

# Studi Analisa Motor Induksi Tiga Fasa dengan Sumber Tegangan Satu Fasa

**Author:**

Sandy Permana Arsel<sup>1</sup>  
Rosnita Rauf<sup>2</sup>  
Budiman<sup>3</sup>

**Affiliation:**

Universitas Ekasakti<sup>1,2,3</sup>

**Corresponding email**

[sandypermanaarsel@gmail.com](mailto:sandypermanaarsel@gmail.com)

**Histori Naskah:**

Submit: 2025-10-08

Accepted: 2025-10-24

Published: 2025-10-26



*This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License*

**Abstrak:**

Motor induksi tiga fasa umumnya dioperasikan menggunakan sumber daya tiga fasa. Untuk mengatasi permasalahan dalam sistem daya tiga fasa, sumber daya satu fasa dapat digunakan untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa. Mengoperasikan motor induksi tiga fasa dengan sumber daya satu fasa dapat dilakukan dengan membuat rangkaian yang mirip dengan yang ada pada motor induksi kapasitor satu fasa. Kumparan utama dikenal sebagai kumparan (V-Y) dan (W-Z), sedangkan kumparan sekunder disebut sebagai kumparan (U-X). Tujuan penelitian ini memahami prinsip kerja motor induksi tiga fasa, dapat menganalisa hasil percobaan motor induksi yang dihubungkan dengan sumber tiga fasa maupun terhubung dengan sumber satu fasa, serta membandingkan pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan sumber tiga fasa maupun dengan satu fasa. Penelitian memutuskan untuk menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan teknik pengambilan data observasi dan deskriptif. Metodologi penelitian agar sistematis dan terarah sesuai dengan diagram flowchart. Penjabaran rangkaian ekivalennya sama dengan rangkaian ekivalen motor induksi satu fasa running kapasitor. Jadi persamaan yang dipakai dalam menganalisisnya adalah persamaan motor induksi running kapasitor. Pada penelitian ini menggunakan motor induksi tiga fasa, 220/380  $\Delta/Y$  Volt, 4,7/2,7 Ampere, 50 Hz, 1000 Watt dengan nilai  $\cos \phi$  0,76. Dari hasil penelitian yang dilakukan pada motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa pada saat kondisi beban 180 Watt. Di dapat nilai torsi sebesar 0,88 N.m, arus masuk 2,90 Ampere, daya masuk 421,08 Watt,  $\cos \phi$  0,66 dan efisiensi yang dihasilkan sebesar 37%.

**Kata kunci:** Efisiensi; Induksi; Satu fasa; Tiga fasa

## Pendahuluan

Motor induksi digunakan secara luas dalam berbagai bidang kehidupan manusia saat ini. Sejak motor ini diperkenalkan pada abad ke-19, terus terjadi perbaikan dan pengembangan, termasuk penggunaan rotor sangkar yang mulai diperkenalkan pada masa itu. Sampai sekarang, perkembangan terus terjadi dalam cara motor ini bekerja. Motor induksi sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tenaga tiga fasa dan banyak di gunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar.

Menurut (Christianto, 2013) Pada saat ini pengoperasian motor induksi tiga fasa pada sistem tenaga listrik satu fasa sangat di butuhkan terlebih pada daerah yang banyak terdapat industri kecil atau industri rumahan dan pada daerah tertentu yang hanya mempunyai sistem tenaga listrik satu fasa, sedangkan mereka membutuhkan motor penggerak dengan daya yang besar (motor induksi tiga fasa) yang secara normal harus

dioperasikan pada sistem tenaga listrik tiga fasa. Salah satu cara agar motor induksi tiga fasa dengan menggunakan kapasitor.

Sejalan dengan penelitian (Christianto, 2013) “Pengoperasian motor induksi 3 fasa menggunakan sistem tenaga 1 fasa”. Pada penelitian ini, untuk menunjang kinerja motor induksi 3 fasa dengan sistem kelistrikan 1 fasa ditambah dengan sensor arus ACS758 untuk mengukur nilai arus dari beban yang digunakan. Ketika sensor arus ACS758 mendeteksi adanya arus yang lewat, maka akan ditampilkan nilai arus tersebut pada LCD yang tersedia untuk memudahkan user dalam pembacaan nilai arus yang terukur. Motor induksi dapat bekerja dengan baik dan normal dengan sistem kelistrikan 1 fasa menggunakan rangkaian motor kapasitor. Pengukuran dengan sensor arus tersebut memiliki error dibawah 3%.

Sejalan dengan penelitian (Reza & Jannah, 2021) mengenai “Analisa Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Menggunakan Sumber Satu Fasa”. Penelitian ini menjelaskan bahwa untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa pada sistem tenaga satu fasa dengan menggunakan kapasitor dapat dilakukan dengan cara membuat rangkaian seperti menyambungkan pada rangkaian motor induksi satu fasa jenis motor kapasitor.

Meskipun motor induksi tiga fasa banyak digunakan di industri karena efisiensi dan torsi awal yang tinggi, penggunaannya di daerah dengan keterbatasan pasokan listrik tiga fasa masih menjadi kendala. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas metode pengoperasian motor tiga fasa menggunakan sumber satu fasa, seperti penggunaan kapasitor fasa-bantu, inverter, atau konverter fasa. Namun, masih terdapat beberapa celah penelitian yang belum sepenuhnya terjawab, antara lain: Keterbatasan efisiensi dan performa motor: Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa saat motor tiga fasa dioperasikan dengan sumber satu fasa, terjadi penurunan torsi dan efisiensi. Namun, belum banyak studi yang menganalisis secara detail pengaruh variasi nilai kapasitor terhadap torsi, arus, dan efisiensi motor secara eksperimental dan simulatif. Kurangnya analisis komprehensif antara metode konversi fasa : Sebagian besar studi hanya berfokus pada satu metode konversi (misalnya kapasitor run-start), tanpa membandingkan hasil performa dengan metode lain seperti konverter elektronik daya (inverter atau phase converter). Sehingga belum ada kajian menyeluruh tentang perbandingan kinerja dan keandalan tiap metode dalam kondisi beban berbeda. Minimnya penelitian berbasis simulasi dan validasi eksperimental : Banyak penelitian hanya terbatas pada simulasi (misalnya dengan MATLAB/Simulink atau Proteus) tanpa validasi data hasil pengujian langsung pada motor sebenarnya. Hal ini membuat hasil analisa belum sepenuhnya representatif terhadap kondisi nyata di lapangan. Belum adanya studi spesifik untuk kondisi kelistrikan di Indonesia: Di Indonesia, ketersediaan sumber tiga fasa di daerah pedesaan terbatas. Namun, penelitian lokal yang mengkaji modifikasi sistem motor tiga fasa agar dapat dioperasikan dengan suplai satu fasa rumah tangga (220 V) masih sedikit.

Berdasarkan kondisi ini masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis performa motor induksi tiga fasa yang dioperasikan menggunakan sumber satu fasa dengan variasi metode konversi dan nilai kapasitor, baik secara simulatif maupun eksperimental, guna mendapatkan kinerja optimal pada kondisi pasokan daya terbatas.

## **Studi Literatur**

### **Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor induksi tiga fasa merupakan komponen yang penting dari berbagai industri dan telah banyak digunakan di mesin-mesin industri sebagai penggerak. Hal ini dikarenakan motor induksi tiga fasa memiliki kelebihan dari segi teknis dan segi ekonomis (Novianto et al., 2022).

Motor induksi 3 fasa merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip induksi. Motor induksi dibagi menjadi dua berdasarkan jumlah fasanya, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa (Novianto et al., 2022)

Motor induksi adalah jenis motor arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan. Pada motor ini, terdapat arus bolak balik baik di lilitan stator maupun lilitan rotor. Contoh sederhananya adalah motor induksi yang arus bolak baliknya langsung diberikan ke stator, sedangkan arus pada rotor dihasilkan melalui proses induksi, mirip seperti cara kerja transformator. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan dalam industri, karena konstruksinya yang kokoh, tak begitu mahal, dan membutuhkan sedikit pemeliharaan. Ukurannya dari beberapa watt sampai 10.000 HP. Motor induksi yang besar biasanya didesain untuk dioperasikan dengan sistem tiga fasa untuk menjaga kesetimbangan beban dalam sistem. Kecepatan biasanya konstan, turun sedikit beberapa persen dari beban nol pada saat dioperasikan dalam keadaan beban normal.

### Prinsip Kerja Motor Induksi

Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksibolak-balik yang berubah-ubah. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa. Akibat fluksi yang berputar timbul gaya gerak listrik pada stator motor yang besarnya (Novianto et al., 2022) Adalah:

$$E_r = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \text{ (perphasa) }_{\text{volt}}$$

Keterangan:

$E_r$  = tegangan induksi pada saat rotor berputar (Volt)

$f_2$  = Frekuensi stator (Hz)

$N_2$  = Jumlah lilitan kumparan rotor

$\Phi_m$  = Fluksi maksimum (Wb)

Slip timbul karena perbedaan perputaran medan putar stator dan perputaran rotor. Bertambahnya beban, akan memperbesar slip motor, oleh karena itu arus induksi pada rotor juga akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah putaran rotor cenderung menurun.

$$N_{slip} = N_s - N_r$$

$$N_r = (1 - s) N_s \quad \text{Rpm}$$

$$\omega_m = (1 - s) \omega_s \quad \text{rad/s}$$

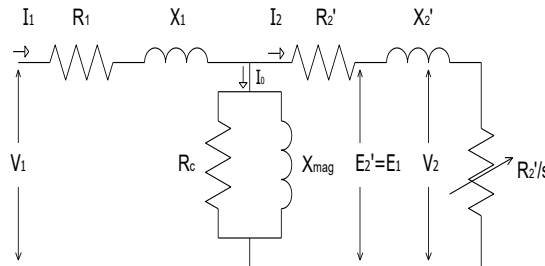
$$\omega_s = N_s 2\pi / 60 \quad \text{rad/s}$$

### Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Sumber Tiga Fasa

#### Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Secara prinsip, proses induksi yang berlangsung di motor induksi hampir serupa dengan transformator yang memiliki beban resistif, sehingga representasi rangkaian ekuivalen motor induksi didasarkan pada

rangkaian ekivalen transformator, di mana stator mirip dengan sisi primer transformator dan rotor menyerupai sisi sekunder transformator. Perbedaan utama antara keduanya adalah transformator adalah mesin listrik yang statis, sementara motor induksi adalah mesin listrik yang dinamis



Gambar 1. Rangkaian ekivalen motor induksi

Analisis motor induksi tiga fasa dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian ekivalen satu fasa, yang terdiri dari:  $R_1$  = tahanan stator;  $R_2'/s$  = tahanan rotor yang diproyeksikan ke stator;  $X_1, X_2'$  = reaktansi stator dan rotor;  $X_m$  = reaktansi magnetisasi. Melalui rangkaian ini, dapat dihitung daya input, daya keluaran, rugi-rugi tembaga dan besi, serta efisiensi motor secara keseluruhan.

impedansi ekivalen pada sisi rotor adalah sebagai berikut :

$$z_2 = R_2'/s + jX_2'$$

### Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa

impedansi total pada stator dan rotor adalah :

$$Z_{in} = z_1 + Z_f = R_1 + jX_1 + R_f + jX_f \quad \text{Ohm}$$

Dan besarnya arus pada stator adalah :

$$I_1 = \frac{V_f}{Z_{in}} \quad \text{Ampere}$$

**Efisiensi** motor dipengaruhi oleh rugi-rugi pada tembaga stator, inti besi, dan gesekan mekanis. Efisiensi dihitung dari perbandingan daya keluaran terhadap daya masukan setelah memperhitungkan rugi-rugi tersebut. Motor induksi tiga fasa juga bisa dioperasikan dengan sumber satu fasa menggunakan kapasitor sebagai pembangkit fasa bantu. Kapasitor ini menciptakan perbedaan sudut fasa antara kumparan utama dan bantu agar timbul medan putar semu. Namun, kinerja motor menurun: Efisiensi dan torsi berkurang; Arus meningkat; Faktor daya menurun. Motor jenis ini hanya cocok untuk beban ringan karena ketidakseimbangan medan magnet membuat panas meningkat dan efisiensi turun.

Sehingga efisiensi motor induksi adalah :

$$\eta (\%) = \frac{P_o}{P_{in}} \times 100\%$$

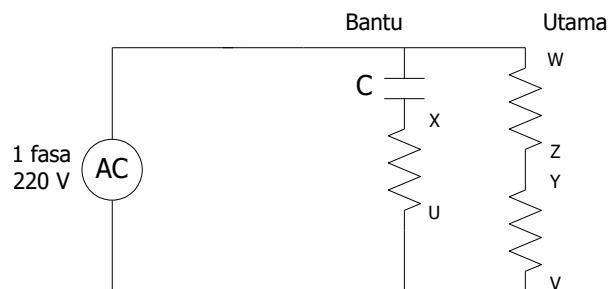
Ketika motor induksi tiga fasa dioperasikan dengan sumber satu fasa, hanya dua belitan stator yang menghasilkan medan magnet. Agar motor tetap berputar, digunakan kapasitor sebagai fasa bantu untuk menciptakan pergeseran sudut fase. Namun, medan magnet yang dihasilkan tidak seimbang, sehingga torsi dan efisiensi berkurang. Kinerja motor juga bergantung pada nilai kapasitor. Jika kapasitor terlalu kecil, torsi awal lemah; jika terlalu besar, arus meningkat dan motor menjadi panas. Oleh karena itu, operasi dengan sumber satu fasa hanya disarankan untuk beban ringan dan waktu operasi singkat.

### Pengoperasian Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Sumber Satu Fasa

Untuk mengoperasikan motor induksi tiga fasa secara normal dan langsung hanya dengan sistem tenaga listrik satu fasa dengan menambahkan kapasitor. Dalam mengoperasikan motor induksi tiga fasa, kapasitor diletakkan pada sisi kumparan bantu (impedansi lebih besar). Kapasitor yang digunakan, diserikan dengan dua kumparan motor (kumparan U dan W). Dengan penambahan kapasitor tersebut, sama saja dengan mengubah rangkaian kumparan motor induksi tiga fasa menjadi motor induksi satu fasa jenis motor kapasitor (Reza & Jannah, 2021).

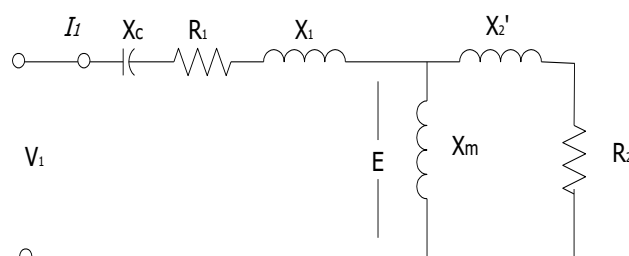
Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan dengan sumber satu fasa dengan cara membuat rangkaian motor induksi tiga fasa menjadi seperti rangkaian motor induksi satu fasa (motor kapasitor). Dimana dua buah kumparan bertindak sebagai kumparan utama, sedangkan kumparan yang satunya lagi bertindak sebagai kumparan bantu. Agar diperoleh perbedaan fasa arus pada kedua sisi kumparannya, dapat dilakukan dengan memasang seri sebuah kapasitor pada kumparan bantu.

Kapasitor yang dipasang seri terhadap kumparan bantu berfungsi untuk menimbulkan perbedaan fasa antara kumparan utama dengan kumparan bantu pada motor induksi pada sistem tenaga satu fasa. Motor induksi tiga fasa yang dioperasikan pada sistem satu fasa dengan menggunakan kapasitor ini dapat dianalisa seperti rangkaian motor running kapasitor karena prinsip kedua rangkaian motor ini sama. Bentuk gambar rangkaian pengoperasian motor induksi dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Rangkaian pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa.

Penjabaran rangkaian ekuivalen satu fasanya sama dengan rangkaian ekuivalen dengan motor induksi satu fasa running kapasitor.



*Gambar 3. Rangkaian ekivalen motor induksi dengan kapasitor*

Sedangkan pada motor induksi satu fasa terdapat dua buah medan saat dioperasikan yaitu medan putar maju dan medan putar mundur.

Penelitian ini berjudul “Studi Analisa Motor Induksi Tiga Fasa dengan Sumber Tegangan Satu Fasa”. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas mengenai kinerja motor induksi tiga fasa yang dioperasikan dengan kondisi suplai daya yang berbeda dari sumber aslinya. Meskipun memiliki topik yang sama, penelitian ini memiliki perbedaan dari segi metode analisis maupun fokus pembahasannya.

Penelitian yang dilakukan oleh A. Rahman (2019) meneliti kinerja motor induksi tiga fasa yang dijalankan dengan sumber satu fasa menggunakan kapasitor bantu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kapasitor dapat mengurangi ketidakseimbangan arus dan meningkatkan torsi awal motor. Sementara itu, penelitian saat ini tidak hanya menggunakan pendekatan tersebut, tetapi juga menganalisis pengaruh variasi nilai kapasitor terhadap efisiensi dan kestabilan putaran motor.

Selanjutnya, penelitian oleh D. Pratama (2021) berfokus pada kondisi tegangan tidak seimbang antar fasa dan dampaknya terhadap kenaikan suhu lilitan motor. Meskipun memiliki keterkaitan, penelitian ini berbeda karena menitikberatkan pada suplai satu fasa secara langsung, bukan pada kondisi ketidakseimbangan antar fasa.

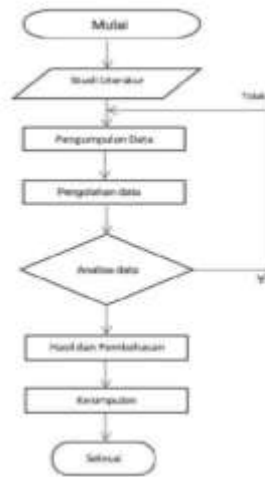
Kemudian, penelitian oleh L. Sari (2023) melakukan pengujian motor induksi tiga fasa dengan konverter satu fasa ke tiga fasa (inverter) agar motor tetap dapat beroperasi dengan suplai satu fasa. Berbeda dengan itu, penelitian ini tidak menggunakan inverter, melainkan melakukan analisis langsung terhadap motor tiga fasa yang disuplai oleh sumber satu fasa, untuk melihat kinerja aktualnya tanpa bantuan konverter daya.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada upaya penyesuaian suplai daya menggunakan kapasitor atau inverter, sedangkan penelitian ini berfokus pada analisis langsung unjuk kerja motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai karakteristik performa dan efisiensi motor dalam kondisi suplai yang terbatas.

## **Metode Penelitian**

Studi literatur pada tahap ini dilakukan untuk mengkaji permasalahan yang ada melalui perpustakaan dan berbagai sumber terkait. Studi ini dilaksanakan di perpustakaan dan di internet, yang mencakup beberapa aspek, yaitu: studi pendahuluan mengenai prinsip kerja motor induksi; studi pendahuluan mengenai pengoperasian motor induksi tiga fasa pada sistem tenaga satu fasa. Selain itu, dilakukan pencarian dan pengumpulan data yang berkaitan dengan judul skripsi ini, baik dari buku-buku maupun konsultasi dengan dosen pembimbing. Selanjutnya, dilakukan pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber tiga fasa dan pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa di laboratorium dan kesimpulan.

Penelitian memutuskan untuk menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan teknik pengambilan data observasi dan deskriptif. Dalam melaksanakan penelitian ini dan tercapainya tujuan penelitian, maka dibuat suatu metodologi penelitian agar sistematis dan terarah sesuai dengan diagram flowchart seperti gambar dibawah ini



Gambar 3. Diagram Aliran Penelitian

Pengujian dilakukan terhadap motor induksi tiga fasa tipe SE 2662-SH. Spesifikasi motor Adalah 1000 Watt, 220/380 Volt, 50 Hz, dan 2830 rpm. Metode pengujian terdiri atas tiga tahap: pengujian tahanan stator, pengujian rotor ditahan, dan pengujian tanpa beban. Selain itu dilakukan pula pengujian kondisi berbeban untuk mengetahui pengaruh variasi beban terhadap arus, daya, torsi, dan efisiensi motor. Pada pengujian sumber satu fasa digunakan kapasitor 35  $\mu\text{F}/400\text{V}$  sebagai pembangkit fasa bantu.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai masing-masing parameter :

Tahanan stator	$(R_1)$
Reaktansi stator	$(X_1)$
Tahanan rotor	$(R_2')$
Reaktansi rotor	$(X_2')$
Reaktansi magnetis	$(X_{\text{mag}})$

Besarnya tahanan pada kumparan stator adalah:

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}} \quad \text{atau} \quad R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}}$$

Besarnya sudut phi pada pengujian rotor ditahan adalah :

$$\cos \varphi_{SC} = \frac{P_{SC}}{3 V_{SC} I_{SC}} \quad \text{atau} \quad R_{SC} = \frac{P_{SC}}{I_{SC}^2} = R_{1m} + R_2'$$

$$R_2' = R_{SC} - R_{1m} \quad R_2' = R_{SC} - R_1$$

Untuk reaktansi induktornya adalah :

$$X_{SC} = Z_{SC} \sin \theta_{SC} \quad \text{atau}$$

$$X_{SC} = \sqrt{Z_{SC}^2 - R_{SC}^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{V_{SC}}{I_{SC}}\right)^2 - \left(\frac{P_{SC}}{3I_{SC}^2}\right)^2}$$

Tabel 1. Standar besarnya reaktansi  $X_1$  dan  $X'_2$  dari berbagai jenis desain rotor.

Desain Rotor	$X_1$	$X'_2$
Rotor belitan	0,5 $X_{SC}$	0,5 $X_{SC}$
Kelas A	0,5 $X_{SC}$	0,5 $X_{SC}$
Kelas B	0,4 $X_{SC}$	0,6 $X_{SC}$
Kelas C	0,3 $X_{SC}$	0,7 $X_{SC}$
Kelas D	0,5 $X_{SC}$	0,5 $X_{SC}$

Nilai reaktansi magnetis yang dihasilkan adalah :

$$X_{mag} = \frac{V_0}{I_0} - X_1 \quad \text{atau} \quad X_{mag} = \frac{X_0 - X_1 + 0,5 X'_2}{0,5}$$

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

Nilai masing-masing parameter yang sudah didapat digunakan untuk menghitung berapa besarnya daya, torsi dan efisiensi pada motor induksi tiga fasa. Dimana nilai masing-masing parameter tersebut adalah :

$$R_1 = 4,85 \text{ ohm} \quad R_2' = 7,49 \text{ ohm} \quad X_1 = 1,89 \text{ ohm}$$

$$X_2' = 2,83 \text{ ohm} \quad X_{mag} = 157,53 \text{ ohm}$$

Tabel 2 Hasil pengujian motor induksi tiga fasa

dengan sumber tiga fasa kondisi berbeban.

No	$V_L$	I	$P_{motor}$	$\cos \varphi$	$n_r$	$P_{beban}$
1	380	1,51	390	0,58	2948	300
2	380	1,79	760	0,7	2886	600
3	380	2,2	1010	0,7	2830	900
4	380	3,1	1620	0,75	2705	1200

Sedangkan untuk besarnya slip yang dihasilkan pada beban 900 watt ditentukan berdasarkan persamaan (2.3) adalah :

$$\begin{aligned} s &= \frac{N_s - N_r}{N_s} \\ &= \frac{3000 - 2830}{3000} \\ &= 0,06 \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan dapat pula dihitung nilai impedansi total pada terminal motor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_{in} &= R_1 + jX_1 + R_f + jX_f \\ &= 4,85 + j 1,89 + 75,01 + j 61,17 \\ &= 101,76 \angle 38,29^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$$

Sehingga factor daya adalah :  $\cos 38,29 = 0,78$

Sedangkan besarnya arus yang di suplaykan pada motor induksi saat dioperasikan pada sumber tiga fasa dapat ditentukan berdasarkan persamaan adalah :

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{V_f}{Z_{in}} \\ &= \frac{220}{101,76} \\ &= 2,16 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Kemudian besarnya daya masuk pada motor saat dioperasikan pada sumber tiga fasa, ditentukan berdasarkan persamaan adalah :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 3 \cdot V_f \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \\ &= 3 \cdot 220 \cdot 2,16 \cdot 0,78 \\ &= 1111,97 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kemudian besarnya daya keluar motor saat dioperasikan pada sumber tiga fasa, ditentukan berdasarkan persamaan adalah :

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{mek} - P_{rot} \\ &= 986,91 - 142,29 \\ &= 844.62 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sedangkan besarnya torsi beban/maximum yang dihasilkan motor saat dioperasikan pada sumber tiga fasa dapat ditentukan berdasarkan persamaan adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{\max} &= \frac{P_{out}}{\omega_s (1-s)} \\
 &= \frac{844,62}{314 (1-0,06)} \\
 &= 2,86 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

efisiensi motor induksi saat dioperasikan pada kondisi berbeban dengan sumber tiga fasa dapat ditentukan :

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{844,62}{1111,97} \times 100\% \\
 &= 76\%
 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan berapa besarnya arus, daya masuk, daya keluar, torsi dan juga efisiensi yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa yang dioperasikan dengan sumber tiga fasa. Pada saat kondisi berbeban diterangkan dalam tabel 2.

*Tabel 3 Hasil perhitungan pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan sumber tiga fasa pada kondisi berbeban*

No	P <sub>beban</sub>	N <sub>r</sub>	s	I <sub>l</sub>	Cos φ	P <sub>in</sub>	P <sub>out</sub>	Torsi	η
1	300	2948	0,02	1,48	0,55	400,49	218,34	0,71	0,55
2	600	2886	0,04	1,77	0,72	759,33	547,5	1,82	0,72
3	900	2830	0,06	2,16	0,76	1111,97	844,62	2,86	0,76
4	1200	2705	0,1	3,06	0,76	1797,44	1357,68	4,80	0,76

Pada sumber tiga fasa, kenaikan efisiensi dan torsi terjadi karena sistem suplai menghasilkan medan magnet putar yang seimbang dan sempurna dengan pergeseran sudut antar fasa sebesar 120°. Kondisi ini menyebabkan gaya putar elektromagnetik yang dihasilkan rotor menjadi maksimum, sehingga motor dapat menghasilkan torsi yang besar dan stabil. Ketika beban motor berada pada titik kerja optimal, yaitu beban sedang hingga mendekati beban nominal, daya keluaran meningkat secara proporsional terhadap daya masukan. Akibatnya, rugi daya relatif menurun dan efisiensi motor meningkat.

Selain itu, pada sumber tiga fasa, arus pada setiap belitan stator seimbang, sehingga tidak terjadi rugi daya berlebih pada salah satu fasa. Fluks magnet yang dihasilkan juga lebih kuat dan merata, menyebabkan torsi elektromagnetik meningkat, terutama pada saat motor mencapai kecepatan sinkron atau mendekatinya.

### Hasil Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa dengan Sumber Satu Fasa

Nilai parameter yang didapat pada pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa adalah :

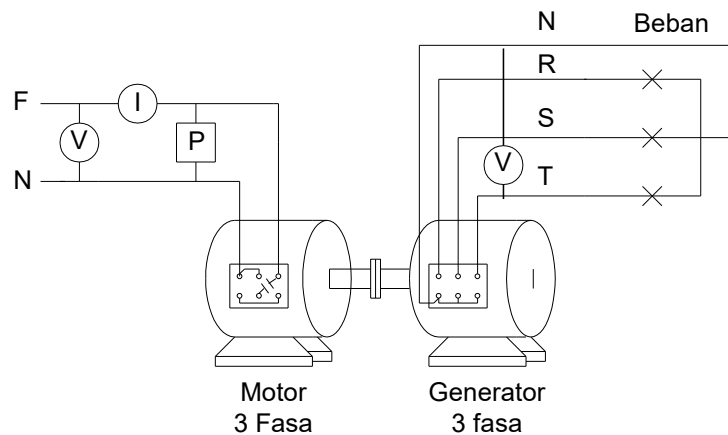
$$R_{1m} = 7,69 \text{ ohm} \quad R_{1a} = 3,81 \text{ ohm} \quad R_1 = 7,91 \text{ ohm}$$

$$X_{1m} = 22,48 \text{ ohm} \quad X_{1a} = 10,2 \text{ ohm} \quad R_2' = 19,69 \text{ ohm}$$

$$X_1 = 4,65 \text{ ohm} \quad X_2' = 6,98 \text{ ohm} \quad X_{mag} = 181,28 \text{ ohm}$$

$$a = 2,18$$

Dimana data hasil pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa pada saat kondisi berbeban dengan beban bervariasi di tunjukan oleh tabel 1.



*Gambar 4 Rangkaian pengujian dengan beban bervariasi*

*Tabel 4 Hasil pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa kondisi berbeban.*

No	V	I	$P_{motor}$	$\text{Cos } \varphi$	$n_r$	$P_{beban}$ (Watt)
1	220	2,61	250	0,65	2902	75 (3 x 25)
2	220	2,74	300	0,7	2884	120 (3 x 40)
3	220	2,86	380	0,7	2810	180 (3 x 60)
4	220	6,71	420	0,89	600	255 (3 x 85)

Pada pengujian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa pada saat kondisi berbeban. Beban yang dipakai adalah 75, 120, 180 dan 225 watt. Pada saat menggunakan beban 255 watt besarnya arus pada motor sebesar 6,71 A, sedangkan putaran rotornya sebesar 600 Rpm. Ini artinya jika motor tersebut dioperasikan dengan arus yang besar dari arus pada nameplatnya ini akan menyebabkan motor tersebut cepat terbakar/rusak. Maka untuk yang terbaiknya dipakailah beban 180 watt.

Pada saat kondisi berbeban dengan besarnya beban generator 180 watt besarnya slip yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.3) adalah :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$= \frac{3000 - 2810}{3000}$$

$$= 0,06$$

besarnya total arus masuk pada saat kondisi berbeban adalah :

$$I_1 = I_m + I_a$$

$$= 2,24 \angle -47,7^0 + 0,66 \angle -50,16^0$$

$$= 2,9 \angle -48,35^0 \text{ A}$$

Sehingga faktor daya adalah :

$$PF = \cos 48,35 = 0,66 \text{ Lagging}$$

besarnya daya input motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa pada saat kondisi bebeban adalah :

$$P_{in} = V I_1 \cos \varphi$$

$$= 220 \cdot 2,9 \cdot 0,66$$

$$= 421,08 \text{ Watt}$$

besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh motor induksi dengan sumber satu fasa pada saat kondisi berbeban adalah :

$$P_{mek} = (P_{gf} - P_{gb})(1-s)$$

$$= (316,72 - 39,44)(1-0,06)$$

$$= 260,64 \text{ Watt}$$

besarnya daya keluar motor saat dioperasikan pada sumber satu fasa pada kondisi berbeban, ditentukan berdasarkan persamaan (2.50) adalah :

$$P_{out} = P_{mek} - P_{rot}$$

$$= 260,64 - 106,09$$

$$= 154,55 \text{ Watt}$$

Sedangkan besarnya torsi induksi yang dihasilkan motor saat dioperasikan pada sumber satu fasa pada kondisi berbeban dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2.46) adalah :

$$T = \frac{P_{gf} - P_{gb}}{\omega_s}$$

$$= \frac{316,72 - 39,44}{314}$$

$$= 0,88 \text{ N.m}$$

efisiensi motor induksi saat dioperasikan pada sumber satu fasa pada saat kondisi berbeban adalah :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{154,55}{421,08} \times 100\% \\ &= 37\%\end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya perbandingan berapa besarnya arus, daya masuk, daya keluar, torsi dan juga efisiensi yang dihasilkan oleh motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa. Pada saat kondisi berbeban dengan beban bervariasi diterangkan dalam tabel 4.

*Tabel 5 Hasil perhitungan pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa pada kondisi berbeban*

No	P <sub>beban</sub>	s	I <sub>1</sub>	Cos φ	P <sub>in</sub>	P <sub>mek</sub>	P <sub>out</sub>	Torsi	η (%)
1	75	0,03	2,77	0,48	292,51	137,61	31,52	0,45	11
2	120	0,04	2,81	0,55	340,01	184,60	78,51	0,62	23
3	180	0,06	2,90	0,66	421,08	260,64	154,55	0,88	37

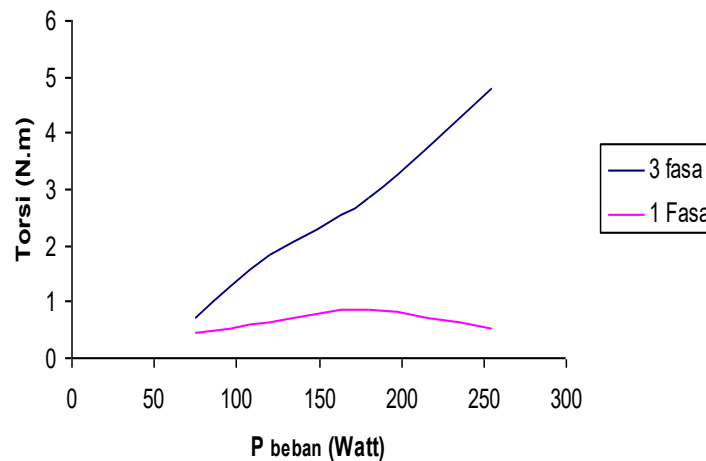
Pada sumber satu fasa, kenaikan efisiensi dan torsi dapat terjadi jika nilai kapasitor bantu yang digunakan berada pada kondisi optimal. Kapasitor yang tepat akan menghasilkan pergeseran fasa mendekati 90° antara fasa utama dan fasa bantu, sehingga medan magnet yang terbentuk menjadi lebih seimbang. Ketika keseimbangan ini tercapai, arus kerja pada stator lebih stabil, fluks magnet meningkat, dan gaya potong pada rotor menjadi lebih kuat. Akibatnya, motor dapat berputar lebih halus dengan torsi yang meningkat dibandingkan kondisi tanpa penyesuaian kapasitor.

Selain itu, pada kondisi beban ringan hingga sedang, rugi daya tembaga (I<sup>2</sup>R) dan rugi magnetik masih kecil, sehingga daya keluaran relatif lebih besar dibanding daya masukan. Hal ini membuat nilai efisiensi tampak meningkat. Namun demikian, peningkatan ini bersifat terbatas, karena sistem satu fasa tetap tidak dapat menghasilkan medan magnet yang benar-benar seimbang seperti pada sistem tiga fasa.

Dari data tabel 3 dan 5 dapat digambarkan grafik karakteristik motor induksi tiga fasa dengan sumber yang berbeda terhadap beban motor yang bervariasi.

1. Karakteristik hubungan torsi terhadap beban motor

### Karakteristik hubungan torsi terhadap beban



*Gambar 4 Karakteristik hubungan torsi terhadap beban motor*

Dari gambar grafik karakteristik hubungan torsi terhadap beban dapat disimpulkan bahwa. Saat motor induksi tiga fasa dioperasikan dengan sumber satu fasa pada kondisi berbeban torsi beban yang dibangkitkan lebih kecil hanya sebesar 0,88 N.m, pada beban 180 watt. Bila dibandingkan pada saat motor tersebut dioperasikan dengan sumber tiga fasa besarnya torsi yang dihasilkan pada beban 900 watt yaitu sebesar 2.83 N.m.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa torsi motor pada pengoperasian tiga fasa (garis biru) meningkat secara signifikan seiring dengan penambahan beban, sedangkan torsi pada pengoperasian satu fasa (garis merah muda) menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah dan cenderung menurun setelah beban tertentu.

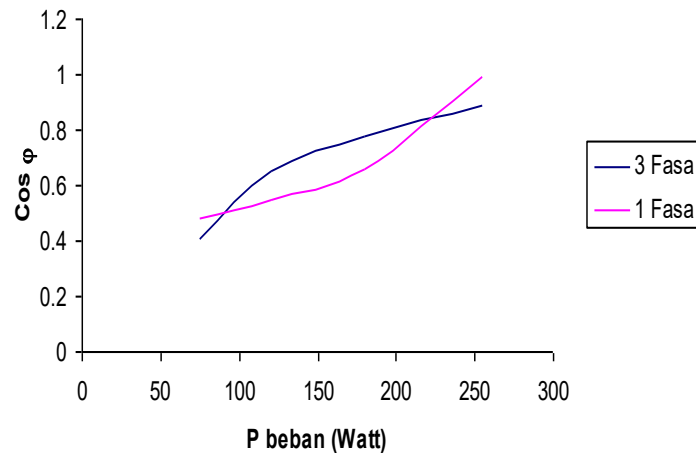
Fenomena ini terjadi karena pada sistem tiga fasa, medan magnet putar yang dihasilkan oleh stator bersifat seimbang, sehingga arus rotor yang terinduksi juga seimbang dan mampu menghasilkan gaya elektromagnetik maksimum. Dengan demikian, torsi meningkat seiring pertambahan beban hingga mendekati beban nominal.

Sebaliknya, pada sistem satu fasa, medan magnet yang terbentuk tidak sepenuhnya berputar, melainkan terdiri atas dua medan bolak-balik yang saling bertentangan. Akibatnya, hanya sebagian energi elektromagnetik yang efektif menghasilkan torsi putar. Meskipun penambahan kapasitor bantu dapat memperbaiki pergeseran fasa dan meningkatkan torsi pada beban ringan hingga sedang, namun saat beban bertambah besar, ketidakseimbangan medan magnet semakin dominan, menyebabkan torsi menurun.

Hasil ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Chapman (2012) dan Fitzgerald et al. (2013), yang menyatakan bahwa torsi elektromagnetik motor induksi berbanding lurus dengan arus rotor dan pergeseran fasa antara arus dan fluks stator. Pada motor satu fasa, karena tidak ada tiga gelombang arus yang saling bergeser  $120^\circ$ , medan magnet menjadi tidak sempurna, sehingga torsi efektif yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan sistem tiga fasa

## 2. Karakteristik hubungan $\text{Cos } \phi$ terhadap beban motor

### Karakteristik hubungan $\text{Cos } \phi$ terhadap beban



Gambar 5 Karakteristik hubungan  $\text{Cos } \phi$  terhadap beban motor

Pada grafik hubungan antara faktor daya ( $\text{cos } \phi$ ) dengan beban motor induksi tiga fasa yang dioperasikan menggunakan dua jenis sumber tegangan: tiga fasa (garis biru) dan satu fasa (garis merah muda).

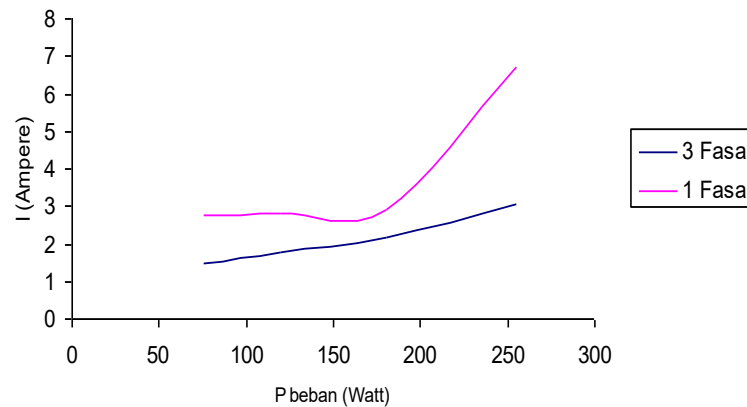
Secara umum, nilai  $\text{cos } \phi$  meningkat seiring bertambahnya beban untuk kedua jenis sumber. Namun, terlihat bahwa pada sebagian besar rentang beban,  $\text{cos } \phi$  pada sumber tiga fasa sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan motor yang dioperasikan menggunakan sumber satu fasa. Pada motor induksi, nilai  $\text{cos } \phi$  dipengaruhi oleh arus magnetisasi ( $I_m$ ) dan arus beban ( $I_2'$ ). Pada beban ringan, sebagian besar arus yang mengalir digunakan untuk membangkitkan fluks magnet (komponen reaktif), sehingga  $\text{cos } \phi$  bernilai rendah. Saat beban meningkat, komponen arus aktif ( $I_2'$ ) bertambah lebih besar dibandingkan komponen reaktif, sehingga faktor daya meningkat.

Namun, pada pengoperasian dengan sumber satu fasa, arus magnetisasi yang diperlukan lebih besar karena medan magnet yang dihasilkan tidak sepenuhnya berputar. Selain itu, adanya kapasitor bantu menambah komponen reaktif dari arus total. Akibatnya, faktor daya satu fasa lebih rendah daripada tiga fasa pada beban ringan hingga menengah.

Menariknya, pada beban berat, kurva satu fasa (warna merah muda) menunjukkan kenaikan  $\text{cos } \phi$  yang signifikan dan bahkan sedikit melampaui tiga fasa. Hal ini bisa disebabkan oleh efek kompensasi kapasitor yang semakin optimal saat beban meningkat, karena arus kerja (aktif) menjadi lebih dominan dibanding arus magnetisasi.

### 3. Karakteristik hubungan arus terhadap beban motor

### Karakteristik hubungan arus terhadap beban



Gambar 4.12 Karakteristik hubungan arus terhadap beban motor

Dari grafik terlihat bahwa arus pada kedua sistem mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban. Namun, arus pada pengoperasian dengan sumber satu fasa (garis merah muda) lebih tinggi dibandingkan dengan arus pada sumber tiga fasa (garis biru) pada setiap tingkat beban.

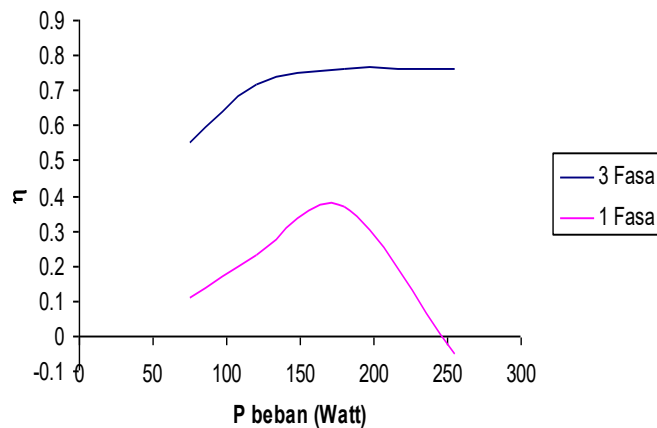
Kondisi ini menunjukkan bahwa motor yang dioperasikan dengan sumber satu fasa memerlukan arus yang lebih besar untuk menghasilkan torsi yang sama. Hal ini terjadi karena pada sistem satu fasa, medan magnet yang dihasilkan tidak sepenuhnya berputar, melainkan terdiri atas dua medan bolak-balik yang saling bertentangan. Ketidakseimbangan ini menyebabkan torsi elektromagnetik menjadi lebih kecil, sehingga motor harus menarik arus lebih tinggi untuk mengkompensasi kekurangan gaya putar tersebut.

Selain itu, penggunaan kapasitor bantu pada sistem satu fasa memang membantu menghasilkan pergeseran fasa, tetapi juga menambah komponen arus reaktif dalam sistem. Akibatnya, arus total yang diserap dari sumber listrik meningkat. Pada saat beban bertambah besar, slip motor juga meningkat, sehingga arus rotor bertambah dan arus stator pun meningkat tajam.

Sebaliknya, pada sistem tiga fasa, suplai arus pada setiap fasa saling bergeser  $120^\circ$  dan menghasilkan medan magnet putar yang seimbang. Kondisi ini membuat penyaluran daya lebih efisien dan arus yang mengalir pada tiap fasa relatif lebih kecil. Kenaikan arus seiring dengan kenaikan beban tetap terjadi, namun dalam pola yang lebih stabil dan proporsional

#### 4. Karakteristik hubungan efisiensi terhadap beban motor

### Karakteristik hubungan efisiensi terhadap beban



Gambar 4.13 Karakteristik hubungan efisiensi ( terhadap beban motor)

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi meningkat seiring bertambahnya beban hingga mencapai titik maksimum, kemudian menurun setelah melewati beban nominal. Namun, secara umum efisiensi motor dengan sumber tiga fasa lebih tinggi dan stabil dibandingkan dengan motor yang dioperasikan dengan sumber satu fasa.

Pada beban ringan, rugi-rugi tersebut relatif besar dibandingkan daya keluaran, sehingga efisiensi rendah. Ketika beban bertambah, daya keluaran meningkat lebih cepat daripada rugi-rugi daya, sehingga efisiensi naik hingga mencapai nilai maksimum pada beban nominal. Setelah melewati titik ini, rugi-rugi tembaga meningkat secara signifikan (karena arus naik), sehingga efisiensi mulai menurun.

Analisis grafik ; Motor dengan sumber tiga fasa menunjukkan peningkatan efisiensi yang cepat hingga mencapai nilai mendekati konstan pada beban menengah sampai penuh. Hal ini disebabkan oleh medan magnet yang seimbang dan distribusi daya antar fasa yang merata. Motor dengan sumber satu fasa memiliki efisiensi lebih rendah karena medan magnetnya tidak sepenuhnya berputar, menyebabkan rugi-rugi magnetik dan arus lebih tinggi. Terlihat bahwa efisiensi maksimum motor satu fasa lebih rendah dan mulai menurun tajam setelah beban tertentu (sekitar 150–200 W), menandakan batas kemampuan motor dalam mempertahankan kestabilan kerja. Pada beban tinggi, peningkatan arus dan slip menyebabkan rugi-rugi daya meningkat tajam sehingga efisiensi menurun.

Jadi, Menurut Chapman (2012) dalam *Electric Machinery Fundamentals*, keseimbangan fasa yang mendekati ideal dapat meningkatkan torsi awal dan mengurangi rugi daya, karena arus kerja di stator menjadi lebih seimbang dan fluks magnet meningkat. Kondisi ini menyebabkan kenaikan torsi dan efisiensi sementara, terutama pada beban ringan hingga sedang.

#### Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini membahas analisa motor induksi tiga fasa yang dioperasikan menggunakan sumber tegangan satu fasa dengan bantuan kapasitor sebagai pembentuk fasa bantu. Tujuan utama penelitian ini adalah mengetahui pengaruh nilai kapasitor terhadap kinerja motor, seperti arus stator, kecepatan putar, dan torsi

yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengoperasian motor induksi tiga fasa dengan sumber satu fasa masih memungkinkan, meskipun terjadi penurunan efisiensi dan torsi dibandingkan saat menggunakan sumber tiga fasa murni.

Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Suharyanto (2019) dalam judul “Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa dengan Satu Daya Satu Fasa Menggunakan Kapasitor Start dan Run”. Dalam penelitiannya, Suharyanto juga menggunakan metode penambahan kapasitor untuk membentuk pergeseran fasa pada motor tiga fasa. Namun, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada rancang bangun sistem konversi daya dan pengukuran torsi awal, sedangkan penelitian ini lebih fokus pada analisis pengaruh variasi nilai kapasitor terhadap parameter listrik motor seperti arus dan daya input.

Selain itu, penelitian oleh Rizal dan Santoso (2021) yang berjudul “Perancangan Inverter Satu Fasa ke Tiga Fasa untuk Penggerak Motor Induksi” menggunakan metode elektronik daya berbasis inverter sebagai solusi konversi sumber satu fasa menjadi tiga fasa. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa penggunaan inverter mampu menghasilkan gelombang tegangan tiga fasa yang lebih stabil dengan efisiensi tinggi. Namun, dari segi biaya dan kompleksitas, metode tersebut lebih mahal dibandingkan dengan sistem berbasis kapasitor seperti yang digunakan dalam penelitian ini.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian berjudul “Studi Analisa Motor Induksi Tiga Fasa dengan Sumber Tegangan Satu Fasa”, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Motor induksi tiga fasa masih dapat dioperasikan menggunakan sumber tegangan satu fasa dengan bantuan kapasitor sebagai pembentuk fasa bantu. Namun, terjadi perubahan karakteristik kinerja dibandingkan dengan kondisi suplai tiga fasa.
2. Nilai efisiensi dan torsi pada pengoperasian sumber satu fasa cenderung mengalami penurunan dibandingkan sumber tiga fasa, disebabkan oleh ketidakseimbangan medan magnet dan rugi daya tambahan pada stator maupun rotor.
3. Pada kondisi tertentu, terutama ketika nilai kapasitor berada pada titik optimal, efisiensi dan torsi dapat mengalami kenaikan sementara karena keseimbangan medan magnet yang lebih baik serta pergeseran fasa yang mendekati ideal ( $90^{\circ}$ – $120^{\circ}$ ).
4. Pengoperasian dengan sumber tiga fasa menghasilkan kinerja paling stabil dan efisiensi tertinggi, karena fluks magnet yang terbentuk seimbang dan rugi daya lebih kecil.
5. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan erat antara nilai kapasitor, jenis sumber tegangan, dan karakteristik beban terhadap efisiensi serta torsi motor induksi.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan agar fokus analisis dapat terarah dan hasil yang diperoleh tetap valid. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menggunakan motor induksi tiga fasa tipe sangkar (squirrel cage) dengan kapasitas daya tertentu.
2. Sumber satu fasa yang digunakan berasal dari suplai laboratorium dengan frekuensi dan tegangan tetap, tanpa memperhitungkan variasi kondisi suplai.
3. Analisis hanya difokuskan pada parameter efisiensi, arus, dan torsi, tanpa membahas aspek lain seperti faktor daya, kestabilan suhu, maupun rugi daya total.

4. Pengujian dilakukan pada rentang beban ringan hingga mendekati beban nominal, sehingga belum mencakup kondisi kelebihan beban atau operasi jangka Panjang.

Berdasarkan hasil penelitian dan batasan yang ada, maka beberapa rekomendasi untuk penelitian berikutnya dapat disampaikan sebagai berikut:

1. Melakukan analisis harmonisa dan faktor daya guna mengetahui pengaruh gelombang arus dan tegangan terhadap efisiensi sistem.
2. Meneliti pengaruh variasi frekuensi dan tegangan suplai terhadap performa motor untuk mendapatkan karakteristik yang lebih luas.
3. Menerapkan simulasi numerik berbasis perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink atau ANSYS Maxwell untuk memvalidasi hasil pengujian secara teoritis.
4. Melakukan penelitian pada jenis motor induksi lain, misalnya motor rotor belitan (wound rotor), guna membandingkan respons terhadap sumber satu fasa dan tiga fasa.
5. Mengkaji pengaruh temperatur kerja terhadap efisiensi dan torsi, khususnya pada operasi jangka panjang.
6. Mengembangkan sistem pengaturan kapasitor dinamis (adaptive capacitor control) untuk memperoleh keseimbangan fasa yang optimal di berbagai kondisi beban.

## Referensi

- Chapman, Stephan J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals*. Fourth Edition. Singapura: Mc.Graw Hill Internasional.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals (5th Edition)*. McGraw-Hill.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2013). *Electric Machinery*. McGraw-Hill Education.
- Lister. 1998. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Edisi Keenam. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Novianto, D., Zondra, E., & Yuvendius, H. (2022). Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang. *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 4(2), 73–80. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v6i2.9734>
- McPherson, George. 1990. *An Introduction to Electrical Machines and Transformers*. USA: Penerbit John Wiley & Sons, Inc.
- Pratama, D. (2021). *Simulasi Motor Induksi Tiga Fasa pada Kondisi Tegangan Tidak Seimbang*. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 9(1), 33–40.
- Rahman, A. (2019). *Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa pada Sumber Satu Fasa Menggunakan Kapasitor*. *Jurnal Elektro dan Energi*, 7(2), 45–52.
- Reza, M., & Jannah, M. (2021). ANALISA PENGOPERASIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN MENGGUNAKAN SUMBER SATU FASA. *Jurnal Energi Elektrik*, 10.
- Rizal, A., & Santoso, B. (2021). *Perancangan Inverter Satu Fasa ke Tiga Fasa untuk Penggerak Motor Induksi*. *Jurnal Energi dan Kontrol*, 12(1), 33–40.

- Sari, L. (2023). *Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa dengan Konverter Satu Fasa ke Tiga Fasa*. Jurnal Inovasi Rekayasa dan Energi, 11(3), 21–29
- Scheda, F. A. 1985. *Operating 3 Phase Motors On 1 Phase Power*. EC & M.
- Sen. P. C. (Paresh Chandra). 1989. *Principles of Electric Machines and Power Electronics*. Singapura: Penerbit John Wiley & Sons, Inc.
- Suharyanto. (2019). *Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa dengan Catu Daya Satu Fasa Menggunakan Kapasitor Start dan Run*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 8(2), 55–62.
- Sumanto, 1987. *Motor Arus Bolak-balik (AC)*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- UNES. 2025. Data hasil penelitian laboratorium Motor Induksi, Universitas Ekasakti Padang.
- Wijaya Mochtar, S.T. 2001. *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Zuhal. 1996. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.