama dalam optimalisasi kinerja motor induksi [39]. Torsi *starting* motor adalah torsi maksimum yang diperlukan oleh motor induksi saat pertama kali dihidupkan. Nilai torsi motor dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$T = \frac{5250 \times \text{HP}}{n}$$

Keterangan :

T = Torsi motor (dalam lb-ft)

HP = Daya kuda motor

5250 = Konstanta

$N$  = Kecepatan putar motor (RPM)

Efisiensi daya motor induksi merupakan rasio antara daya output yang dihasilkan oleh motor dengan daya input yang digunakan. Mengoptimalkan efisiensi daya melalui metode pengasutan yang tepat dan memastikan motor beroperasi pada kondisi optimal sangat penting. Nilai efisiensi dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I_{start}}$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P$  = Daya nyata (watt)

$\sqrt{3}$  = Koefisien motor induksi 3 fasa

$V$  = Tegangan ( volt)

$I_{start}$  = Arus *start*

#### D. Metode *Starting*

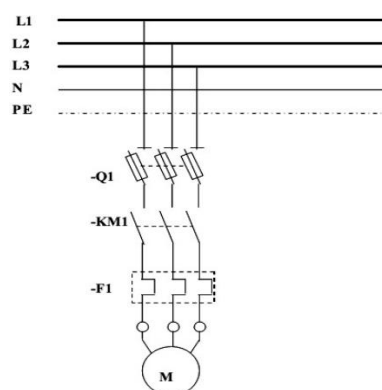
Metode *starting* pada motor induksi tiga fasa digunakan saat awal motor dihidupkan untuk memastikan proses *starting* berjalan aman dan efisien, mengurangi lonjakan arus, melindungi motor serta sistem listrik dari kerusakan, dan memberikan kontrol tepat terhadap percepatan motor agar dapat memulai operasi dengan mulus sesuai kebutuhan aplikasi dan beban [13].

#### E. Jenis Metode *Starting*

##### 1. *Direct On Line* (DOL)

Metode *Direct On Line* (DOL) adalah metode pengasutan yang umum digunakan untuk menghidupkan motor listrik, terutama motor induksi dengan spesifikasi kecil, dengan cara memberikan tegangan penuh dari sumber daya listrik langsung ke motor saat pertama kali dihidupkan.

Metode ini sering digunakan pada industri kecil untuk menghidupkan motor pada peralatan produksi atau peralatan kerja lainnya, tanpa memerlukan pengaturan atau penurunan tegangan saat *starting* [14]. Gambar rangkaian *Direct On Line* (DOL) dapat dilihat pada Gambar 2.



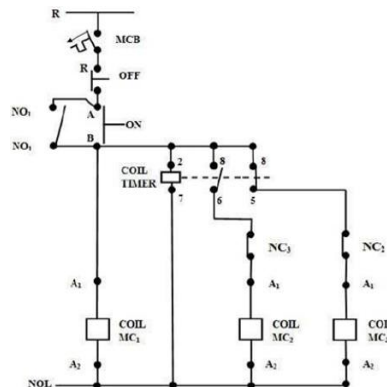
Gambar 2 Rangkaian *Direct On Line* (DOL)

##### 2. *Star Delta*

Metode *Star Delta* adalah metode *starting* yang sering digunakan pada motor induksi tiga fasa dengan daya besar, bekerja dengan mengurangi tegangan masuk ke kumparan motor. Motor ini memiliki enam terminal, umumnya ditandai sebagai R, S,

dan T, yang dibagi untuk konfigurasi *star* (bintang) dan *delta* (segitiga).

Saat *start*, motor dihubungkan dalam konfigurasi bintang untuk mengurangi lonjakan arus awal, dan setelah mencapai kecepatan cukup, konfigurasi dialihkan menjadi *delta* untuk operasi normal pada beban penuh [15]. Gambar rangkaian *star delta* dapat dilihat pada Gambar 3.

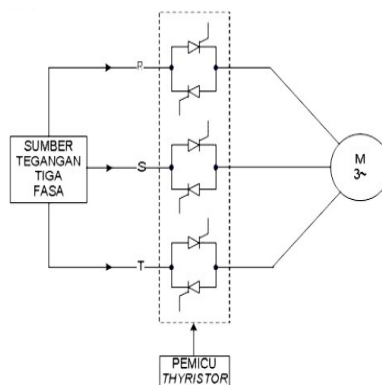


Gambar 3. Rangkaian *Star Delta*

### 3. *Soft Starter*

*Soft starter* adalah metode pengasutan motor induksi yang mengurangi tegangan secara bertahap untuk memberikan *start* yang lebih halus dan mengurangi lonjakan arus awal. Metode ini menggunakan *thyristor* atau SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) dan sirkuit kontrol pemacu untuk mengatur arus yang mengalir ke motor [16].

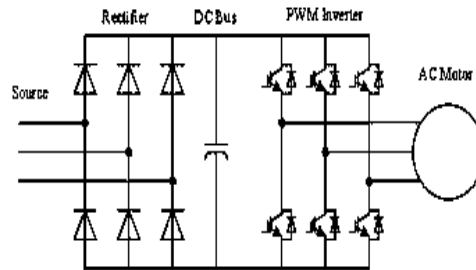
Prinsip dasar *soft starter* adalah mengubah bentuk gelombang input dan ukuran RMS yang diberikan kepada motor selama pengasutan, dengan mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah, kemudian mengembalikannya menjadi arus bolak-balik menggunakan *inverter* [17]. Gambar rangkaian *soft starter* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian *Soft Starter*

### 4. *Inverter*

*Frequency Drive*, atau *Variable Speed Drive* (VSD), *Variable Frequency Drive* (VFD), atau *Inverter*, adalah metode *starting* yang mengurangi penggunaan daya besar pada motor induksi, terutama tiga fasa. Selain mengurangi daya, VFD juga dapat mengubah arah putar motor tanpa membalik salah satu sumber fasa [18]. Gambar rangkaian *Frequency Drive (Inverter)* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *Frequency Drive (Inverter)*

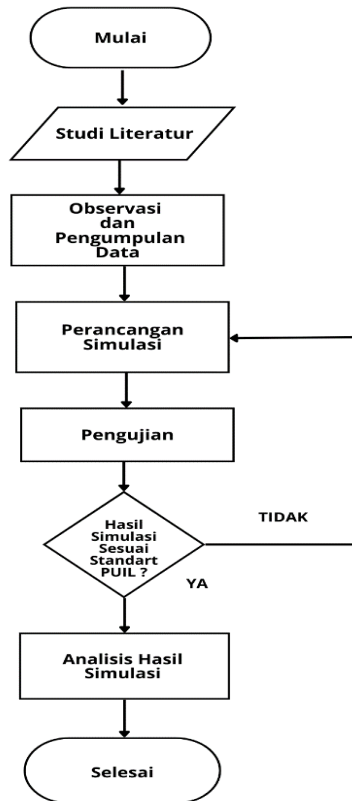
Metode ini bekerja dengan mengubah tegangan dan frekuensi masukan motor listrik. VFD terdiri dari perangkat penyearah yang mengubah tegangan AC menjadi DC, dan perangkat *inverter* yang mengonversi arus DC kembali menjadi AC sesuai frekuensi yang diinginkan [19]. Proses ini sering melibatkan penggunaan *rectifier dioda* atau *thyristor*, serta tandon kapasitor untuk menyamakan tegangan DC, sebelum *inverter* mengubahnya kembali menjadi AC menggunakan metode *Pulse Width Modulation (PWM)*. Gambar rangkaian *Frequency Drive (Inverter)* dapat dilihat pada Gambar 5.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yang menekankan pengumpulan dan analisis data berupa angka untuk menjawab pertanyaan penelitian atau menguji hipotesis, menghasilkan data yang dapat diukur secara objektif untuk menyusun kesimpulan berdasarkan bukti empiris. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memanipulasi variabel independen dan mengamati efeknya pada variabel dependen dalam kondisi terkontrol, serta menggunakan simulasi ETAP 19.0.1 untuk meniru perilaku dan kinerja sistem nyata guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam [20].

### A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah tahapan awal dalam pelaksanaan penelitian yang bertujuan merencanakan, menyusun, dan mengarahkan jalannya penelitian. Hal ini membantu peneliti memahami secara rinci cara mengumpulkan data, melakukan analisis, dan menyusun kesimpulan. Adapun rancangan penelitian mengenai optimisasi kinerja motor induksi ditinjau dari perbandingan metode pengasutan *soft starter* dan *inverter* dapat diuraikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Rancangan Penelitian

## B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data melibatkan langkah-langkah sistematis untuk memahami kinerja motor dalam dua kondisi pengasutan berbeda dengan mengukur arus, tegangan, daya, dan kecepatan putar motor serta mengamati perubahan besaran listrik tersebut. Berikut adalah data spesifikasi motor induksi tiga fasa yang menjadi objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel I.

Tabel I  
Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa

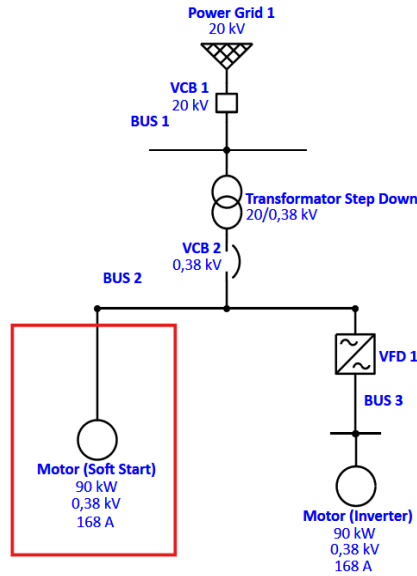
<b>Daya</b>	90 kW
<b>Tegangan</b>	380 V
<b>Frekuensi</b>	50 Hz
<b>Rpm</b>	1480 rpm
<b>Arus</b>	168 A
<b>Cos <math>\phi</math></b>	0,86
<b>Kutub</b>	4
<b>Tipe Rotor</b>	Rotor Belit ( <i>Twisted Rotor</i> )

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Optimalisasi Kinerja Motor Induksi Terhadap Arus *Starting*

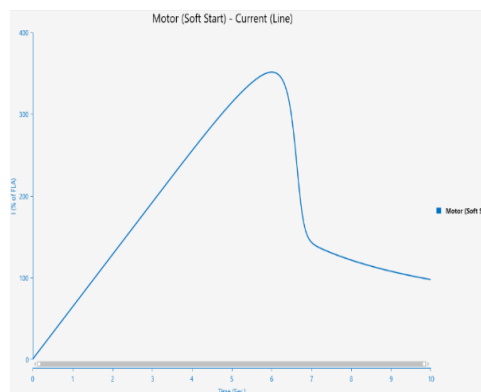
#### 1. Hasil Simulasi Arus *Starting* Menggunakan Metode Pengasutan *Soft Starter*

Rangkaian simulasi metode pengasutan *soft starter* menggunakan ETAP 19.0.1 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Simulasi Metode Pengasutan *Soft Starter*

Hasil grafik arus *starting* pada motor induksi tiga fasa menggunakan metode pengasutan *soft starter* dapat dilihat pada Gambar 8.

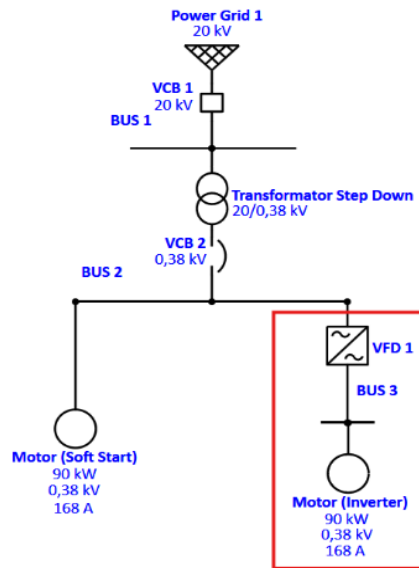


Gambar 8. Grafik Arus *Starting* Pada *Soft Starter*

Pada Gambar 8 terlihat bahwa saat motor mulai berputar pada detik 0 arus mulai naik secara bertahap hingga mencapai arus tertinggi pada detik 6 dengan besar arus mencapai 3 (tiga) kali lipat dari arus nominal yaitu sebesar 351%, kemudian pada detik 7 arus mulai turun secara perlahan sampai dengan detik 9 untuk mencapai kondisi normal atau stabil.

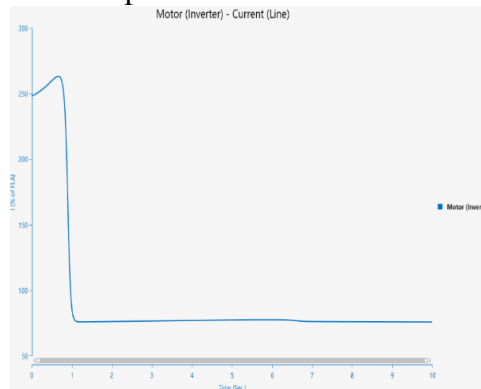
## 2. Hasil Simulasi Arus *Starting* Menggunakan Metode Pengasutan *Inverter*

Rangkaian simulasi metode pengasutan *inverter* menggunakan ETAP 19.0.1 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Simulasi Metode Pengasutan *Inverter*

Hasil grafik arus *starting* pada motor induksi tiga fasa menggunakan metode pengasutan *inverter* dapat dilihat pada Gambar 10.



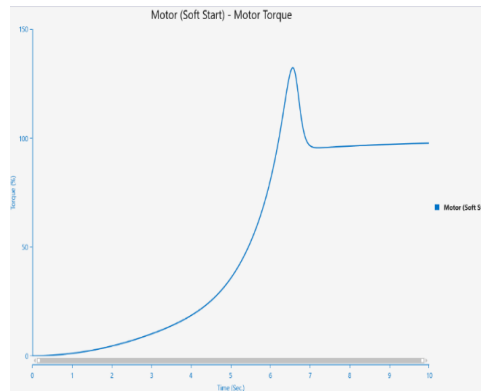
Gambar 10. Grafik Arus *Starting* Pada *Inverter*

Pada Gambar 10 terlihat pada detik 0 arus *starting* langsung mengalami peningkatan sebesar 248% dan terus meningkat hingga mencapai arus puncak pada detik 0,67 dengan nilai arus sebesar 263%. Setelah detik tersebut arus mulai mengalami penurunan secara bertahap sampai dengan detik 1 dan arus kembali dalam kondisi normal atau stabil di detik 7.

## B. Optimalisasi Kinerja Motor Induksi Terhadap Torsi *Starting*

### 1. Hasil Simulasi Torsi *Starting* Menggunakan Metode Pengasutan *Soft Starter*

Hasil grafik torsi pada motor induksi tiga fasa menggunakan metode pengasutan *soft starter* dapat dilihat pada Gambar 11.

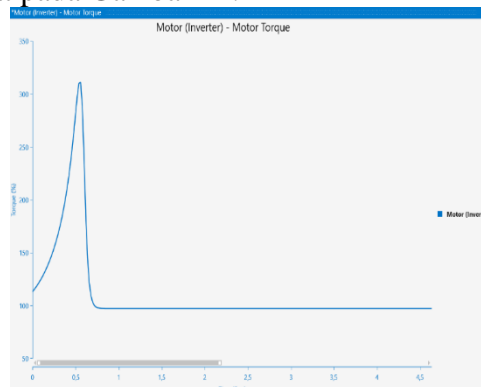


Gambar 11. Grafik Torsi Motor Pada *Soft Starter*

Pada Gambar 11 dapat dilihat pada detik 0 torsi mulai naik secara bertahap hingga mencapai torsi maksimum dengan nilai sebesar 132% pada detik 6.57, kemudian setelah detik tersebut torsi mulai mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai kondisi stabil pada detik 7.

## 2. Hasil Simulasi Torsi *Starting* Menggunakan Metode Pengasutan *Inverter*

Hasil grafik torsi pada motor induksi tiga fasa menggunakan metode pengasutan *inverter* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik Torsi Motor Pada *Inverter*

Pada Gambar 12 diketahui bahwa saat motor menyala pada detik 0 torsi awal langsung mengalami peningkatan sebesar 82,3% dan terus meningkat hingga mencapai torsi maksimum dengan nilai sebesar 216,5% di detik 0,84 dan setelah detik tersebut torsi mulai mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai kondisi stabil pada detik 1,2.

## C. Optimalisasi Kinerja Motor Induksi Terhadap Efisiensi Daya

Efisiensi motor induksi mengukur seberapa baik motor mengubah energi listrik menjadi energi mekanis dengan sedikit kehilangan energi. Semakin tinggi efisiensi, semakin baik kinerja motor. Pengukuran arus *start*, yang dilakukan secara langsung dengan alat pengukur arus dan menggunakan simulasi ETAP 19.0.1, penting untuk meningkatkan efisiensi sistem selama fase *start*.

Hasil pengukuran langsung menunjukkan bahwa motor induksi menghasilkan arus *start* lebih tinggi dari arus nominal karena beban fluida gas. Beban fluida gas seperti kompresor atau pompa sering memberikan resistensi tinggi pada awal operasi karena gas memerlukan energi besar untuk proses kompresi atau pemindahan awal.

Perbandingan data arus *start* menggunakan pengukuran langsung dan metode simulasi pada metode pengasutan *soft starter* dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II  
Perbandingan Data Arus *Start* Menggunakan Pengukuran Langsung Dan Metode Simulasi Pada Metode Pengasutan *Soft Starter*

Kondisi Beban	Arus <i>Start</i> (Pengukuran Langsung)	Arus <i>Start</i> (Metode Simulasi)
1	152,72	147,4
2	187,16	225,4
3	301,25	340,6
4	412,37	427,1
5	525,21	513,2
6	557,17	388,5
7	285,10	241,7
8	240,74	214,5
9	182,66	189,8
10	165,92	162,4

Perbandingan data arus *start* menggunakan pengukuran langsung dan metode simulasi pada metode *inverter* dapat dilihat pada Tabel III.

Tabel III  
Perbandingan Data Arus *Start* Menggunakan Pengukuran Langsung Dan Metode Simulasi Pada Metode Pengasutan *Inverter*

Kondisi Beban	Arus <i>Start</i> (Pengukuran Langsung)	Arus <i>Start</i> (Metode Simulasi)
1	273,43	346,6
2	296,81	289,7
3	248,24	257,5
4	195,17	243,9
5	188,52	193,4
6	179,62	182,6
7	167,49	165,2
8	159,72	155,9
9	153,36	152,4
10	148,73	151,8

#### 1. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Pengasutan *Soft Starter*

Nilai efisiensi dapat ditentukan menggunakan rumus berikut :

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I_{start}} \times 100\%$$

Keterangan:

H = Effisiensi motor (%)

P = Daya nyata (watt)

$\sqrt{3}$  = Koefisien motor induksi 3 fasa

$V$  = Tegangan (volt)

$I_{start}$  = Arus start

Sehingga diperoleh:

- a. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Data Arus *Start* Dari Pengukuran Langsung

$$\eta = \frac{90000 \text{ watt}}{1,73 \times 380 \times 165,92} \times 100\% = 82,51\%$$

- b. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Data Arus *Start* Dari Metode Simulasi

$$\eta = \frac{90000 \text{ watt}}{1,73 \times 380 \times 162,40} \times 100\% = 84,29\%$$

2. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Pengasutan *Inverter*

Nilai efisiensi dapat ditentukan menggunakan rumus berikut :

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times I_{start}} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi motor (%)

$P$  = Daya nyata (watt)

$\sqrt{3}$  = Koefisien motor induksi 3 fasa

$V$  = Tegangan (volt)

$I_{start}$  = Arus start

Sehingga diperoleh:

- a. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Data Arus *Start* Dari Pengukuran Langsung

$$\eta = \frac{90000 \text{ watt}}{1,73 \times 380 \times 148,73} \times 100\% = 92,04\%$$

- b. Hasil Perhitungan Efisiensi Menggunakan Data Arus *Start* Dari Metode Simulasi

$$\eta = \frac{90000 \text{ watt}}{1,73 \times 380 \times 151,80} \times 100\% = 90,18\%$$

## SIMPULAN

- Berdasarkan analisis arus *starting*, *soft starter* menunjukkan keunggulan dibandingkan *inverter* dalam hal lonjakan arus yang lebih bertahap atau halus. *Soft starter* meningkatkan arus secara bertahap, mencapai puncak dengan nilai sebesar 351% dari arus nominal dalam waktu 6 detik, dan kemudian menurun secara perlahan hingga stabil pada detik 9. Sebaliknya, *inverter* menunjukkan peningkatan arus yang lebih cepat, mencapai puncak dengan nilai sebesar 263% dari arus nominal dalam 0,67 detik dan stabil dalam 7 detik. Dengan lonjakan arus yang bertahap, *soft starter* memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap komponen motor dan jaringan listrik, mengurangi risiko kerusakan akibat lonjakan arus mendadak.
- Pada torsi *starting* motor, *soft starter* dan *inverter* memiliki karakteristik torsi *starting* yang berbeda, yang mempengaruhi kinerja dan aplikasi masing-masing. *Soft starter* menunjukkan peningkatan torsi yang bertahap, mencapai puncak dengan nilai sebesar 132% dari torsi nominal pada detik 6.57, dan stabil pada detik 7. Torsi *starting* yang halus dan bertahap pada *soft starter* berfungsi untuk mengurangi stres mekanis, mengurangi getaran dan kebisingan, meningkatkan, mengurangi lonjakan arus listrik, memperpanjang umur motor, serta meningkatkan efisiensi energi. Sedangkan dalam penggunaan *inverter*, menunjukkan peningkatan torsi yang cepat, mencapai puncak dengan nilai mencapai 216.5% dari torsi nominal pada detik 0.84, dan stabil pada detik 1.2. Peningkatan torsi yang cepat ini bermanfaat untuk aplikasi yang membutuhkan respons cepat dan tinggi terhadap perubahan beban.

3. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, meskipun penggunaan metode pengasutan *soft starter* lebih unggul dalam mengatasi lonjakan arus dan torsi *starting* pada motor induksi, nilai efisiensi dari penggunaan *soft starter* cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan *inverter*. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *inverter* dari segi efisiensi lebih baik dibandingkan dengan penggunaan metode *soft starter*. Dari hasil perhitungan menggunakan data pengukuran langsung didapatkan nilai efisiensi menggunakan metode pengasutan *inverter* sebesar 92,04%. Sedangkan, dari hasil perhitungan menggunakan data simulasi diperoleh nilai sebesar 90,18%.

## REFERENSI

- [1] Q. H. Wu, Y. Lin, C. Hong, Y. Su, T. Wen, and Y. Liu, "Transient Stability Analysis of Large-scale Power Systems: A Survey," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 1284–1300, 2023, doi: 10.17775/CSEEJPES.2022.07110.
- [2] K. Yatsugi, S. E. Pandarakone, Y. Mizuno, and H. Nakamura, "Common Diagnosis Approach to Three-Class Induction Motor Faults Using Stator Current Feature and Support Vector Machine," *IEEE Access*, vol. 11, no. March, pp. 24945–24952, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3254914.
- [3] D. Perduková, P. Palacký, P. Fedor, P. Bober, and V. Fedák, "Dynamic Identification of Rotor Magnetic Flux, Torque and Rotor Resistance of Induction Motor," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 142003–142015, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013944.
- [4] J. Yuan, C. Wang, Y. Zhu, and B. Chen, "A Novel Soft Start Method of Super Large Capacity High Voltage Motor," *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 3, no. 3, pp. 302–308, 2019, doi: 10.30941/CESTEMS.2019.00040.
- [5] A. A. Menaem, M. Elgamal, A. H. Abdel-Aty, E. E. Mahmoud, Z. Chen, and M. A. Hassan, "A Proposed ANN-Based Acceleration Control Scheme for Soft Starting Induction Motor," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4253–4265, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3046848.
- [6] Armansyah and Z. Pelawi, "Analisis Perbandingan Arus Motor Induksi Rotor Sangkar Dua Kutub Dengan Empat Kutub," *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 127–135, 2021.
- [7] H. Naldi, E. Zondra, and H. Yuwendius, "Studi Pengaruh Pemasangan Soft Stater Motor Induksi Tiga Fasa Pada Tisu Machine di PT. Pindo Deli Perawang," *J. Tek.*, vol. 15, no. 2, pp. 104–112, 2021, doi: 10.31849/teknik.v15i2.6169.
- [8] M. N. Hadi, "Analisis Effisiensi Daya Motor Induksi 3 fasa 250KW Dengan Soft Starter," pp. 1676–1685, 2023, [Online]. Available: <https://snhrp.unipasby.ac.id/prosiding/index.php/snhrp/article/view/736>.
- [9] M. Muhammad, E. Yuniarti, S. Sofiah, A. Saputra, and A. Pani, "Performa Motor Induksi Satu Fasa Sebagai Penggerak Mesin Pengereng," *J. Tekno*, vol. 18, no. 2, pp. 1–10, 2021, doi: 10.33557/jtekn.v18i2.1469.
- [10] M. Naim, "Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Modifikasi Jumlah Kutub Pada Motor Induksi 3 Fasa 36 Alur," vol. 8, no. 1, pp. 23–29, 2016.
- [11] A. Anton and T. Angraini, "Unjuk Kerja Dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa," *Elektron J. Ilm.*, vol. 5, no. 2, pp. 87–92, 2013, doi: 10.30630/eji.5.2.59.
- [12] J. Zhang *et al.*, "Optimization and Experimental Validation of Amorphous Alloy High-Speed Asynchronous Motor for Simultaneous Reduction on Core and Copper Losses," *IEEE Access*, vol. 11, no. August, pp. 101112–101122, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3312992.
- [13] N. Cahyo Edy Wibowo, W. Handajadi, and Syafriyudin, "Analisa Starting Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Program Di PT Madubaru Yogyakarta," *J. Elektr.*, vol. 1, no. 1, pp. 91–100, 2014, [Online]. Available:

<https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/2586/1994>.

- [14] M. Ivan Putra Naibaho, I. K. Wijaya, and I. M. Mataram, “Studi Analisis Perbandingan Metode Starting Direct on Line (Dol) Dan Variabel Speed Drive (Vsd) Pada Motor Fan Untuk Cooling Tower Di Pt. Rapp (Riau Andalan Pulp Paper),” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 268, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p30.
- [15] Y. Shuai, D. Jiang, Z. Chen, Z. Liu, H. Sun, and P. Li, “Study of Star-Delta Soft Switch to Extend AC Motor High Speed Operation Region,” *CES Trans. Electr. Mach. Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 248–255, 2023, doi: 10.30941/CESTEMS.2023.00049.
- [16] S. F. Rabbi, J. T. Kahnamouei, X. Liang, and J. Yang, “Shaft failure analysis in soft-starter fed electrical submersible pump systems,” *IEEE Open J. Ind. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1109/OJIA.2019.2956987.
- [17] P. Jang, B. J. Hyon, D. Y. Hwang, J. S. Park, J. H. Choi, and J. H. Kim, “The Seamless Transition from Discrete Frequency Control to Phase Control Method Using Soft Starter,” *IEEE Access*, vol. 12, no. January, pp. 13469–13476, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3352635.
- [18] T. L. Short *et al.*, “Primary Frequency Control Using Motor Drives for Short Term Grid Disturbances,” *IEEE Open J. Ind. Appl.*, vol. 2, no. December 2020, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1109/OJIA.2021.3055415.
- [19] X. Yang, Y. Fang, Y. Fu, Y. Mi, H. Li, and Y. Wang, “Low-Complexity Model Predictive Control of AC/DC Converter with Constant Switching Frequency,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 137975–137985, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012163.
- [20] M. Arsyam and M. Yusuf Tahir, “Ragam Jenis Penelitian dan Perspektif,” *Al-Ubudiyah J. Pendidik. dan Stud. Islam*, vol. 2, no. 1, pp. 37–47, 2021, doi: 10.55623/au.v2i1.17.