

Analisis Pagaruh Desain Kumparan 9-Fasa Simetris Terhadap Daya Keluaran dan Faktor Daya Motor Induksi 3-Fasa

Cayani Dai Putri¹ Zuriman Anthony² Sapannur Bandri³ Sitti Amalia⁴ Anggun Anugrah⁵

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Kot Padang, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia^{1,2,3,4,5}

Email: namapenulis@institutusi.ac.id¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh desain kumparan 9-fasa simetris terhadap daya output dan faktor daya motor induksi 3-fasa. Motor induksi dipilih dalam penelitian ini dikarenakan strukturnya yang sederhana, serta keandalan dan daya tahannya yang tinggi. Penelitian ini mengembangkan kinerja motor induksi 3-fasa menjadi kumparan 9-fasa dengan harapan dapat meningkatkan kinerja motor induksi tanpa memerlukan sumber tenaga tambahan. Desain kumparan 9-fasa simetris ini menggunakan gabungan 3 kumparan di setiap slot. Metodologi penelitian ini melibatkan pengujian langsung pada motor induksi di laboratorium dengan memvariasikan beban motor, mengukur arus, kecepatan, faktor daya, tegangan, efisiensi, torsi dan daya keluaran. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa motor induksi 3-fasa dengan desain kumparan 9-fasa simetris memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan motor induksi 3-fasa konvensional. Penyempurnaan motor induksi 3-fasa dengan desain kumparan 9-fasa disebabkan oleh distribusi medan magnet yang lebih efisien dan padat, sehingga memungkinkan peningkatan daya output dan faktor daya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan desain kumparan motor induksi di masa depan.

Kata kunci: Motor Induksi 3-Fasa, Desain Kumparan 9-Fasa, Daya Keluaran, Faktor Daya

Abstract

This research aims to analyze the effect of a symmetrical 9-phase coil design on the output power and power factor of a 3-phase induction motor. The induction motor was chosen for this research because of its simple structure, as well as high reliability and durability. This study develops the performance of a 3-phase induction motor into a 9-phase coil with the hope of improving the motor's performance without requiring additional power sources. The symmetric 9-phase coil design uses a combination of 3 coils in each slot. The research methodology includes direct testing of induction motors in the laboratory by varying the motor load, measuring current, speed, power factor, voltage, torque and output power. The results of this research show that a 3 phase induction motor with a symmetrical 9 phase coil design has better performance compared to a conventional 3 phase induction motor. The refinement of the 3-phase induction motor with a 9-phase coil design is due to a more efficient and denser magnetic field distribution, allowing for increased output power and power factor. It is hoped that this research can contribute to the development of induction motor coil design in the future.

Keywords: 3-Phase Induction Motor, 9-Phase Coil Design, Output Power, Power Factor



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 banyak digunakan di berbagai industri, termasuk pada aplikasi, pengerjaan kayu, blower, pompa, conveyor, elevator, kompresor, kereta api, serta industri otomotif dan kimia. Karena konstruksinya yang sederhana, kokoh harganya yang terjangkau, kebutuhan perawatan yang rendah, motor induksi tetap menjadi salah satu jenis motor listrik yang paling umum. Sistem tiga fasa biasanya digunakan untuk menjalankan motor 3-fasa. Motor induksi 3-fasa mempunyai 3 belitan identik yang berjarak 120 derajat memungkinkan motor induksi 3-fasa menghasilkan daya yang besar. Jumlah tiap lilitan yang sama besar, jika digunakan sumber

seimbang 3-fasa pada motor, maka setiap lilitan dapat mengalir dengan arus yang seimbang. Untuk meningkatkan kinerja motor induksi 3-fasa, penelitian ini berencna untuk meningkatkan jumlah fasa pada kumparan motor induksi dari 3-fasa menjadi kumparan 9-fasa simetris. Meskipun demikian, motor tetap akan beroperasi pada sistem 3-fasa yang sudah ada, dengan harapan bahwa peningkatan jumlah fasa dapat menghasilkan fluk magnetik yang lebih besar untuk peningkatan kinarja motor secara keseluruhan. Sistem 3-fasa yang dipertahankan pada desain motor 9-fasa ini disusun agar motor induksi dapat tetap beroperasi dalam sistem yang sudah dikenal, yaitu sistem 3-fasa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian skala laboratorium yang memfokuskan untuk menganalisa pengaruh kinerja motor induksi 3-fasa konvensional yang didesain menjadi motor induksi 9-fasa simetris yang memfokuskan pada daya keluar dan faktor daya motor induksi 3-fasa dengan desain kumparan 9-fasa menggunakan metode simetris. Data penelitian diambil melalui data percobaan dilaboratorium dengan menguji motor induksi 3-fasa konvensional dengan motor induksi desain 9-fasa simetris. Untuk Beban data yang dibutuhkan mencakup arus, tegangan, frekuensi, cos phi, kecepatan, dan daya keluaran (Pout) dari suatu motor induksi. Untuk perubahan desainnya yaitu dari desain kumparan 3-fasa ke desain kumparan 9-fasa simetris dengan merubah rangkaian dengan jumlah lilitan per-fasa dan jumlah lilitan per-slot yang tetap sama. Memiliki 114 lilitan, 18 slot dengan 2 kutub , jarak tiap slot sebesar 20° , ukuran kawat yang digunakan sebesar 0,60 mm dan berat kawat sebesar 1,2 kg. Kemudian data disusun dalam bentuk grafik untuk dilakukan analisa terhadap perbandingan antara faktor daya dengan beban motor (Pout) dan kecepatan dengan beban motor (Pout). Selanjutnya membandingkan kinerja motor induksi 3-fasa konvensional dengan kinerja motor induksi desain 9-fasa simetris.

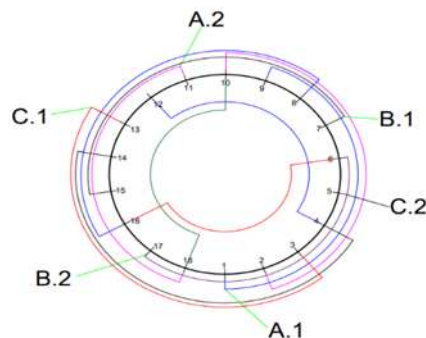
Name Plate Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

Tabel 1. Name Plate Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

NAME PLATE MOTOR 3-FASA		
TYPE	Y802-4	ISO9001 CE
1 HP	220/380 V	50 Hz
INS CL B	3.1/1.8 A	2830 r/min
IP 44	D/Y	S1

Spesifikasi kawat pada motor induksi 3-fasa 1500 rpm berjumlah 114 lilitan yang berukuran 0,60 mm dengan berat 1,2 kg.

Desain Lilitan Motor Induksi 3-Fasa Konvensional



Gambar 1. Desain Kumparan Motor Induksi 3-Fasa Konvensional

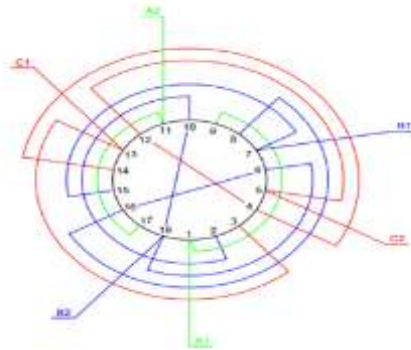
Keterangan :

Untuk fasa pertama dimulai dari A1 dan keluarannya pada A2 (1,9 -2,10 -11,18)

Untuk fasa kedua dimulai dari B1 dan keluarannya pada B2 (7,15 - 8,16 - 17,6).

Untuk fasa ketiga dimulai dari C1 dan keluarannya pada C2 (13,3 - 14,4 - 5,12)

Desain Lilitan Motor Induksi kumparan 9-FasaSimetris



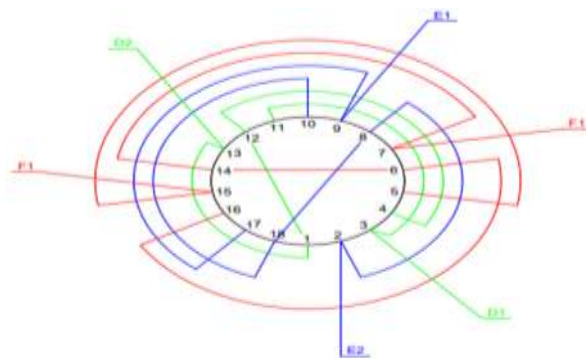
Gambar 2. Desain kumparan 3-fasa pada lapisan ke-1 untuk desain kumparan 9-fasa

Keterangan:

Untuk fasa pertama dimulai dari A1 dan keluarannya pada A2 (1,9 -2,10 -11,18)

Untuk fasa kedua dimulai dari B1 dan keluarannya pada B2 (7,15 - 8,16 - 17,6).

Untuk fasa ketiga dimulai dari C1 dan keluarannya pada C2 (13,3 - 14,4 - 5,12)



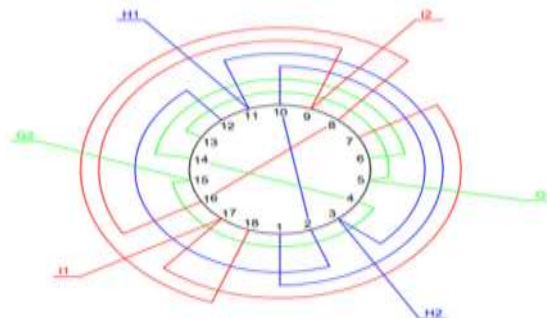
Gambar 3. Desain kumparan 3-fasa pada lapisan ke-2 untuk desain kumparan 9-fasa

Keterangan :

Untuk fasa pertama dimulai dari D1 dan keluarannya pada D2 (3,11 -4,12 -13,2)

Untuk fasa kedua dimulai dari E1 dan keluarannya pada E2 (9,17 - 10,18 - 1,8).

Untuk fasa ketiga dimulai dari F1 dan keluarannya pada F2 (15,6 - 16,7 - 8,14)



Gambar 4. Desain kumparan 3-fasa pada lapisan ke-3 untuk desain kumparan 9-fasa simetris

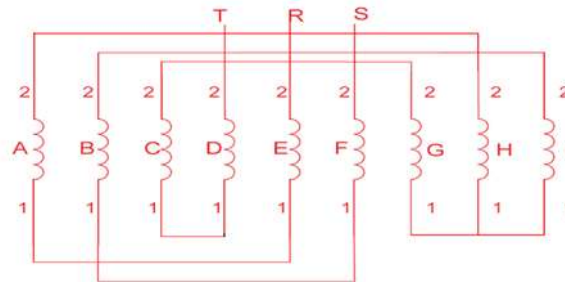
Keterangan :

Untuk fasa pertama dimulai dari G1 dan keluarannya pada G2 (5,13 – 6,14 – 15,4)

Untuk fasa kedua dimulai dari H1 dan keluarannya pada H2 (11,1 – 12,2 – 3,10).

Untuk fasa ketiga dimulai dari I1 dan keluarannya pada I2 (17,7 – 18,8 – 9,16)

Rangkaian Percobaan



Gambar 5. Rangkaian Kumpanan pada Terminal Motor Induksi 3-Fasa Desain Kumpanan 9-Fasa

Keterangan :

R : sebagai sumber masukan untuk fasa R dari sumber tegangan

S : sebagai sumber masukan untuk fasa S dari sumber tegangan

T1 : sebagai sumber masukan untuk fasa T dari sumber tegangan

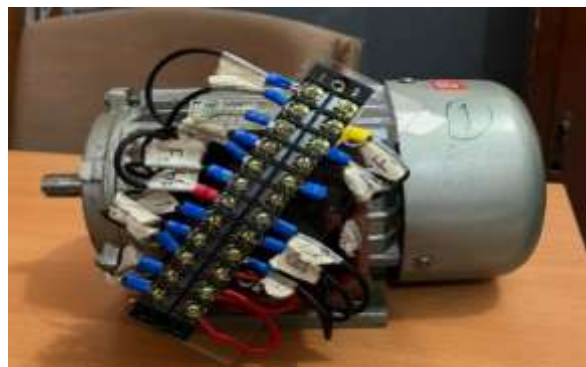
A2 dan E2 : dihubungkan atau di couple

B2 dan F2 : dihubungkan atau di couple

C2 dan D2 : dihubungkan atau di couple

D1, E1, dan F1 : hubung bintang

Rangkaian Terminal



Gambar 6. Rangkaian pada Terminal Motor Induksi 3-Fasa Desain Kumpanan 9-Fasa

Keterangan:

R1 : sebagai sumber masukan untuk fasa R dari sumber tegangan

S1 : sebagai sumber masukan untuk fasa S dari sumber tegangan

T1 : sebagai sumber masukan untuk fasa T dari sumber tegangan

A1 dan E1 : dihubungkan atau di couple

A2 dan H2 : dihubungkan atau di couple

B1 dan F1 : dihubungkan atau di couple

B2 dan I2 : dihubungkan atau di couple

C1 dan D1 : dihubungkan atau di couple

C2 dan G2 : dihubungkan atau di couple

G1, H1, dan I1 : hubung bintang

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

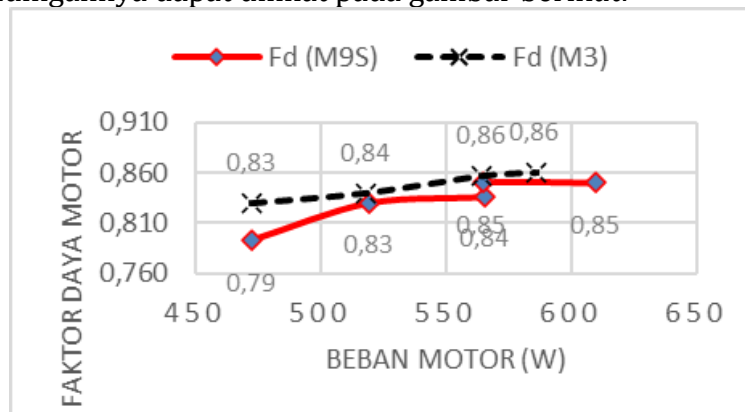
Grafik faktor daya terhadap Beban Motor (Pout)

Setelah dilakukan perhitungan nilai pada pengujian motor induksi 3-fasa konvensional dan motor induksi 3-fasa konvensional desain 6-fasa dengan ganda tak simetris, maka dapat ditampilkan data dan grafik sebagai berikut:

Tabel 2. Data Pout dan faktor daya pada motor induksi 3-fasa konvensional dan motor induksi 3-fasa desain 9-fasa dengan simetris

No	Motor 3-Fasa Konvensional		Motor Induksi 3-fasa dengan desain kumparan 9-fasa simetris	
	Pout M3 (W)	Cos phi	Pout M6 (W)	Cos phi
1	472,16	0,83	472,16	0,79
2	517,89	0,84	518,89	0,83
3	563,8	0,86	565,08	0,84
4	585,47	0,86	564,28	0,85
5	651,04	0,87	609,53	0,85

Dari tabel diatas maka dapat dibuatkan grafik perbandingan antara faktor daya terhadap Pout, untuk perbandingannya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7. Grafik perbandingan faktor daya terhadap beban motor

Pada gambar 6. dapat dijelaskan grafik perbandingan antara faktor daya (Cos phi) terhadap daya keluaran (w) dimana motor induksi 3-fasa konvensional ditandai dengan M3 digambar dengan garis putus-putus berwarna hitam sedangkan motor induksi desain kumparan 9-fasa simetris ditandai dengan M9S yang digambarkan dengan garis berwarna merah. Pada grafik terhadap faktor daya M3 dan M9S naik seiringan dengan meningkatnya daya keluaran. Untuk motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris pada beban 470 W (Cos phi) motor sekitar 0,79 . Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 470 W kecepatan motor sekitar 0,83 . Selanjutnya Untuk motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris pada beban 515 W (Cos phi) motor sekitar 0,83. Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 515 W (Cos phi) motor sekitar 0,84. Selanjutnya Untuk motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris pada beban 565 W (Cos phi) motor sekitar 0,84. Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 565 W kecepatan motor sekitar 0,86.

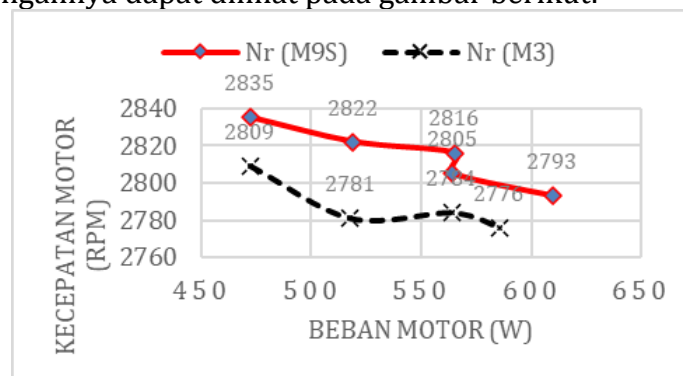
Grafik Kecepatan Motor terhadap Beban Motor (Pout)

Berikut ditampilkan data beserta grafik kecepatan motor induksi 3-fasa konvensional dan motor induksi 3-fasa desain 6-fasa dengan ganda tak simetris terhadap beban motor (Pout).

Tabel 3. Data Pout dan kecepatan pada motor induksi 3-fasa konvensional dan motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris

No	Motor 3-Fasa Konvensional		Motor Induksi 3-fasa desain kumparan 9-fasa simetris	
	Pout M3 (W)	Kecepatan M3 (rpm)	Pout M6 (W)	Kecepatan M6 (rpm)
1	472,16	1414	471,16	1425
2	517,89	1402	518,89	1414
3	563,88	1395	565,08	1411
4	585,47	1385	564,28	1401
5	651,04	1384	609,53	1401

Dari tabel diatas maka dapat dibuatkan grafik perbandingan antara kecepatan terhadap Pout, untuk perbandingannya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 8. Grafik perbandingan kecepatan terhadap beban motor

Pada gambar 8. dapat dijelaskan grafik perbandingan antara kecepatan motor (rpm) terhadap daya keluaran (w) dimana motor induksi 3-fasa konvensional ditandai dengan M3 digambar dengan garis putus-putus berwarna hitam sedangkan motor induksi desain kumparan 9-fasa simetris ditandai dengan M9S yang digambarkan dengan garis berwarna merah. Pada grafik terhadap kecepatan motor M3 dan M9S menurun seiring dengan meningkatnya daya keluaran. Untuk motor induksi 3-fasa desain kumparan 9-fasa simetris pada beban 470 W kecepatan motor sekita 2835 rpm. Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 470 W kecepatan motor sekitar 2809 rpm. Selanjutnya Untuk motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris pada beban 515 W kecepatan motor sekita 2822 rpm. Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 515 W kecepatan motor sekitar 2781 rpm. Selanjutnya Untuk motor induksi 3-fasa desain 9-fasa simetris pada beban 565 W kecepatan motor sekita 2816 rpm. Sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional pada beban 565 W kecepatan motor sekitar 2784 rpm. Maka grafik menunjukkan motor M9S memiliki kecepatan awal lebih tinggi dari pada motor M3 disetiap peningkatan beban. Kecepatan motor M9S turun lebih stabil daripada motor M3 yg turun lebih drastis. Kedua motor mengalami penurunan seiring peningkatan beban, tetapi motor induksi 3-fasa desain 9-fasa dengan simetris lebih baik dalam mempertahankan kecepatan dan lebih unggul dalam pengoperasian yang membutuhkan kestabilan kecepatan dibawah berbagai kondisi beban dibandingkan motor induksi 3-fasa konvensional.

Analisa daya keluaran dan faktor daya pada Motor Induksi 3-Fasa Desain Kumparan 9-Fasa dari 3-Fasa Simetris

Berdasarkan hasil data pengukuran dan hasil perhitungan didapatkan analisa sebagai berikut: Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa motor induksi 3-fasa desain kumparan 9-

fasas simetris tidak mampu meningkatkan faktor daya menaikkan faktor daya saat beban motor terus mengalami penikatan. Faktor daya motor tersebut mengalami penurunan sebesar 0,04 dibandingkan motor 3-fasa konvensional. Dimana pada beban tertinggi motor induksi desain kumparan 9-fasa faktor daya bernilai 0,85, sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional 0,87

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang “Analisis pengaruh desain kumparan 9-fasa terhadap daya keluaran dan faktor daya motor induksi 3-fasa” maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Motor induksi desain kumparan 9-fasa simetris tidak mampu menaikkan faktor daya saat beban motor terus mengalami penikatan. Faktor daya motor tersebut mengalami penurunan sebesar 0,04 dibandingkan motor 3-fasa konvensional. Dimana pada beban tertinggi motor induksi desain kumparan 9-fasa faktor daya bernilai 0,85, sedangkan motor induksi 3-fasa konvensional 0,87. Motor induksi 3-fasa dengan desain kumparan 9-fasa simetris menunjukkan penurunan pada daya keluaran sebesar 41,51 W, dibandingkan motor induksi 3-fasa konvensional. Dimana pada beban tertinggi motor induksi desain kumparan 9-fasa faktor daya bernilai 651,04, sedangkan motor induksi 3-fasa 609,53.



DAFTAR PUSTAKA

- A. S. Abdel-khalik, S. Member, A. M. Massoud, and S. Member, “Nine-Phase Six-Terminal Induction Machine Modelling using Vector Space Decomposition,” no. April, 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2833041.
- A. S. Abdel-khalik, S. Member, A. M. Massoud, S. Member, S. Ahmed, and S. Member, “Nine-Phase Six-Terminal Induction Machine Modelling using Vector Space Decomposition,” vol. 0046, no. c, 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2833041.
- A. Shawier, M. S. Abdel-majeed, and W. E. Abdel-azim, “Effect of Winding Design on the Performance of Predictive Current Control of Six-Phase Induction Machine-Based Propulsion Systems,” IEEE Access, vol. 10, no. August, pp. 80587–80599, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3194893.
- 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, doi: 10.38035/rrj.v5i2.744.

- G. Rezazadeh et al., "Analysis of Six-Phase Induction Motor with Distributed and Concentrated Windings by Using the Winding Function Method," 2018 XIII Int. Conf. Electr. Mach., pp. 2423–2429, 2018, doi: 10.1109/ICELMACH.2018.8507049.
- I. Gonzalez-prieto, I. Zoric, M. J. Duran, and E. Levi, "Constrained Model Predictive Control in Nine- phase Induction Motor Drives," 2019.
- I. S. De Freitas, M. L. Quirino, and F. Salvadori, "Twelve-Phase Induction Machine Analysis With Harmonic Injection," pp. 1611–1618, 2018.
- J. Editorial Team, "Editorial Team," J. Vocat. Nurs., vol. 1, no. 1, 2020, doi: 10.20473/jovin.v1i1.19873.
- M. A. Kabir and I. Husain, "Design of synchronous reluctance motor with multilayer AC winding," 2017 IEEE Int. Electr. Mach. Drives Conf. IEMDC 2017, 2017, doi: 10.1109/IEMDC.2017.8002131.
- M. Karpe, S. Ghosh, N. Shindhe, R. Birajdar, and D. Bhawe, "Optimization of Single-Phase Induction Motor," CENCON 2019 - 2019 IEEE Conf. Energy Convers., vol. 2019-January, pp. 115–120, 2019, doi: 10.1109/CENCON47160.2019.8974827.
- N. Evalina, A. H. Azis, and Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable logic controller," J. Electr. Technol., vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- N. R. Garcia, M. J. Duran, and I. G. Prieto, "A Simple , Fast and Robust Open-phase Fault," no. April, 2017.
- N. Riviere, M. Villani, and M. Popescu, "Optimisation of a High Speed Copper Rotor Induction Motor for a Traction Application," IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., vol. 2019-October, pp. 2720–2725, 2019, doi: 10.1109/IECON.2019.8927627.
- R. Ni et al., "Efficiency Enhancement of General AC Drive System by Remanufacturing Induction Motor with Interior Permanent-Magnet Rotor," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 2.
- S. M. Dabour, A. S. Abdel-khalik, S. Ahmed, and A. M. Massoud, "A New Dual Series-Connected Nine-Switch Converter Topology for a Twelve-Phase Induction Machine Wind Energy System," pp. 139–144, 2016.
- S. Tama and O. Yudha, "No Title," vol. 4, no. 4, pp. 49–54, 2022.
- W. Fei, P. C. K. Luk, J. Ma, J. X. Shen, and G. Yang, "A high-performance line-start permanent magnet synchronous motor amended from a small industrial three-phase induction motor," IEEE Trans. Magn., vol. 45, no. 10, pp. 4724–4727, 2009, doi: 10.1109/TMAG.2009.2022179.
- Y. Demir, S. Member, and M. Aydin, "A Novel Asymmetric and Unconventional Stator Winding Configuration and Placement for Dual Three-Phase Surface PM Motor," vol. 9464, no. c, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/TMAG.2017.2710424.
- Y. Xie, C. Pi, and Z. Li, "Study on design and vibration reduction optimization of high starting torque induction motor," Energies, vol. 12, no. 7, 2019,
- Z. Anthony and E. Erhaneli, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa,"
- Z. Anthony, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa," pp. 245–249, 2017, doi: 10.21063/PIMIMD4.2017.245-249.
- Z. Anthony, "Studi Pengaruh Perubahan Frekwensi Sumber terhadap Faktor Daya Motor Induksi 3-Fasa," Tek. Elektro Itp, vol. 2, no. 2, pp. 49–52, 2013.
- Z. Anthony, E. Erhaneli, and B. Busran, "A new equivalent circuit of the three-phase induction motor (case studies: Current and power factor of the motor)," ARPN J. Eng. Appl. Sci., vol. 12, no. 23, pp. 6967–6974, 2017.
- Z. Anthony, S. Bandri, and Y. Warmi, "Analisa Pengaruh Desain 6 Kumparan Simetris pada Motor

- Induksi 3-fasa terhadap Efisiensi dan Faktor Daya Motor,” Semin. Nas. Ris. Inov. Teknol., vol. 1, no. /51/280. AlShorman et al., “Sounds and acoustic emission-based early fault diagnosis of induction motor: A review study,” Adv. Mech. Eng., vol. 13, no. 2, Z. Anthony, S. Bandri, E. Erhaneli, Y. Warmi, Z. Zulkarnaini, and F. Firdaus, “A Simple Way To Increase the Performance of the 3-Phase Induction Motor,” J. Pharm. Negat. Results, vol. 13, no. 7, pp. 4975–4983, 2022, doi: 10.47750/pnr.2022.13.S07.615.
- Z. Yang, Q. Ding, X. Sun, J. Ji, and Q. Zhao, “Design and analysis of a novel wound rotor for a bearingless induction motor,” Int. J. Electron., vol. 106, no. 12, pp. 1829–1844, 2019,