



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 3 Tahun 2024 Page 17604-17618

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Evaluasi Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa dengan Modifikasi Resistansi Stator: Pendekatan Simulasi dengan Automation Studio

Ahmad Dani<sup>1✉</sup>, Dino Erivianto<sup>2</sup>

Universitas Pembangunan Panca Budi

Email: [ahmad.kartasmita@gmail.com](mailto:ahmad.kartasmita@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja motor induksi tiga fasa dengan memodifikasi resistansi stator menggunakan rheostat dan mensimulasikan dampaknya melalui software Automation Studio. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan rheostat pada salah satu fase stator untuk menciptakan ketidakseimbangan arus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan rheostat menyebabkan penurunan RPM motor dari 1430 menjadi 1387 RPM, sementara torsi meningkat dari 5,16 N.m menjadi 5,58 N.m. Tegangan pada fase dengan rheostat menurun dari 399,78 volt menjadi 258,3 volt, dan arus menurun dari 1,95 A menjadi 0,9 A. Daya motor menurun dari 1080,08 watt menjadi 498,83 watt, dan efisiensi turun dari 98,25% menjadi 45,35%. Ketidakseimbangan arus akibat modifikasi resistansi terbukti berdampak signifikan terhadap kinerja motor induksi tiga fasa, mencakup penurunan putaran, peningkatan torsi, penurunan tegangan dan arus, serta penurunan daya dan efisiensi motor.

Kata Kunci: *Automation Studio, Efisiensi Motor, Ketidakseimbangan Arus, Motor Induksi, Resistansi Stator*

## Abstract

This study aims to evaluate the performance of a three-phase induction motor by modifying the stator resistance using a rheostat and simulating the impact through Automation Studio software. The modification is done by adding a rheostat to one of the stator phases to create current imbalance. The simulation results showed that the addition of the rheostat caused a decrease in motor RPM from 1430 to 1387 RPM, while the torque increased from 5.16 N.m to 5.58 N.m. The voltage on the phase with the rheostat decreased from 399.78 volts to 258.3 volts, and the current decreased from 1.95 A to 0.9 A. The motor power decreased from 1080.08 watts to 498.83 watts, and the efficiency decreased from 98.25% to 45.35%. Current imbalance due to resistance modification is shown to have a significant impact on the performance of three-phase induction motors, including decreased rotation, increased torque, decreased voltage and current, and decreased motor power and efficiency.

*Keywords: Automation Studio, Motor Efficiency, Current Unbalance, Induction Motor, Stator Resistance*

## PENDAHULUAN

Dalam dunia teknik elektro, motor induksi tiga fasa merupakan salah satu komponen utama yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial. Keunggulan motor ini terletak pada konstruksi yang sederhana, biaya pemeliharaan yang rendah, dan kemampuan untuk beroperasi dalam kondisi lingkungan yang beragam. (Jassim et al., 2021) Meskipun begitu, ada tantangan dalam pengendalian dan optimasi kinerja motor induksi, terutama dalam hal penyesuaian kecepatan dan torsi untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam berbagai aplikasi. (Olarinoye et al., 2022)

Penambahan rheostat pada rangkaian stator motor induksi tiga fasa adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengontrol kinerja motor. Rheostat, sebagai resistor variabel, dapat mengubah resistansi dalam rangkaian, yang pada gilirannya mempengaruhi arus listrik dan torsi yang dihasilkan oleh motor. Namun, pendekatan ini tidak umum digunakan karena dapat menimbulkan ketidakseimbangan fase yang berpotensi merusak motor dan mengurangi efisiensinya. (Fan et al., 2022; Li et al., 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja motor induksi tiga fasa dengan melakukan modifikasi resistansi pada stator melalui penambahan rheostat. Untuk mencapai tujuan ini, simulasi menggunakan software Automation Studio akan digunakan sebagai alat utama. Automation Studio merupakan perangkat lunak yang memiliki kemampuan simulasi dan analisis multidisiplin, yang sangat efektif dalam memodelkan sistem otomasi kompleks dan melakukan evaluasi kinerja secara rinci. (Makinde et al., 2023)

Penggunaan Automation Studio dalam penelitian ini memungkinkan kita untuk melakukan simulasi berbagai skenario tanpa harus mengimplementasikan perubahan secara fisik pada motor, yang dapat menghemat waktu dan biaya. Selain itu, simulasi

memberikan fleksibilitas untuk mengamati dan menganalisis dampak dari perubahan resistansi stator secara real-time, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi potensi masalah dan solusi yang efektif.(Saikumar et al., 2021; Verma et al., 2021)

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak penambahan rheostat pada satu fase stator motor induksi tiga fasa terhadap keseimbangan arus dan medan magnet. Selain itu, evaluasi perubahan kinerja motor, termasuk efisiensi, torsi, dan panas yang dihasilkan, akan dilakukan sebagai akibat dari modifikasi resistansi stator. (Filina et al., 2023) Penelitian ini juga bertujuan untuk menyediakan analisis yang komprehensif tentang potensi keuntungan dan kerugian dari metode ini dalam konteks aplikasi industri serta mengidentifikasi batasan dan kondisi optimal di mana penambahan rheostat dapat diterapkan tanpa menyebabkan kerusakan pada motor.

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan simulatif dengan beberapa langkah utama. Langkah pertama adalah pemodelan motor induksi tiga fasa dalam Automation Studio, termasuk semua komponen utama seperti stator, rotor, dan sistem kontrol. Selanjutnya, rheostat akan dimasukkan ke dalam salah satu fase stator, dan resistansinya akan divariasikan untuk mensimulasikan kondisi yang berbeda.(Usman & Rajpurohit, 2021) Simulasi akan dijalankan untuk mengamati dampak dari variasi resistansi terhadap arus, torsi, kecepatan, dan panas. Hasil simulasi akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja motor dalam berbagai kondisi modifikasi resistansi. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan data teoritis dan literatur untuk memastikan akurasi dan validitas temuan.(Naim, 2020)

Penelitian ini memiliki signifikansi penting dalam bidang teknik elektro dan aplikasi industri. Dengan memahami dampak modifikasi resistansi pada stator, kita dapat mengeksplorasi cara baru untuk mengoptimalkan kinerja motor induksi tiga fasa. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi para peneliti dan praktisi industri dalam mendesain dan mengimplementasikan sistem kontrol motor yang lebih efisien dan andal. Selain itu, penggunaan Automation Studio sebagai alat simulasi menunjukkan potensi besar dalam penelitian dan pengembangan teknologi otomasi di masa depan.(Ghinea et al., 2020)

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan pengetahuan akademis, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang signifikan dalam dunia industri.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulatif untuk mengevaluasi kinerja motor induksi tiga fasa dengan modifikasi resistansi pada stator.(Makinde et al., 2023) Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Automation Studio, yang memungkinkan pemodelan dan analisis sistem otomatisasi secara komprehensif. Berikut adalah langkah-langkah yang akan diambil dalam metode penelitian ini:

1. Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa: Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemodelan motor induksi tiga fasa dalam perangkat lunak Automation Studio. (Saikumar et al., 2021) Model ini akan mencakup semua komponen utama motor induksi, yaitu stator, rotor, dan sistem kontrol. Parameter teknis motor seperti daya, tegangan, arus, dan torsi akan disesuaikan berdasarkan spesifikasi motor yang umum digunakan dalam industri.
2. Penambahan Rheostat pada Stator: Setelah model dasar motor induksi tiga fasa dibuat, rheostat akan ditambahkan ke dalam salah satu fase stator. Rheostat yang digunakan akan memiliki nilai resistansi variabel, yang memungkinkan penyesuaian resistansi untuk mensimulasikan berbagai kondisi operasi.(Thanabal, 2023) Modifikasi ini akan dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa perubahan resistansi hanya mempengaruhi satu fase stator.
3. Simulasi Kinerja Motor dengan Automation Studio: Simulasi akan dilakukan dalam beberapa tahap untuk mengamati dampak dari variasi resistansi pada kinerja motor. (Saikumar et al., 2021) Tahap-tahap simulasi ini meliputi:
  - Simulasi Awal Tanpa Modifikasi: Sebagai baseline, kinerja motor akan disimulasikan tanpa modifikasi resistansi untuk mendapatkan data referensi.
  - Simulasi dengan Variasi Resistansi: Rheostat akan disesuaikan untuk memiliki nilai resistansi yang berbeda (misalnya, rendah, sedang, dan tinggi), dan kinerja motor akan disimulasikan untuk setiap kondisi ini. Parameter yang akan diamati meliputi arus, torsi, kecepatan, dan panas yang dihasilkan.

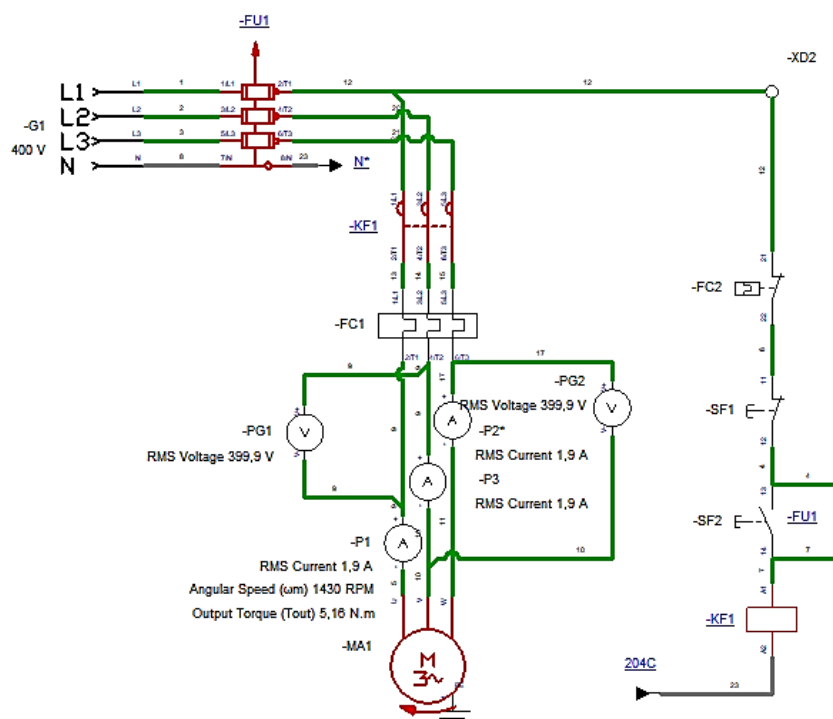
Dalam setiap tahap simulasi, Automation Studio akan digunakan untuk:

- Membuat diagram skematik dari sistem motor induksi dengan penambahan rheostat.
- Melakukan simulasi dinamis untuk mengamati respons motor terhadap perubahan resistansi.
- Menganalisis data hasil simulasi untuk mengevaluasi dampak variasi resistansi pada keseimbangan arus, torsi, kecepatan, dan panas yang dihasilkan.

4. Analisis Data: Data yang diperoleh dari hasil simulasi akan dianalisis untuk mengevaluasi dampak dari modifikasi resistansi pada kinerja motor. (Tan, 2021) Analisis ini akan mencakup:
- Keseimbangan Arus: Pengaruh penambahan rheostat pada keseimbangan arus dan medan magnet dalam motor akan dianalisis untuk mengidentifikasi ketidakseimbangan fase.
  - Efisiensi Motor: Perubahan efisiensi motor sebagai akibat dari variasi resistansi akan dievaluasi.
  - Torsi dan Kecepatan: Dampak modifikasi resistansi pada torsi dan kecepatan motor akan dianalisis untuk menilai stabilitas dan kinerja motor.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 1 adalah model dari rangkaian motor listrik yang akan dianalisis pengaruh beban tidak seimbang terhadap arus, tegangan, dan efisiensi dari kinerja motor listrik. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran lalu dianalisa untuk melihat perbedaan tegangan, arus dan daya pada motor induksi tiga fasa.



Gambar 1. Simulasi Model Rangkaian dengan Sistem DOL

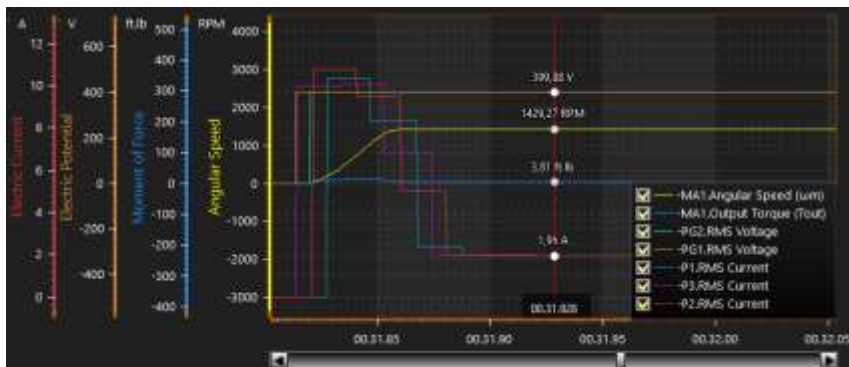
Sistem rangkain kontrol dan rangkain tenaga dari model yang di gunakan untuk menganalisis pengaruh beban tidak seimbang pada 399,9 V listrik. Gambar rangkain dasar motor secara normal dengan beban seimbang pada masing masing fasanya. Dari hasil

menjalankan simulasi didapat data sebagai berikut :

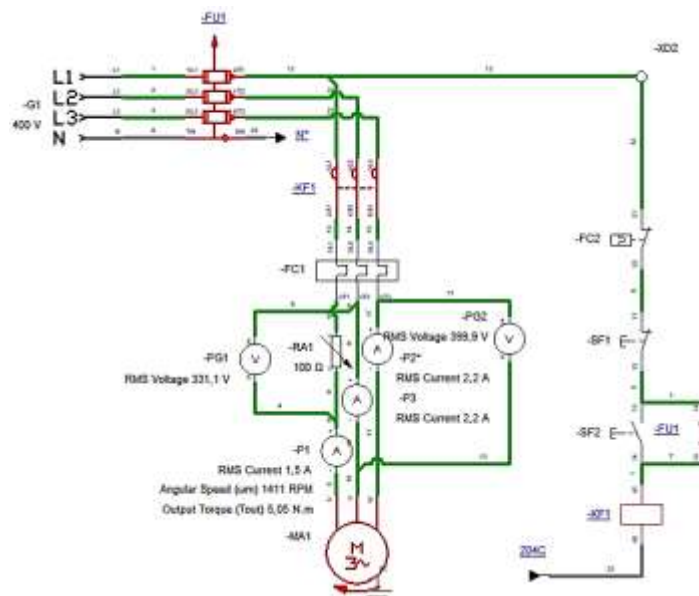
Tabel 1. Data Hasil Percobaan dengan sistem DOL

No.	Pengukuran	R	S	T
1	Tegangan	399,9 volt	399,9 volt	399,9 volt
2	Arus	1,95 A	1,95 A	1,95 A
3	RPM Motor	1430 RPM		
4	Torsi Motor	5,16 N.m / 3,81 ft.lb		

Dari plotter grafik pada gambar 2 dapat terlihat arus listrik mengalami lonjakan pada saat motor di jalankan. Arus listrik pada saat start mencapai lebih dari 10 Ampere dan setelah berjalan normal arus listrik sebesar 1,95 Amper hal ini disebabkan karena motor di asut dengan pengasutan secara Direct On Line (DOL) yang mengakibatkan arus start dapat mencapai 7 kali arus nominal motor. Pada saat start dan motor berjalan secara normal pada tegangan tidak mengalami penurunan tegangan.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Arus, Tegangan, RPM Motor dan Torsi Motor



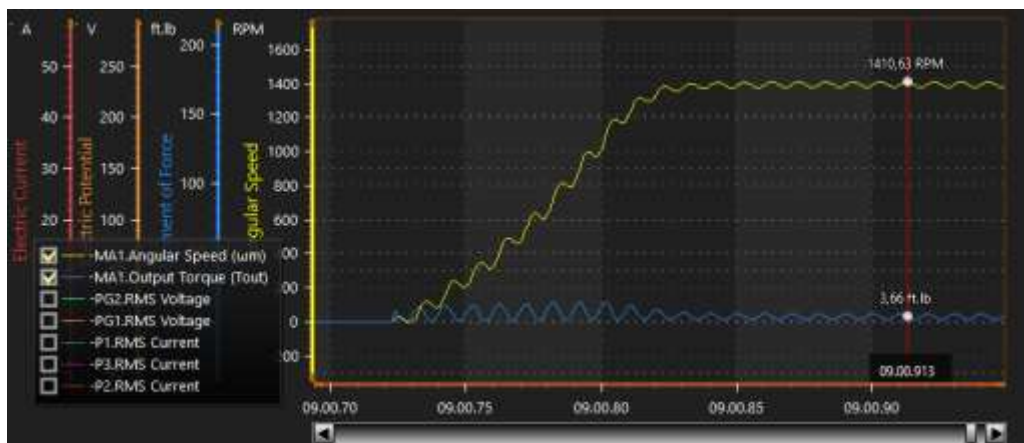
Gambar 3. Simulasi Model Rangkaian dengan Rheostat 100 Ohm pada Fasa L1

1. Penambahan Rheostat 100 Ohm Pada Salah Satu Fasa

Pada gambar 3 terlihat sistem rangkaian kontrol dan rangkain tenaga dari model yang di gunakan untuk menganalisis pengaruh beban tidak seimbang pada motor listrik. Pada rangkaian ini beban tidak seimbang disebabkan dengan penambahan Rheostat 100 Ohm pada fasa L1. Pada saat simulasi di jalankan di dapat data pengukuran yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Pada Motor Dengan Rheostat 100 Ohm

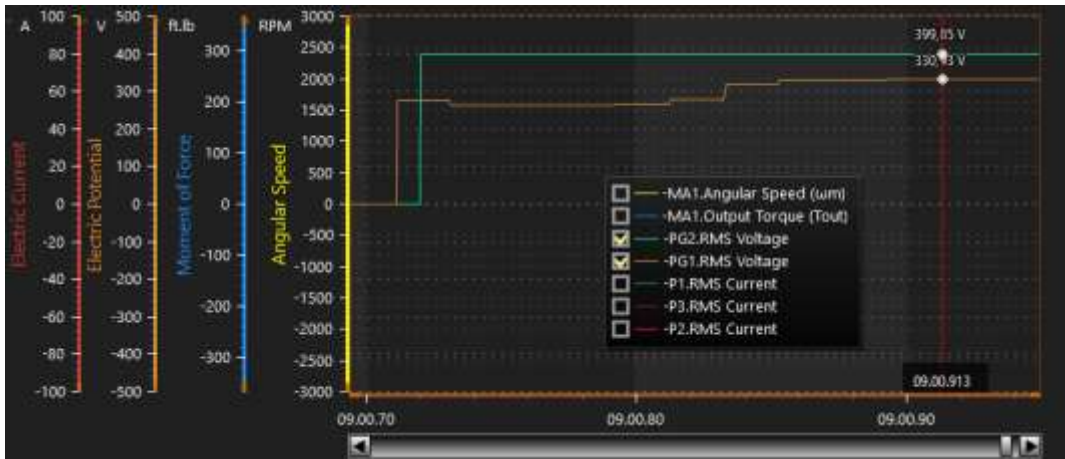
No.	Pengukuran	R	S	T
1	Tegangan	331,6 volt	399,8 volt	399,8 volt
2	Arus	1,5 A	2,2 A	2,2 A
3	RPM Motor	1410,6 RPM		
4	Torsi Motor	5,49 N.m / 3,66 lb.ft		



Gambar 4. Grafik Hubungan antara RPM Motor dan Torsi Motor dengan Rheostat 100 Ohm

Dari tabel 2 terlihat akibat dari penambahan rheostat pada fasa L1 mengakibatkan beban tidak seimbang pada motor. Sehingga mengakibatkan perubahan sebagai berikut :

- a. Pada torsi dan RPM motor : Motor memiliki beban sebesar 5,16 N.m yang di set secara tetap sebagai beban motor pada kondisi beban penuh. Dengan beban tidak seimbang pada motor sebesar 100 Ohm penambahan Rheostat pada fasa L1, sehingga RPM motor menjadi sebesar 1410,6 RPM yang mengalami penurunan dari 1430 RPM dengan torsi yang dihasilkan sebesar 5,49 N.m / 3,66 lb.ft
- b. Tegangan pada terminal Motor: Tegangan pada terminal motor pada S dan T tidak mengalami perubahan dan cenderung tetap. Tetapi pada fasa L1 yang terdapat Rheostat mengalami penurunan tegangan dari 399,9 volt menjadi 330,97 volt .



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dengan pemasangan rheostat 100 ohm

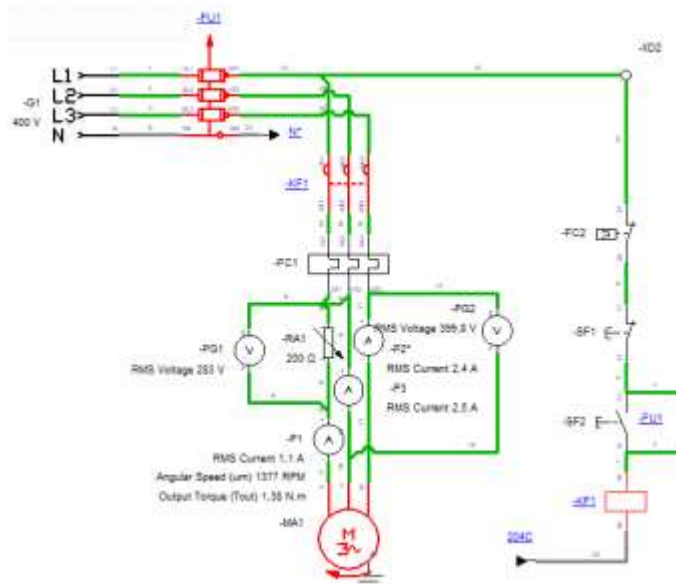


Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dengan pemasangan rheostat 100 ohm

c. Arus pada motor : Arus terlihat mengalami penurunan terutama pada fasa L1 yang terdapat rheostat sebesar 1,5 Ampere sedangkan tegangan pada fasa S sebesar 2,2 Ampere dan Fasa T sebesar 2,2 Ampere. Terlihat lonjakan arus pada saat start motor mendekati 10 Ampere yang disebabkan pengasutan motor dilakukan dengan pengasutan secara Direct On Line (DOL).

## 2. Penambahan Rheostat 200 Ohm Pada Salah Satu Fasa

Gambar 7 menunjukkan sistem rangkaian kontrol dan rangkain tenaga dari model yang di gunakan untuk menganalisis pengaruh beban tidak seimbang pada motor listrik. Pada rangkaian ini beban tidak seimbang disebabkan dengan penambahan Rheostat 200 Ohm pada fasa L1. Pada saat simulasi di jalankan di dapat data pengukuran yang disajikan pada tabel 3.



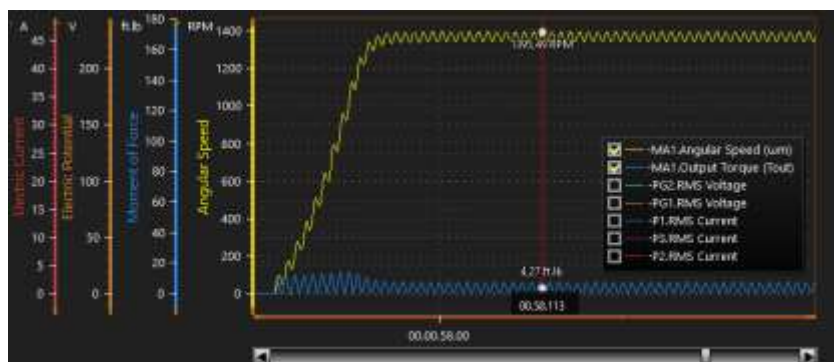
Gambar 7. Simulasi Model Rangkaian dengan Rheostat 200 Ohm pada Fasa L1

Tabel 3. Pengukuran pada Motor dengan Rheostat 200Ohm

No.	Pengukuran	R	S	T
1	Tegangan	283 volt	399,8 volt	399,8 volt
2	pArus	1,1 A	2,5 A	2,4 A
3	RPM Motor		1395,5 RPM	
4	Torsi Motor		5,55 N.m / 4,27lb.ft	

Dari tabel 3 terlihat akibat dari penambahan rheostat pada fasa L1 mengakibatkan beban tidak seimbang pada motor. Sehingga mengakibatkan perubahan sebagai berikut :

- Pada torsi dan RPM motor : Dari gambar 8 motor memiliki beban sebesar 5,16 N.m yang di set secara tetap sebagai beban motor pada kondisi beban penuh. Dengan beban tidak seimbang pada motor sebesar 200 Ohm penambahan Rheostat pada fasa L1, sehingga RPM motor menjadi sebesar 1395,5 RPM yang mengalami penurunan dari 1430 RPM dengan torsi yang dihasilkan sebesar 5,55 N.m / 4,27lb.ft

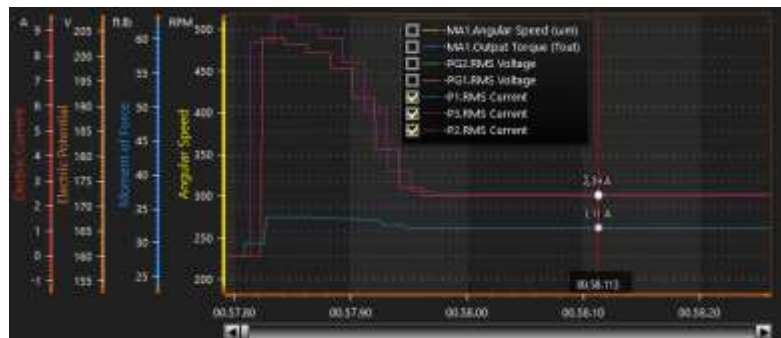


Gambar 8. Grafik Hubungan antara RPM Motor dan Torsi Motor dengan Rheostat 200 Ohm



Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan dengan Pemasangan Rheostat 200 Ohm

- b. Tegangan pada terminal Motor: Pada gambar 9 terlihat tegangan pada terminal motor pada S dan T tidak mengalami perubahan dan cenderung tetap. Tetapi pada fasa L1 yang terdapat Rheostat mengalami penurunantegangan dari 399,78 volt menjadi 283 volt .

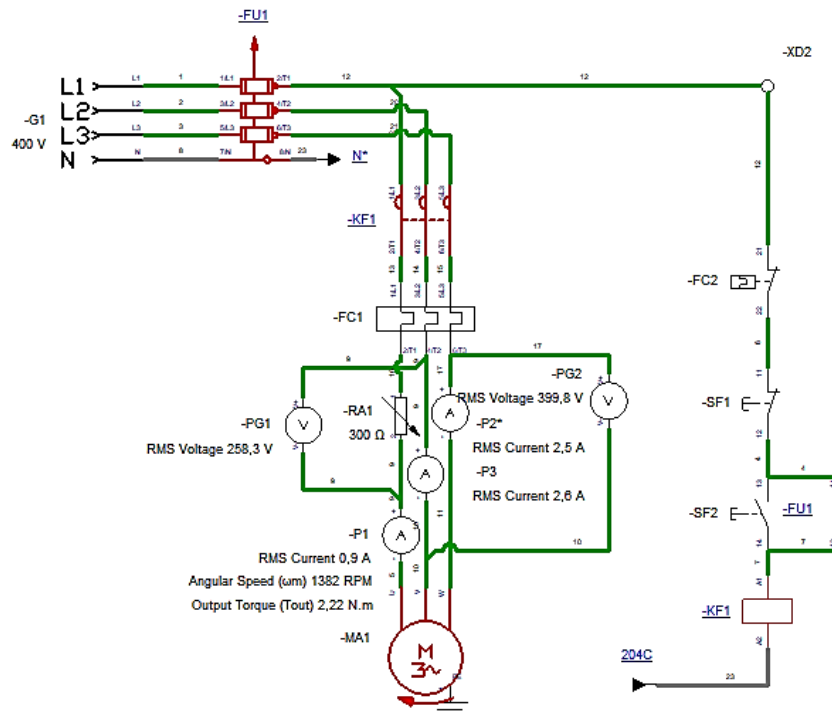


Gambar 10. Grafik Hubungan Arus dengan Pemasangan Rheostat 200 Ohm

- c. Arus pada motor : Pada gambar 10 Grafik hubungan arus dengan pemasangan rheostat 200 ohm Arus terlihat mengalami penurunan terutama pada fasa L1 yang terdapat rheostat sebesar 1,1 Ampere sedangkan tegangan pada fasa S sebesar 2,5 Ampere dan Fasa T sebesar 2,4 Ampere. Terlihat lonjakan arus pada saat start motor hampir sebesar 10 Ampere yang disebabkan pengasutan motor dilakukan dengan pengasutan secara Direct On Line (DOL).

### 3. Penambahan Rheostat 300 Ohm Pada Salah Satu Fasa

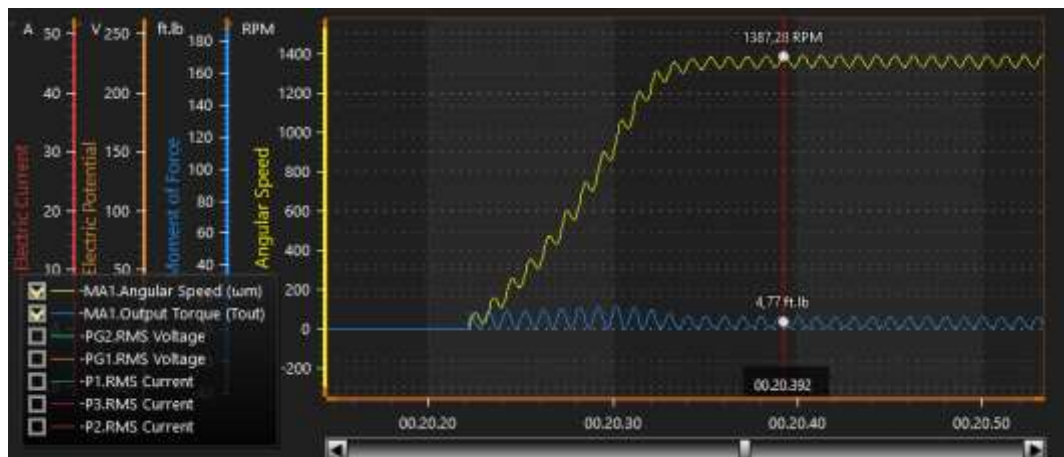
Tampilan gambar 11 adalah sistem rangkaian kontrol dan rangkain tenaga dari model yang di gunakan untuk menganalisis pengaruh beban tidak seimbang pada motor listrik. Pada rangkaian ini beban tidak seimbang disebabkan dengan penambahan Rheostat 300 Ohm pada fasa L1.



Gambar 11. Simulasi Model Rangkaian dengan Rheostat 300 Ohm pada Fasa L1

Tabel 4. Pengukuran pada Motor dengan Rheostat 300 Ohm

No.	Pengukuran	R	S	T
1	Tegangan	258,3 volt	399,8 volt	399,8 volt
2	Arus	0,9 A	2,6 A	2,5 A
3	RPM Motor		1387 RPM	
4	Torsi Motor		5,58 Nm / 4,77 lb.ft	

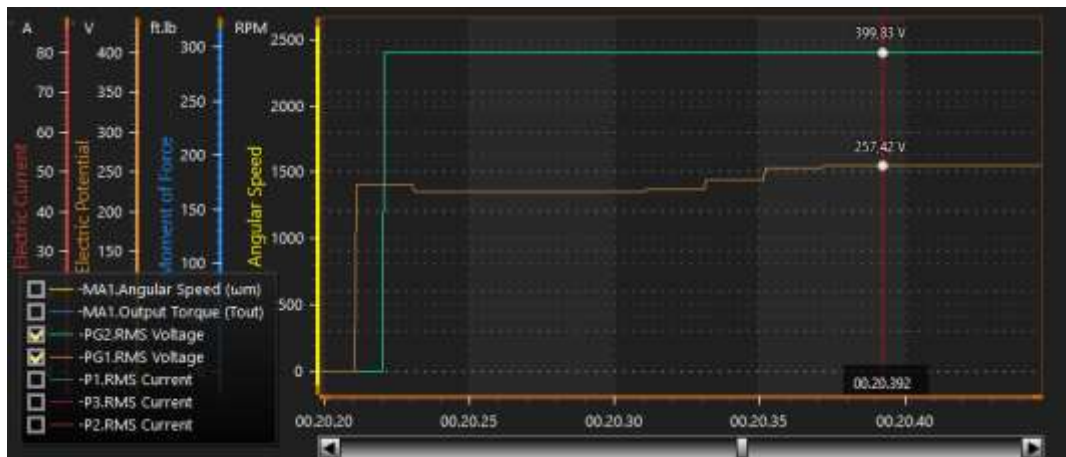


Gambar 12. Grafik Hubungan antara RPM Motor dan Torsi Motor dengan Rheostat 300 Ohm

Pada saat simulasi di jalankan di dapat data pengukuran yang disajikan pada tabel 4 diatas. Dari tabel 4 terlihat akibat dari penambahan rheostat pada fasa L1 mengakibatkan beban tidak seimbang pada motor. Sehingga mengakibatkan perubahan sebagai berikut :

- Pada torsi dan RPM motor : Motor memiliki beban sebesar 5,16 N.m yang di set secara

tetap sebagai beban motor pada kondisi beban penuh. Dengan beban tidak seimbang pada motor sebesar 300 Ohm penambahan Rheostat pada fasa L1, sehingga RPM motor menjadi sebesar 1387 RPM yang mengalami penurunan dari 1430 RPM dengan torsi yang dihasilkan sebesar 5,58 Nm / 4,77 lb.ft, dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 13. Grafik Hubungan Tegangan dengan Pemasangan Rheostat 300 Ohm

- b. Tegangan pada terminal Motor: Pada Gambar 13 Grafik Tegangan pada terminal motor pada S dan T tidak mengalami perubahan dan cenderung tetap. Tetapi pada fasa L1 yang terdapat Rheostat mengalami penurunan tegangan dari 399,78 volt menjadi 257,42 volt.



Gambar 14. Grafik Hubungan Arus dengan Pemasangan Rheostat 300 Ohm

- c. Arus pada motor : Pada Gambar 14 Grafik hubungan arus dengan pemasangan rheostat 300 ohm Arus terlihat mengalami penurunan terutama pada fasa L1 yang terdapat rheostat sebesar 0,9 Ampere sedangkan tegangan pada fasa S sebesar 2,6 Ampere dan Fasa T sebesar 2,5 Ampere. Terlihat lonjakan arus pada saat start motor hampir 10 Ampere yang disebabkan pengasutan motor dilakukan dengan pengasutan secara Direct On Line (DOL).

#### 4. Analisis Kinerja Motor Terhadap Beban Tidak Seimbang

Dari simulasi diatas dapat kita lihat daya dan effesiensi dari kinerja motor sebagai berikut

a. Daya motor  $P = \sqrt{3} x V x I x \text{Cos } \varphi$

$$1. P1 = \sqrt{3} x V x I x \text{Cos } \varphi \\ = \sqrt{3} x 400 x 1,95 x 0,8 = 1080,80 \text{ watt}$$

$$2. P1 = \sqrt{3} x V x I x \text{Cos } \varphi \\ = \sqrt{3} x 400 x 1,5 x 0,8 = 831,38 \text{ watt}$$

$$3. P1 = \sqrt{3} x V x I x \text{Cos } \varphi \\ = \sqrt{3} x 400 x 1,1 x 0,8 = 609,68 \text{ watt}$$

$$4. P1 = \sqrt{3} x V x I x \text{Cos } \varphi \\ = \sqrt{3} x 400 x 0,9 x 0,8 = 498,83 \text{ watt}$$

b. Effisiensi motor  $\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} x 100 \%$

$$1. \eta1 = \frac{1080,08}{1100} x 100 \% = 98,25 \%$$

$$2. \eta1 = \frac{831,38}{1100} x 100 \% = 75,58 \%$$

$$3. \eta1 = \frac{609,68}{1100} x 100 \% = 55,43 \%$$

$$4. \eta1 = \frac{498,83}{1100} x 100 \% = 45,35 \%$$

Tabel 5. Data hasil analisis perubahan nilai tahanan

No.	Tahanan ( $\Omega$ )	Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Torsi (N.m)	$P_{out}$ (Watt)	Effisiensi ( $\eta$ )
1	0	400	1,95	1430	5,16	1080,08	98,25
2	100	331	1,5	1410	5,49	832,38	75,58
3	200	283	1,1	1395	5,55	609,68	55,43
4	300	258	0,9	1387	5,58	498,83	45,35

Dari hasil analisis kinerja motor induksi tiga fasa dengan menambahkan rheostat pada salah satu fase stator dan mensimulasikannya menggunakan software Automation Studio. Mengindikasikan bahwa ketidakseimbangan arus akibat modifikasi resistansi berdampak negatif pada kinerja motor induksi, mempengaruhi putaran, torsi, tegangan, arus, daya, dan efisiensi. Besarnya nilai tahanan yang mengakibatkan beban tidak seimbang memberikan pengaruh pada turunnya arus pada motor yang memberikan pengaruh terhadap turunnya tegangan, RPM motor dan daya keluaran motor.

## SIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi dampak modifikasi resistansi pada stator motor induksi tiga fasa dengan menambahkan rheostat dan mensimulasikannya menggunakan software Automation Studio. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan rheostat menyebabkan ketidakseimbangan arus yang signifikan, berdampak pada penurunan RPM motor dari 1430 menjadi 1387 RPM, serta peningkatan torsi dari 5,16 N.m menjadi 5,58 N.m. Tegangan pada fase yang dimodifikasi menurun dari 399,78 volt menjadi 258,3 volt, dan arus berkurang dari 1,95 A menjadi 0,9 A. Daya motor menurun dari 1080,08 watt menjadi 498,83 watt, dan efisiensi turun dari 98,25% menjadi 45,35%. Kesimpulannya, ketidakseimbangan arus akibat modifikasi resistansi secara negatif mempengaruhi kinerja motor induksi tiga fasa, menurunkan putaran, daya, dan efisiensi, sementara meningkatkan torsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fan, F., Zhao, Z., Jie, H., Sun, Q., Tu, P., Shu, Z., Wang, W., & See, K. Y. (2022). Impact of Motor Stator Winding Faults on Motor Differential-mode Impedance and Mode Transformation. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, *8*(3), 12–21.
- Filina, O. A., Martyushev, N. V, Malozyomov, B. V, Tynchenko, V. S., Kukartsev, V. A., Bashmur, K. A., Pavlov, P. P., & Panfilova, T. A. (2023). Increasing the Efficiency of Diagnostics in the Brush-Commutator Assembly of a Direct Current Electric Motor. *Energies*, *17*(1), 17.
- Ghinea, M., Agud, M., & Bodog, M. (2020). Simulation of pneumatic systems using automation studio™ software platform. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, *19*(4).
- Jassim, A. H., Hussein, A. A., & Abbas, L. F. (2021). The Performance of a Three-Phase Induction Motor under and over Unbalance Voltage. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, *28*(2), 15–32.
- Li, Z., Wu, L., Chen, Z., Shi, Y., Qiu, L., & Fang, Y. (2020). Single-and two-phase open-circuit fault tolerant control for dual three-phase PM motor without phase shifting. *IEEE Access*, *8*, 171945–171955.
- Makinde, K. A., Bakare, M. S., Akinloye, B. O., Amole, A. O., Adewuyi, O. B., Zubair, U. O., & Owonikoko, W. O. (2023). Simulation based testing and performance investigation of induction motor drives using matlab simulink. *SN Applied Sciences*, *5*(3), 73.

- Naim, M. (2020). Pengaruh Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi Satu Phasa Starting Kapasitor Pada Mesin Bor Meja Terhadap Arus dan Daya listrik serta Putaran Motor. *Vertex Elektro*, 12(2), 34–43.
- Olarinoye, G., Akorede, M., & Akinropo, C. (2022). Design and simulation of a three-phase induction motor speed control system. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 7(1).
- Saikumar, T. S. S., Bandaru, C. R., & others. (2021). Design and simulation of automated pad printing machine using automation studio. *Materials Today: Proceedings*, 45, 2871–2877.
- Tan, L. M. H. (2021). *Development of variable voltage variable frequency drive system for induction motor speed control*. Universiti Tun Hussein Malaysia.
- Thanabal, N. (2023). *Efficacy and enactment of variable speed drive in various electrical induction motor application*. UTAR.
- Usman, A., & Rajpurohit, B. S. (2021). Condition monitoring of a surface mounted permanent magnet-type brushless direct current motor using remodelling of rotor magnetic field and stator winding inductance. *IET Electrical Systems in Transportation*, 11(2), 81–98.
- Verma, A. K., Nagpal, S., Desai, A., & Sudha, R. (2021). An efficient neural-network model for real-time fault detection in industrial machine. *Neural Computing and Applications*, 33, 1297–1310.