

Studi Analisis Pengaruh Desain 9-Fasa Simetris Terhadap Efisiensi Motor Induksi 3-Fasa Dengan Sistem 3 Lapis Kumputaran 3-Fasa

Falmi Ade Saputra¹ Zulkarnaini² Zuriman Anthony³ Yusreni Warmi⁴ Andi Syofian⁵
Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat,
Indonesia^{1,2,3,4,5}

Email: 2020310021.falmi@itp.ac.id¹

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh belitan 9 fasa terhadap efisiensi motor induksi berdasarkan desain semetris 3 fasa. Dengan menggunakan sumber 3 fasa, dengan tujuan terciptannya motor induksi 3 fasa baru yang performanya lebih baik tanpa memerlukan biaya tambahan yang mahal untuk menjalankan motornya. Penelitian dimulai dengan mendata motor induksi yang digunakan. Motor induksi M1 dan M2 dilakukan pengujian atau uji coba untuk diambil data awal berupa arus, tegangan, faktor daya, efisiensi, torsi dan kecepatan. Lilitan motor diubah dengan desain 9-fasa sistem tiga lapis simetris kemudian menghubukannya dengan kumputaran yang bekerja selayaknya sistem 3-fasa. Kecepatan pada motor induksi 3-fasa konvensional dengan desain 9-fasa simetris terhadap efisiensi lebih cepat dibandingkan motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumputaran 3-fasa dikarenakan kecepatan efisiensinya yang lebih besar. Efisiensi motor induksi 3-Fasa desain 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumputaran 3 fasa menghasilkan efisiensi lebih tinggi di bandingkan motor induksi 3-Fasa konvensional. Hal ini dikarenakan motor induksi 3-Fasa desain 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumputaran 3 fasa.

Kata Kunci: Belitan, Efisiensi, Kecepatan, Konvensional, Motor Induksi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

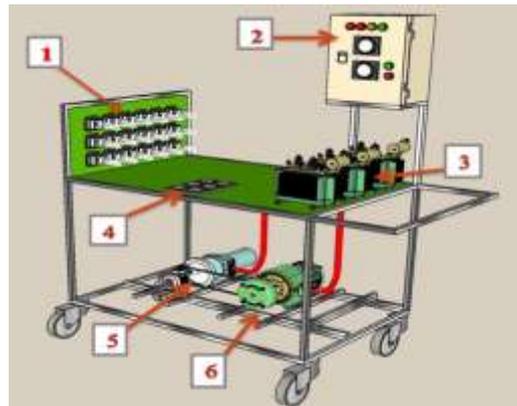
Motor induksi adalah motor listrik yang banyak digunakan di banyak sektor, terutama dalam aplikasi industri dan rumah, karena motor ini mempunyai konstruksi yang sederhana dan kuat[1][2][3]. Motor induksi yang banyak digunakan sekarang ialah motor iduksi 3-fasa dan motor induksi 1-fasa[2]. Motor induksi 3-fasa mempunyai 3 buah kumputaran yang identik sama yang secara konstruksi berjarak 120 derajat listrik[4]. sehingga motor ini mampu bekerja dengan kecepatan arus yang sama dengan kondisi beban bervariasi[5]. Motor induksi 1 fasa biasanya bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator yang seolah olah berputar sampai kerotornya, dan biasa banyak digunakan pada peralatan rumah tangga seperti pompa, kipas angin, mesin cuci dan lain-lain. Selain motor induksi 3fasa memiliki banyak kelebihan, motor ini juga memiliki kekurangan, seperti efisiensi rendah, faktor daya yang rendah, kinerja motor induksi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan motor listrik yang lain seperti motor sinkron. Motor Induksi ini mempunyai efisiensi yang lebih rendah dari motor sinkron sehingga mengkonsumsi energi yang lebih boros [5]. Sangat dibutuhkan motor induksi 3 fasa dengan efisiensi yang lebih tinggi dan torsi yang lebih besar. Namun, perlu diingat biaya bahan yang terkait dengan meningkatkan kinerja motor. Oleh karena itu, diperlukan motor induksi baru yang memiliki kinerja yang lebih baik, terutama dengan motor induksi 3-fasa dengan efisiensi motor induksi 3-fasa yang handal dan efektif. Untuk meningkatkan kinerja motor induksi 3 fasa, upaya telah dilakukan untuk memperluas desain simetris 9 fasa ke belitan motor induksi 3 fasa yang efisien.[3] ini termasuk desain kumputaran 3-fasa[6] [7]. Dengan menggunakan kumputaran untuk mensuplai motor, perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan hasil dengan harapan

terjadinya peningkatan dari kinerja motor induksi 3 fasa sehingga juga dapat dilakukan dengan biaya operasional yang lebih rendah. Motor induksi tiga fasa mempunyai banyak kelebihan, namun juga memiliki kelemahan dibandingkan dengan motor listrik lainnya seperti motor sinkron, motor induksi memiliki efisiensi yang lebih rendah, faktor daya yang lebih rendah, dan daya yang lebih rendah. Motor induksi ini kurang efisien dibandingkan motor sinkron sehingga mengkonsumsi energi lebih banyak. Solusi yang bisa ditemukan pada penelitian ini untuk meningkatkan efisiensi motor induksi 3-fasa adalah dengan mengembangkan desain kumparan motor induksi 3-fasa dengan desain 9-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa karena desain ini merupakan desain 9-fasa yang sederhana yang hanya menggabungkan 3 buah desain kumparan 3-fasa. Kumparan ini dibentuk dengan desain simetris dengan menggeser kumparan 3 fasa sebesar 40° . Desain 9 fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi ini dipilih karena merupakan desain terbaik untuk standar motor induksi 9 fasa dengan frekuensi 50 Hz [8]. Desain yang akan dirancang pada kumparan motor pada penelitian ini akan dibuat sebaik-baiknya dengan memperhatikan tata letak dan arah lilitan kumparan stator sehingga saat motor induksi beroperasi pada sistem kumparan 3 fasa akan bekerja seperti motor induksi 9-fasa.

Penelitian ini sangat penting dilakukan agar diketahui bagaimana pengaruh desain kumparan 9-fasa ini terhadap efisiensi motor yang didesain berbasis desain 3-fasa simetris. Karena motor ini menggunakan sumber 3-fasa maka diharapkan akan tercipta motor induksi 3-fasa baru dengan kinerja yang lebih baik tanpa memerlukan biaya tambahan yang mahal untuk mengoperasikan motor. Dengan penelitian ini juga diharapkan dapat memperluas pengetahuan mengenai pengaruh pengembangan desain kumparan motor induksi 3-fasa dengan desain kumparan 3-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3-fasa. Kajian ini tentunya penting untuk dilakukan agar kita mengetahui bagaimana pengaruh belitan 9 fasa terhadap efisiensi motor induksi berdasarkan desain simetris 3 fasa. Karena motor ini menggunakan sumber 3 fasa, diharapkan dapat tercipta motor induksi 3 fasa baru yang performanya lebih baik tanpa memerlukan biaya tambahan yang mahal untuk menjalankan motornya. Penelitian ini juga berharap dapat memperluas pengetahuan mengenai pengaruh pengembangan belitan motor hubung singkat 3 fasa dengan desain belitan 3 fasa simetris terhadap efisiensi motor. Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini mengangkat judul “Studi Analisa Pengaruh Desain 9 Fasa Simetris Terhadap Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sistem 3 Lapis Kumparan 3 Fasa”

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah analisa untuk mengetahui pengaruh motor induksi desain 9-fasa simetris terhadap efisiensi dengan sistem 3 lapis kumparan 3-fasa. Dan juga menganalisa kinerja motor maka dilakukan percobaan dengan menguji motor di Laboraturium Sistem Tenaga Listrik Teknik Elektro Institut Teknologi Padang. dengan memvariasikan beban pada motor dan pengambilan data. Penelitian merupakan skala besar yang fokus pada studi analisis pengaruh disain 9-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa. Rangkaian pengujian sebagai mana terlihat pada gambar 1 di bawah ini:

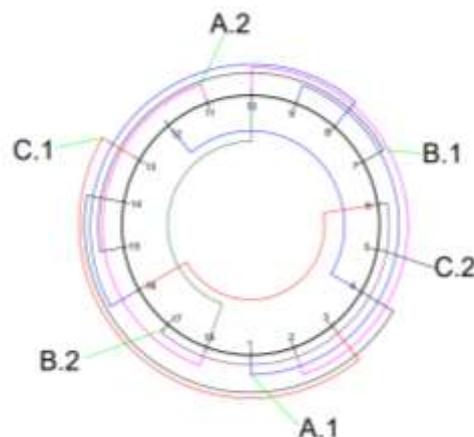


Gambar 1. Pengujian menggunakan Alat Ukur Power Quality Analyzer

Dari gambar rangkaian percobaan diatas dapat dijelaskan dimana pada penelitian yang akan dilaksanakan nanti beban yang akan digunakan berupa lampu pijar yang divariasikan sebagai beban pada saat penelitian. Beban menggunakan sumber tegangan 3-Fasa yang dihasilkan oleh generator, generator 3-Fasa disini digunakan untuk mengkonversikan energi gerak dari motor induksi menjadi energi listrik yang akan mensuplai energi listrik untuk beban. Motor induksi 3-Fasa dihubungkan dengan sumber 3-Fasa sebagai sumber tenaga motor induksi 3-Fasa untuk beroperasi. Untuk name plate pengujian pada mootor induksi dapat terlihat pada gambar 3 dibawah ini:

Rangkaian Motor Induksi 3-Fasa Konvensial

Untuk rangkaian pengujian mootor induksi 3-fasa konvensional dapat terlihat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Desain Kumparan Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

A1 (1,2 dan 9,10): kumparan slot 1 masuk ke kumparan slot 9 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. kumparan slot 2 masuk ke kumparan slot 10 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. B1 (7,8 dan 15,16) Kumparan slot 7 masuk ke slot 15 dengan ketentuan jarak 9 slot. Kumparan slot 8 masuk ke slot 16 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. C1 (13,3 dan 14,4) Kumparan slot 13 masuk ke kumparan slot 3 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. Kumparan 14 masuk ke kumparan 4 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. A2 (11,18): kumparan slot 11 masuk ke kumparan slot 18 dengan ketentuan jarak 8 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. B2 (17 dan 6): kumparan slot 17 masuk ke kumparan 6 dengan ketentuan jarak 8 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. C2

(5 dan 12): kumparan slot 5 masuk ke kumparan slot 12 dengan ketentuan jarak 8 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. Kumparan slot 6 masuk ke ke kumparan 13 dengan ketentuan jarak 8 slot 3 kumparan terdapat 114 lilitan kawat.

A1 dan A2 (10:18) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan

B1 dan B2 (6:16) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan

C1 dan C2 (4:12) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan

Name plate Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

Untuk name plate pengujian pada motor induksi dapat terlihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Name Plate Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

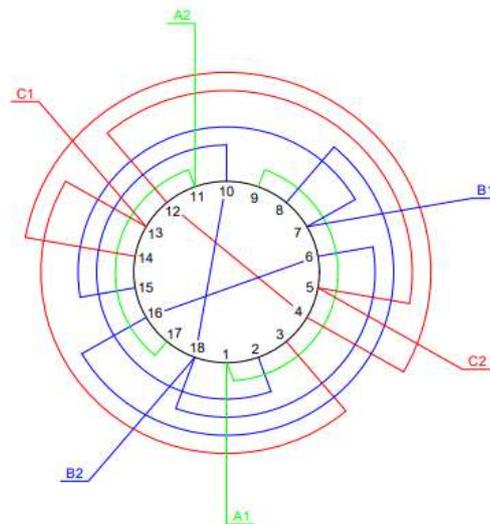
Dibawah ini adalah data name plate motor induksi 3-fasa konvensional, dapat terlihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Table 1. Name Plate Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

TYPE	Y801-2	
1 HP	220/380 V	50 Hz
CONN	3.1/1.8 A	2830 r/min
INS CL B	IP 44	S1
STANDARD	ISO9001 CE	NO

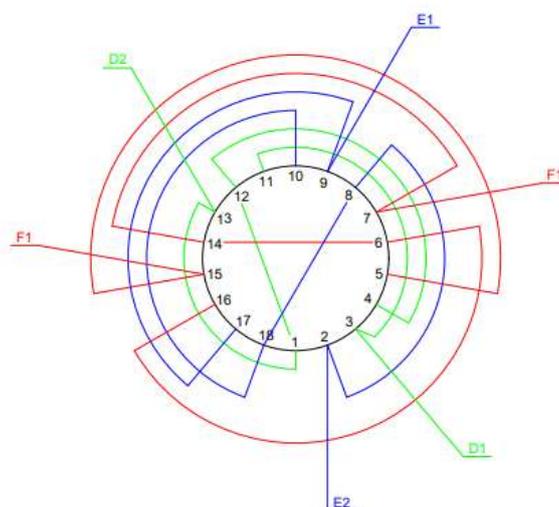
Lilitan Motor Induksi 9-Fasa Simetris

Total lilitan yang masing-masing pada slot 114 lilitan kawat dibagi 3 lapis menjadi 38 lilitan per lapisan, dan slot pada motor berjumlah 18 slot, dengan ketentuan jarak 9 slot, dengan ukuran kawat 0,60 Mm dan berat kawat 1,2 Kg. Lilitan motor induksi 9-fasa untuk lapisan 1 sebagai mana terlihat pada gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4. Desain Kumbaran 3-fasa pada lapisan ke-1 untuk desain kumbaran 9-fasa

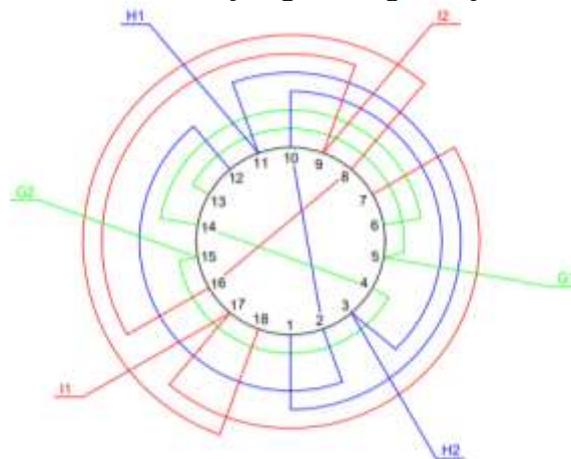
A1 (1,2 dan 9,10): kumbaran slot 1 masuk ke kumbaran slot 9 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumbaran 114 lilitan kawat. dan slot 2 masuk ke kumbaran 10 dengan jarak 9 dan terdapat kumbaran 114 lilitan kawat. B1 (7,8 dan 15,16) Kumbaran slot 7 masuk ke slot 15 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumbaran 114 lilitan kawat. slot 8 masuk ke slot 16 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumbaran 114 lilitan kawat. C1 (13,3 dan 14,4) Kumbaran slot 13 masuk ke kumbaran 3 slot dengan ketentuan jarak 9 dan terdapat kumbaran 114 lilitan kawat. dan terdapat 114 lilitan kawat. Kumbaran 14 masuk ke kumbaran 4 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumbaran terdapat 114 lilitan kawat. A2 (11,18): kumbaran slot 11 masuk ke kumbaran slot 18 dengan ketentuan jarak 7 slot 3 kumbaran terdapat 114 lilitan kawat. B2 (18 dan 6): kumbaran slot 18 masuk ke kumbaran 6 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumbaran terdapat 114 lilitan kawat. C2 (5,12): kumbaran slot 5 masuk kekumbaran slot 12 dengan ketentuan jarak 8 slot dan kumbaran terdapat 114 lilitan kawat. A1 dan A2 (10:18) sebagai garis lurus untuk penghubung kumbaran B1 dan B2 (6:16) sebagai garis lurus untuk penghubung kumbaran C1 dan C2 (4:12) sebagai garis lurus untuk penghubung kumbaran.



Gambar 5. Desain Kumbaran 3-fasa pada lapisan ke-2 untuk desain kumbaran 9-fasa

D1 (3,4 dan 11,12): kumparan slot 3 masuk ke kumparan slot 11 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. dan slot 4 masuk ke kumparan 12 dengan jarak 9 dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. E1 (9,10 dan 17,18) Kumparan slot 9 masuk ke slot 17 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. slot 10 masuk ke slot 118 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. F1 (15,16 dan 3,4) Kumparan slot 15 masuk ke kumparan 3slot dengan ketentuan jarak 9 dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat.. Kumparan 16 masuk ke kumparan 4 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. D2 (13,1): kumparan slot 13 masuk ke kumparan slot 1 dengan ketentuan jarak 7 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. E2 (2 dan 8): kumparan slot 2 masuk ke kumparan 8 dengan ketentuan jarak 7 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. F2 (7,14): kumparan slot 7 masuk kekumparan slot 14 dengan ketentuan jarak 7 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat.

D1 dan D2 (6:14) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan
E1 dan E2 (8:18) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan
F1 dan F2 (12:1) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan.



Gambar 6. Desain Kumparan 3-fasa pada lapisan ke-3 untuk desain kumparan 9-fasa

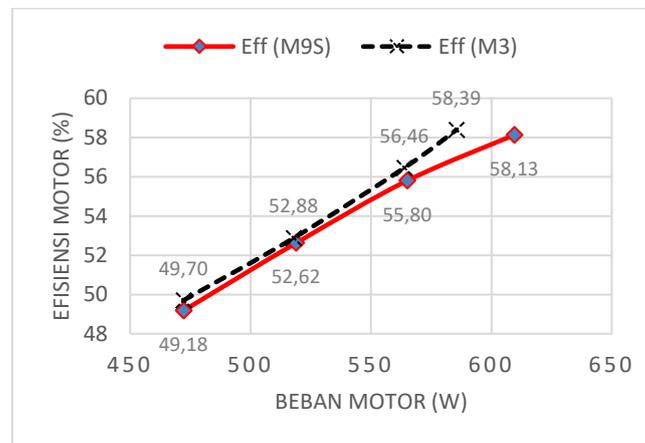
G1 (5,6 dan 13,14): kumparan slot 5 masuk ke kumparan slot 13 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. dan slot 6 masuk ke kumparan 14 dengan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. H1 (11,12 dan 3,2) Kumparan slot 11 masuk ke slot 3 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. slot 12 masuk ke slot 2 dengan ketentuan jarak 9 slot dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. I1 (17,18 dan 7,8) Kumparan slot 17 masuk ke kumparan 7slot dengan ketentuan jarak 9 dan terdapat kumparan 114 lilitan kawat. Kumparan 18 masuk ke kumparan 8 dengan ketentuan jarak 9 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. G2 (15,4): kumparan slot 15 masuk ke kumparan slot 4 dengan ketentuan jarak 8 slot dan terdapat 114 lilitan kawat. H2 (3 dan 10): kumparan slot 3 masuk ke kumparan 10 dengan ketentuan jarak 8 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat. I2 (9,16): kumparan slot 9 masuk ke kumparan slot 16 dengan ketentuan jarak 8 slot dan kumparan terdapat 114 lilitan kawat.

G1 dan G2 (14:4) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan
H1 dan H2 (2:10) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan
I1 dan I2 (8:16) sebagai garis lurus untuk penghubung kumparan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan menunjukkan data-data berupa gambar, grafik, angka-angka dan lain-lain yang merupakan hasil eksperimen yang telah dilakukan disertai dengan analisis

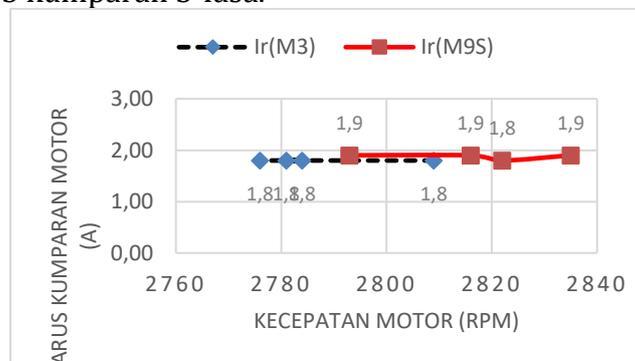
ilmiahnya Setelah dilakukan perhitungan nilai pada pengujian motor induksi 3-fasa konvensional dan hasil perhitungan nilai motor induksi desain 9-fasa 3 lapis kumpara 3-fasa. Maka didapatkan grafik perbandingan antara efisiensi, antara ouput dan juga antara input dapat dilihat perbandingannya pada gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan grafik efisiensi motor induksi 3 fasa konvensional dengan motor desain 9 fasa simetris terhadap 3 lapis 3 kumparan

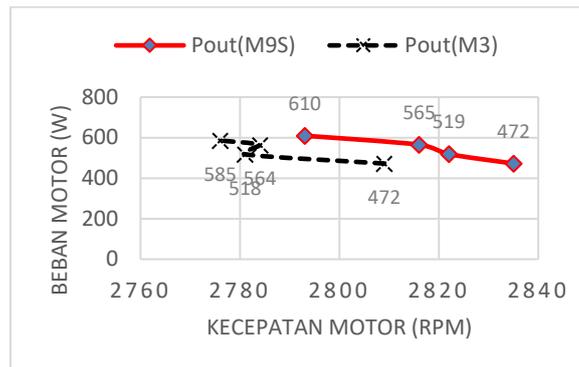
Dari gambar 7 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Data motor 3-fasa konvensional berwarna hitam melihat perbandingan antara efisiensi terhadap beban
2. Data motor 3-fasa dengan desain 9-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem lapis 3 kumparan 3-fasa.



Gambar 8. Perbandingan grafik Arus motor induksi 3 fasa konvensional dan motor desain 9 fasa simetris terhadap 3 lapis 3 kumparan 3-fasa

Dari hasil gambar grafik arus dan efisiensi, motor yang didesain 9 fasa simetris terhadap 3 lapis 3 kumparan mempunyai tenaga yang lebih kuat di bandingkan motor induksi 3 fasa. Hal ini dikarenakan terjadi nya fluks yang saling berdempatan, sehingga arus meningkat sedangkan efisiensi nya turun. Secara keseluruhan, grafik di atas menunjukkan bahwa motor induksi 3 fasa (M3) memiliki kinerja yang lebih konsisten dalam mempertahankan kecepatan motor, Sedangkan motor kumparan 9 fasa (M9) lebih sensitif terhadap perubahan beban, yang terlihat dari penurunan kecepatan yang drastis. Dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Beban Motor Induksi

Pembahasan

Pada penelitian motor induksi 3-fasa konvensional dan motor induksi 3-fasa yang didesain 9-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem lapis 3 kumparan 3-fasa dengan mengoperasikan motor dalam keadaan tanpa beban, motor dioperasikan berbeban generator, dan motor dioperasikan berbeban generator yang diberi beban lampu pijar dengan jumlah lampu yang divariasikan dapat dilihat data pengukuran serta hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Dari hasil data penelitian pengaruh desain 9-fasa simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa pada motor induksi 3-fasa menunjukkan bahwa desain 9-fasa simetris lebih baik, kondisi ini terjadi karena kerapatan pada desain simetris lebih rapat dibandingkan desain motor konvensional terlihat bahwa dengan kerapatan 9-fasa simetris dengan 3-fasa yang meningkat maka terjadi peningkatan gaya tekan sehingga meningkatnya kemampuan motor dikarenakan terjadi peningkatan kerapatan sehingga meningkatkan efisiensi terhadap beban mengacu pada grafik Gambar 7 terlihat bahwa dengan kerapatan kumparan 9-fasa simetris yang meningkat kemampuan motor dikarenakan terjadinya peningkatan kerapatan sehingga meningkatkan efisiensi beban mengacu pada grafik Gambar 8 dan 9 sehingga meningkatkan efisiensi motor yang di desain 9-fasa simetris.
2. Pada motor induksi 3-fasa konvensional desain 9-fasa simetris dengan sistem 3 lapis kumparan 3-fasa memiliki hasil efisiensi yang tidak sama dengan motor induksi 3-fasa konvensional. Hal ini dikarenakan jarak desain kumparan antaran kedua motor berbeda, yang membedakannya yaitu bentuk medan vektor masing-masing motor. Motor induksi 3-fasa konvensional memiliki desain kumparan satu lapisan jarak 120 derajat sedangkan motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris memiliki bentuk desain kumparan 3 lapis berjarak 20 derajat. Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa hubungan antara daya output motor terhadap efisiensi berbanding lurus, dikarenakan semakin besar daya output pada motor, maka semakin besar efisiensi yang dihasilkan begitupun sebaliknya. Pada hubungan efisiensi terhadap output berbanding terbalik dari hubungan motor. Dikarenakan semakin besar efisiensi pada motor maka semakin kecil daya output yang dihasilkan pada motor karena ada perubahan beban.

KESIMPULAN

1. Efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa, kecepatan motor induksi 3- Fasa Konvensional lebih cepat dibandingkan motor induksi 3-Fasa 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa, Dikarenakan kecepatan efisienai Motor induksi 3-Fasa desain 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa lebih besar dari motor

induksi 3-Fasa Konvensional. Semakin tinggi efisiensi kecepatan maka semakin rendah kecepatan pada motor begitu juga sebaliknya.

2. Efisiensi motor induksi 3-Fasa desain 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa menghasilkan efisiensi lebih tinggi di bandingkan motor induksi 3-Fasa konvensional. Hal ini dikarenakan motor induksi 3-Fasa desain 9-Fasa Simetris terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa dengan sistem 3 lapis kumparan 3 fasa.
3. Motor kumparan 9-fasa (M9) memerlukan arus yang lebih tinggi pada setiap tingkat kecepatan dibandingkan dengan motor induksi 3-fasa (M3), yang menunjukkan bahwa motor M9 kurang efisien dalam penggunaan arus listrik. Motor induksi 3-fasa lebih efisien karena dapat mempertahankan kecepatan yang hampir sama dengan motor M9 dengan arus yang lebih rendah

DAFTAR PUSTAKA

- A. K. Sahoo dan R. K. Jena, "Torque Quality Improvement in Induction Motor for Electric Vehicle Application Based on Teamwork Optimization," *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 20, no. 4, hlm. 359–379, 2023,
- A. Madhukar Rao, S. Keerthipati, B. Prathap Reddy, dan M. Sahoo, "A fault-tolerant multilevel inverter for improving the performance of a pole-phase modulated nine-phase induction motor drive," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 2, hlm. 1107–1116, Jul 2017.
- A. Simion, L. Livadaru, and A. Munteanu, "Mathematical Model of the Three-Phase Induction Machine for the Study of Steady-State and Transient Duty Under Balanced and Unbalanced States," *Induction Mot. - Model. Control*, pp. 3–44, 2012,
- A. W. Senior et al., "Improved protein structure prediction using potentials from deep learning," *Nature*, vol. 577, no. 7792, pp. 706–710, 2020,
- D. Y. P. Rambe, Z. Anthony, E. Erhaneli, A. Yuana Dewi, and Z. Zulkarnaeni, "Analisa Pengaruh Desain 6 Fasa dengan Sistem 1 Lapis dan 3 Medan Fluks pada Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Torsi dan Kecepatan Motor," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 5, no. 2, pp. 140–149, 2023,
- E. Firnanda and Z. Anthony, "Studi Pengaruh Desain Kumparan 9-Fasa Dengan Modifikasi Bentuk Susunan Magnet Stator Terhadap Efisiensi Dan Faktor Daya," pp. 103–109.
- J. K. Pandit, S. Member, M. V Aware, S. Member, R. Nemade, dan E. Levi, "Direct torque control scheme for a six-phase induction motor with reduced torque ripple Direct torque control scheme for a six-phase induction motor with reduced torque ripple Direct Torque Control Scheme for a Six-Phase Induction Motor with Reduced Torque Ripple," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 32, no. 9, hlm. 7118–7129, 2016,
- L. Yi, Y. Liu, W. Yu, dan J. Zhao, "A novel nonlinear observer for fault diagnosis of induction motor," *J Algorithm Comput Technol*, vol. 14, 2020,
- N. El Ouanjli dkk., "Modern improvement techniques of direct torque control for induction motor drives-A review," *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 4, no. 1. Springer, 1 Desember 2019.
- R. Gianto, A. Hiendro, dan P. Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro, "Evaluasi Kinerja Motor Induksi 3 Fasa 100 Hp / 75 Kw Pada Panel Star-Delta Di Pdam Tirta Raya Adi Sucipto Kubu Raya."
- R. Gianto, A. Hiendro, dan P. Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro, "Evaluasi Kinerja Motor Induksi 3 Fasa 100 Hp / 75 Kw Pada Panel Star-Delta Di Pdam Tirta Raya Adi Sucipto Kubu Raya."

- Y. Xie, C. Pi, dan Z. Li, "Study on design and vibration reduction optimization of high starting torque induction motor," *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 7, Apr 2019,
- Z. Anthony and E. Erhaneli, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa," pp. 245–249, 2017,
- Z. Anthony and E. Erhaneli, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa," no. January, pp. 245–249, 2017,
- Z. Anthony, E. Erhaneli, and Z. Zulkarnaini, "Windings design for single-phase induction motors base on 4-phase induction motor (Case study: Identical windings design)," *MATEC Web Conf.*, vol. 215, pp. 1–4, 2018,
- Z. Anthony, S. Bandri, Erhaneli, Y. Warmi, Zulkarnaini, and Firdaus, "Analisa Pengaruh Desain 6 Kumparan Simetris pada Motor Induksi 3-fasa terhadap Efisiensi dan Faktor Daya Motor," pp. 233–242, 2022.
- Z. Liu, Z. Zheng, and Y. Li, "Enhancing Fault-Tolerant Ability of a Nine-Phase Induction Motor Drive System Using Fuzzy Logic Current Controllers," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 32, no. 2, pp. 759–769, 2017,
- Z. Yang, Q. Ding, X. Sun, J. Ji, dan Q. Zhao, "Design and analysis of a novel wound rotor for a bearingless induction motor," *International Journal of Electronics*, vol. 106, no. 12, hlm. 1829– 1844, 2019,