



Studi Analisis Pengaruh Desain Kumputan 5/6 Fasa Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-fasa

Zuriman Anthony*, Erhaneli Erhaneli, Yusreni Warmi, Zulkarnaini Zulkarnaini, Sepannur Bandri, Anggun Anugrah, Manatap Banje Raja Togatorop

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: antoslah@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak
Diserahkan tanggal: 29 Desember 2021 Direvisi tanggal: 11 Januari 2022 Diterima tanggal: 28 Januari 2022 Dipublikasikan tanggal: 31 Januari 2022 Digital Object Identifier: 10.21063/JTE.2022.31331104 	Studi ini dimaksudkan untuk mengkaji pengembangan desain kumparan motor induksi 3-fasa dengan desain lilitan mengacu kepada desain lilitan dengan jumlah fasa yang lebih banyak dari 3 fasa. Khusus untuk studi kali ini lebih difokuskan kepada desain kumparan 6 fasa yang diterapkan pada motor induksi 3-fasa tetapi arah fluks yang dihasilkan motor dibuat untuk menghasilkan 5 medan fluks yang berbeda sehingga motor ini akan bekerja seolah-olah seperti motor induksi 5-fasa. Desain 6 fasa sengaja diterapkan pada motor dengan menggunakan desain 2 lapis dari desain 3-fasa yang digeser sudut fasanya agar motor mempunyai impedansi total kumparan perfasanya tetap sama. Analisa pada penelitian lebih difokuskan kepada fluks yang dihasilkan pada kumparan motor. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa walaupun impedansi kumparan yang dilewati arus 3-fasa sama, tetapi jika fluks yang dihasilkan kumparan motor tidak identik sama maka motor induksi 3-fasa bekerja dengan sistem fluks yang tidak seimbang dan mengakibatkan motor bekerja dengan kinerja yang jelek. Oleh karena itu, keseimbangan fluks yang dihasilkan pada kumparan motor sangat mempengaruhi kinerja motor, dimana semakin mendekati seimbang fluks yang dihasilkan kumparan motor induksi 3-fasa maka motor akan bekerja dengan kinerja yang lebih baik. Kata kunci: Motor induksi 3-fasa, fluks magnet, sistem seimbang, 5 fasa, 6 fasa.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi 3-fasa merupakan salah satu motor listrik arus bolak balik yang sangat banyak digunakan saat ini, terutama di dunia industri karena motor ini mempunyai konstruksi yang kuat, mudah dalam sistem pengoperasian banyak diproduksi dengan daya yang besar [1], [2]. Motor ini sedikit mempunyai kekurangan dimana motor ini mempunyai torsi start yang rendah, faktor dan efisiensi yang rendah jika dibandingkan dengan motor listrik arus bolak yang lain seperti motor sinkron [3]–[16]. Untuk meningkatkan kinerja motor ini maka perlu dilakukan kajian-kajian atau penelitian-penelitian untuk meningkatkan kinerja motor.

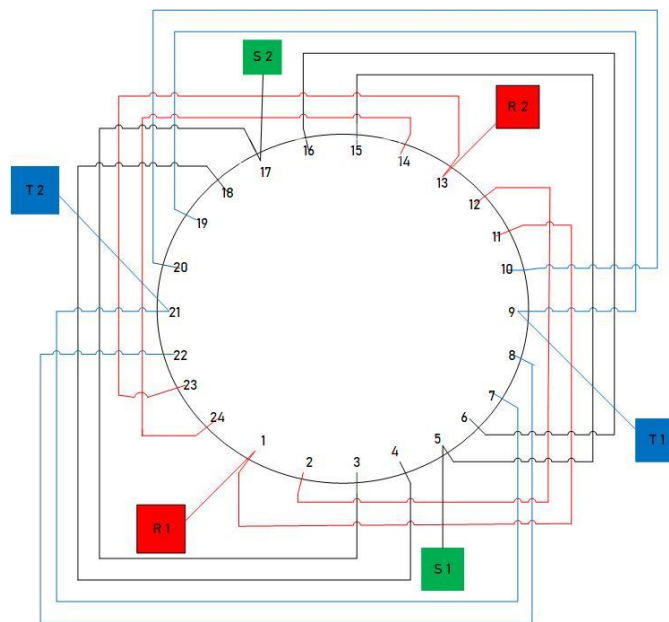
Berberapa kajian atau penelitian yang telah berkembang untuk meningkatkan kinerja motor ini diantaranya adalah dengan mengoperasikan motor induksi 3-fasa ini pada sistem 1-fasa [17]–[25], membuat bentuk desain stator dan rotor yang lebih optimal [26], [27], penggunaan tembaga pada kumparan rotor [28], memperbanyak jumlah fasa kumparan motor induksi [29]–[33], dan penggunaan magnet permanen pada rotor [3]–[16]. Semua hasil penelitian ini dapat meningkatkan kinerja motor sehingga memberikan masukan terhadap ilmu pengetahuan dalam mengembangkan motor induksi 3-fasa dengan kinerja yang lebih baik. Tetapi, biaya tambahan yang mahal dari semua hasil penelitian yang telah diuraikan di atas akan membuat biaya produksi motor induksi 3-fasa menjadi lebih mahal.

Biaya yang murah sangat diperlukan dalam memproduksi motor induksi 3-fasa dengan kinerja yang lebih baik sehingga motor ini dapat digunakan oleh banyak kalangan. Oleh karena itu masih diperlukan kajian-kajian/studi untuk menghasilkan motor induksi 3-fasa baru untuk mengembangkan

motor induksi 3-fasa dengan harga yang lebih murah. Studi ini dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh pengembangan desain kumparan motor induksi 3-fasa yang mengacu ke desain untuk menghasilkan 5 medan/fluks magnet sehingga motor induksi 3-fasa ini seolah olah beroperasi seperti motor induksi 5-fasa. Dasar desain kumparan dibuat dengan desain 6 fasa agar impedansi kumparan yang dilewati arus 3-fasa mendekati sama. Dengan desain seperti ini diharapkan dapat diketahui seberapa besar pengaruh desain kumparan motor dan medan magnet yang dihasilkan kumparan terhadap kinerja motor. Dengan kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap pengembangan desain kumparan motor induksi 3-fasa.

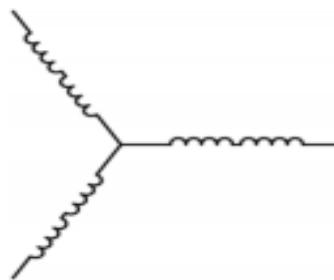
1.1 Desain Kumparan Motor Induksi 3-fasa

Motor induksi 3-fasa mempunyai 3 kumparan yang identik sama dan didistribusikan secara merata pada slot statornya sehingga berjarak 120° listrik untuk setiap kumparannya [1], [2]. Contoh bentuk distribusi kumparan motor induksi 3-fasa dengan desain 2 kutup untuk 24 slot diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Bentuk distribusi kumparan motor induksi 3-fasa pada slotnya

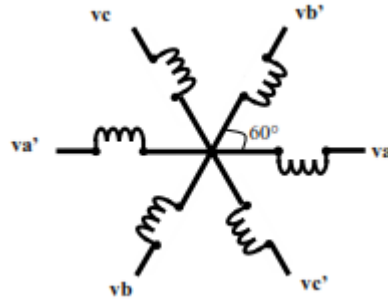
Dari gambar 1 dapat dijelaskan bahwa R1 merupakan ujung masuknya kumparan untuk fasa R dan R2 merupakan ujung keluarnya kumparan untuk fasa R. Sedangkan S1 merupakan ujung masuknya kumparan untuk fasa S dan S2 merupakan ujung keluarnya kumparan untuk fasa S dan T1 merupakan ujung masuknya kumparan untuk fasa T dan T2 merupakan ujung keluarnya kumparan untuk fasa T. Bentuk hubungan kumparan ini jika dibuat dalam bentuk hubungan bintang (Y) dapat secara sederhana seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk hubungan bintang (Y) pada kumparan motor induksi 3-fasa

1.2 Desain Kumputan Motor Induksi 6-fasa

Desain motor induksi 6-fasa biasanya digunakan pada motor induksi 6-fasa yang harus disuplai dengan sumber tenaga listrik 6-fasa. Bentuk desain hubungan kumputan motor induksi 6-fasa ini pada terminalnya diperlihatkan pada gambar 3 [34].



Gambar 3. Bentuk hubungan kumputan motor induksi 6-fasa

Agar motor induksi 6-fasa dapat bekerja dengan kinerja yang lebih baik, maka motor ini harus dihubungkan dengan sumber tenaga listrik 6-fasa yang berbeda fasa sebesar 60° listrik. Dengan jumlah fasa yang lebih banyak ini motor akan bekerja dengan kinerja yang lebih baik daripada motor induksi 3-fasa yang hanya mempunyai 3 kumputan saja.

2. METODE

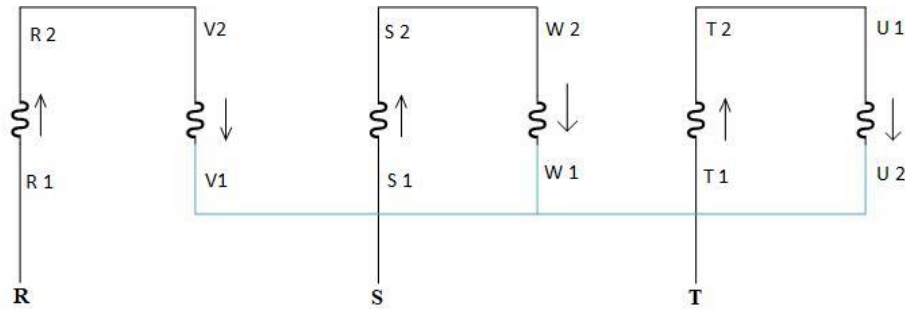
Penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji pengembangan desain kumputan motor induksi 3-fasa dengan desain lilitan mengacu kepada jumlah fasa yang lebih banyak dari 3 fasa. Khusus untuk studi kali ini lebih difokuskan kepada desain kumputan 6 fasa yang diterapkan pada motor induksi 3-fasa tetapi arah fluks yang dihasilkan motor dibuat untuk menghasilkan 5 medan fluks yang berbeda sehingga motor ini akan bekerja seolah-olah seperti motor induksi 5-fasa. Desain 6 fasa sengaja diterapkan pada motor dengan menggunakan desain 2 lapis dari desain 3-fasa yang digeser sudut fasanya agar motor mempunyai impedansi total kumputan perfasanya tetap sama. Analisa lebih difokuskan kepada pengaruh fluks yang dihasilkan kumputan motor dengan desain 5/6 fasa yang dibuat. Data motor induksi 3-fasa yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data *Name plate* motor induksi

No	Jenis data	Keterangan data
1	Jumlah fasa	3
2	Daya motor	0,75 Kw
3	Tegangan terminal	380 V
4	Hubungan kumputan	Y
5	Arus motor	1,75 A
6	Jumlah kutub	2 Kutub
7	Frekuensi	50 Hz
8	Putaran motor	2800 Rpm

Motor induksi 3-fasa yang digunakan mempunyai data seperti tabel 1. Kemudian, desain lilitan pada kumputan motor ini dirubah menjadi desain 6 fasa. Motor ini tetap dioperasikan dengan menggunakan sistem tenaga listrik 3-fasa. Dengan mempertimbangkan arah arus yang melewati

kumparan motor, maka bentuk hubungan kumparan motor pada terminal disambungkan sedemikian rupa agar menghasilkan 5 medan magnet/fluks pada kumparan motor (kita sebut saja desain 5/6 fasa). Besarnya diameter dan jumlah lilitan perslot kumparan dibuat sama sehingga motor mempunyai konstruksi yang sama dengan standar motor induksi 3-fasa sebelum dimodifikasi. Hasil arus yang mengalir pada kumparan motor dan kinerja motor saat beroperasi dicatat untuk dianalisa. Bentuk sambungan kumparan dengan desain 5/6 fasa pada terminal motor diperlihatkan pada gambar 4.



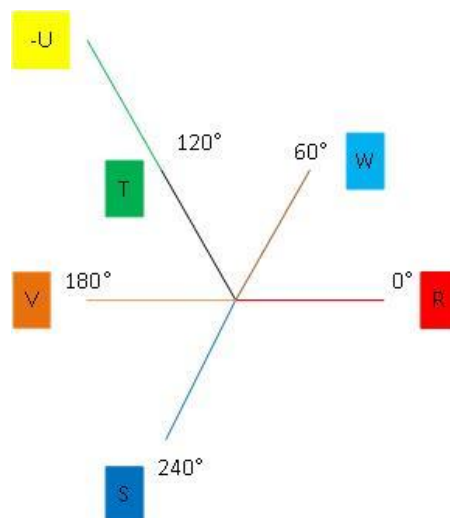
Gambar 4. Bentuk hubungan kumparan pada terminal motor induksi 3-fasa dengan desain 5/6-fasa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian motor tanpa beban pada penelitian ini diperlihatkan pada tabel 2. Dari tabel 2 dapat dijelaskan bahwa MI 3fs (data No. 1) merupakan data pengujian tanpa beban motor saat menggunakan desain standar kumparan 3 fasa, sedang MI 5/6 fs (data No. 2) merupakan data pengujian tanpa beban untuk motor induksi yang menggunakan desain 5/6 fasa. Salanjutnya, bentuk vector fluks magnet yang dihasilkan motor dengan desain kumparan 5/6 fasa diperlihatkan pada gambar 5.

Tabel 2. Data pengujian tanpa beban motor induksi 3-fasa

No	Nr (RPM)	F (Hz)	Tegangan (Volt)			Arus (Ampere)			Cos phi	Keterangan
			(R-S)	(S-T)	(T-R)	R	S	T		
1	2988	49,92	380,2	374,3	376,8	0,488	0,458	0,288	0,595	MI 3fs
2	2922	50,04	381,4	369,4	374,6	5,314	6,038	8,222	0.928	MI 5/6 fs



Gambar 5. Bentuk vector fluks magnet yang dihasilkan motor dengan desain kumparan 5/6 fasa

Dengan memperhatikan tabel 2 terlihat bahwa walaupun impedansi kumparan total yang dilewati arus 3-fasa untuk kedua motor telah didesain sama, tetapi arus yang dihasilkan dari kedua motor sangat jauh berbeda. Dari data tabel 2 terlihat bahwa arus yang masuk ke kumparan motor dengan desain 5/6 fasa telah jauh melewati batas arus nominal motor (standarnya adalah 1,75A dari tabel 1), walaupun motor ini dioperasikan dalam kondisi tanpa beban. Jika mengacu kepada bentuk sambungan kumparan motor dengan desain 5/6 yang telah diberikan pada gambar 4 terlihat bahwa ada 2 buah medan yang dibalik arahnya pada kumparan 'V' dan 'W' untuk menghasilkan medan fluks ke 4 dan ke 5, sedangkan medan magnet pada kumparan 'U' searah dengan medan magnet pada kumparan 'T' sehingga total fluks magnet yang dihasilkan pada fasa T ini 2 kali lipat dari ke 4 fluks yang lain. Bentuk gambaran besar dan arah medan/fluks magnet yang dihasilkan pada kumparan motor dengan desain kumparan 5/6 fasa ini diperlihatkan pada gambar 5. Dari gambar 5 ini terlihat bahwa hampir semua vector fluks yang dihasilkan kumparan berjarak 60° , kecuali antara fluks 'R' dan fluks 'S' yang berjarak 120° . Dari kondisi ini terlihat bahwa 5 medan fluks yang terjadi pada kumparan motor ini tidak seimbang yang mengakibatkan timbulnya getaran pada rotor sehingga suara motor berbunyi keras saat dioperasikan. Ditambah lagi fluks pada kumparan 'T' yang amplitudonya 2 kali lipat dari amplitud fluks yang lainnya akan mengakibatkan kumparan menjadi panas yang mengakibatkan terjadinya peningkatan arus pada kumparan sehingga meningkatkan rugi-rugi daya pada motor.

Dari uraian di atas yang mengacu kepada gambar 5 dan tabel 2 terlihat bahwa keseimbangan vektor fluks yang terjadi pada motor sangat mempengaruhi arus yang masuk ke motor. Dari hasil ini jelas terlihat bahwa besarnya arus yang masuk motor tidak hanya dipengaruhi oleh semakin besarnya beban, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh keseimbangan fluks yang dihasilkan pada kumparan motor. Bila semakin tidak seimbang fluks yang dihasilkan kumparan motor, maka motor akan bekerja dengan kinerja yang semakin buruk.

Untuk desain yang lebih optimal disarankan untuk menerapkan desain 6 fasa dengan 6 medan fluks pada motor induksi 3-fasa karena medan fluks yang dihasilkan diperkirakan akan seimbang sehingga akan membuat motor induksi 3-fasa bekerja dengan kinerja yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut.

1. Kinerja motor induksi 3-fasa sangat dipengaruhi keseimbangan fluks yang dihasilkan pada kumparan motor.
2. Keseimbang fluks yang terjadi pada kumparan motor induksi 3-fasa ini tidak hanya dipengaruhi oleh sistem 3-fasa yang mensuplainya tetapi juga dipengaruhi oleh bentuk desain kumparan yang diterapkan ke motor.
3. Desain kumparan 5/6 fasa yang diterapkan ke motor induksi 3-fasa menghasilkan kinerja yang buruk ke motor karena 5 buah medan fluks yang dihasilkan oleh desain ini menghasilkan medan fluks yang tidak seimbang sehingga memperbesar arus dan rugi-rugi daya pada motor. Untuk desain yang lebih optimal disarankan untuk menerapkan desain 6 fasa dengan 6 medan fluks pada motor induksi 3-fasa karena medan fluks yang dihasilkan diperkirakan akan seimbang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih banyak kami ucapkan kepada Laboratorium Teknik Elektro Institut Teknologi Padang, beserta tim yang telah membantu berjalannya proses penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. Chapman, *Electrical Machinery Fundamentals*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [2] P. C. Sen, *Principles of Electrical Machines and Power Electronics*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

- [3] 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.
- [4] R. Vartanian and H. A. Toliyat, "Design and Comparison of an Optimized Permanent Magnet-Assisted Synchronous Reluctance Motor (PMA-SynRM) with an Induction Motor with Identical NEMA Frame Stators," in *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS 2009) - Baltimore, MD, USA (2009.04)*, 2009, pp. 107–112.
- [5] M. Jones, S. . Vukosavic, and E. Levi, "Combining Induction and Permanent Magnet Synchronous Machines in a Series-Connected Six-Phase Vector-Controlled Two-Motor Drive," in *IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists, 2005. - Aachen, Germany (June 12, 2005, 2005)*, pp. 2691–2697.
- [6] B. Ackermann, "Single-Phase Induction Motor with Permanent," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 36, no. 5, pp. 3530–3532, 2000.
- [7] L. N. Modran, "Digital Simulation of Induction and Permanent Magnet Synchronous Motor Starting," in *IEEE 2008 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) - Brasov, Romania (2008.05.22-2008.05.24)*, 2008, no. 4, pp. 1–7.
- [8] M. S. Manna, S. Marwaha, A. Marwaha, and C. Vasudeva, "Analysis of Permanent Magnet Linear Induction Motor (PMLIM) using Finite Element Method," in *IEEE 2009 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, 2009, pp. 540–542.
- [9] M. Kondo, J. Kawamura, and N. Terauchi, "Performance Comparison between a Permanent Magnet Synchronous Motor and an Induction Motor as a Traction Motor for High Speed Train," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 126, no. 2, pp. 168–173, 2006.
- [10] D. Liang and V. Zhou, "Recent market and technical trends in Copper Rotors for High-Efficiency Induction Motors," in *2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 - ECCE Asia)*, 2018, pp. 1943–1948.
- [11] K. Kurihara, T. Ito, Y. Imaizumi, and T. Kubota, "Efficiency Maximization of a Single-Phase Capacitor-Run Permanent-Magnet Motor Using Response Surface Methodology," in *IEEE 2009 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS) - Tokyo, Japan (2009.11.15-2009.11.18)*, 2009, no. 4, pp. 6–9.
- [12] B. Stumberger, A. Hamler, V. Gorican, M. Jesenik, and M. Trlep, "Output power capability improvement in a flux-weakened permanent magnet synchronous motor with a third harmonic current injection," *J. Magn. Magn. Mater.* 272–276 e1719–e1721, vol. 276, pp. 1719–1721, 2004.
- [13] S. Saito, H. Tanaka, A. Nakajima, and K. Matsuse, "Independent Vector Control of Induction Motor and Permanent Magnet Synchronous Motor fed a Four-Leg Inverter," in *2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy System, December 16-19, 2012, Bengaluru, India*, 2012, pp. 1–6.
- [14] K. Sakai and N. Yuzawa, "Realizing High Efficiency using Pole-Changing Hybrid Permanent Magnet Motors," in *2013 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC) - Chicago, IL, USA (2013.05.12-2013.05.15)*, 2013, pp. 462–467.
- [15] E. Levi, M. Jones, S. N, and Vukosavic, "A Series-Connected Two-Motor Six-Phase Drive With Induction and Permanent Magnet Machines," *IEEE Trans. ENERGY Convers.*, vol. 21, no. 1, pp. 121–129, 2006.
- [16] R. Ni *et al.*, "Efficiency Enhancement of General AC Drive System by Remanufacturing Induction Motor with Interior Permanent Magnet Rotor," *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2015, ISSN. 0278-0046(p) 1557-9948, vol. 0046, no. c, pp. 1–12, 2015.
- [17] Z. Anthony, "Analyzing Characteristics of the Sheda " s Method for Operating the 3-phase induction Motor on Single Phase Supply (Case studies : output power and efficiency of the motor)," *IJETT*, vol. 33, no. 4, pp. 175–179, 2016.
- [18] Z. Anthony, "Equivalent Circuits for the M31D-ZA Motor " s Method (Case Studies : Currents and Power Factor of the motor)," *IJETT*, vol. 25, no. 1, pp. 49–52, 2015.
- [19] Z. Anthony, "A Simple Method For Operating The Three-Phase Induction Motor On Single Phase Supply (For Wye Connection Standard)," *IJETT*, vol. 5, no. 1, pp. 13–16, 2013.
- [20] V. Malyar, O. Hamola, and V. Maday, "Calculation of capacitors for starting up a three-phase asynchronous motor fed by single-phase power supply," in *IEEE 2016 17th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, 2016, pp. 1–4.

- [21] Z. Anthony, "A Simple Method for Operating the Delta Connection Standard of the 3-phase Induction Motor on Single Phase Supply," *IJETT*, vol. 15, no. 9, pp. 444–447, 2014.
- [22] Z. Anthony, "Pengembangan Rangkaian Kendali untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3-Fasa," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 1, pp. 81–86, 2017.
- [23] Z. Anthony, "ANALISIS KINERJA MOTOR M31-ZA UNTUK STANDAR HUBUNGAN DELTA DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI 3-FASA," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 4, no. 2, pp. 1–6, 2015.
- [24] A. K. Adapa and V. John, "Active Phase-Converter for Operation of Three-Phase Induction Motors on Single-Phase Grid," in *IEEE 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, 2016, pp. 1–6.
- [25] W. Yaw-juen, L. Pierrat, and E. Helerea, "Balancing a Three-Phase Induction Motor Supplied from a Single-Phase Source with Two SVCs," in *IEEE 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, 2017, no. 3.
- [26] S. Sobhani, H. Yaghobi, and M. Samakoosh, "Optimize efficiency and torque in the single-phase induction motor by adjusting the design parameters," *12th Int. Conf. Environ. Electr. Eng. IEEEIC 2013*, pp. 237–241, 2013.
- [27] E. C. Bortoni, J. V. B. Jr, P. V. V Silva, V. A. D. Faria, and P. A. V Vieira, "Evaluation of manufacturers strategies to obtain high-efficient induction motors," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 31, no. November 2018, pp. 221–227, 2019.
- [28] F. Ahmed, E. Ghosh, and N. C. Kar, "Transient Thermal Analysis of a Copper Rotor Induction Motor using a Lumped Parameter Temperature Network Model," *IEEE*, no. 1, 2016.
- [29] I. S. De Freitas, M. L. Quirino, and F. Salvadori, "Twelve-Phase Induction Machine Analysis With Harmonic Injection," in *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2018, pp. 1611–1618.
- [30] M. A. Fnaiech, F. Betin, and G. Capolino, "Fuzzy Logic and Sliding-Mode Controls Applied to Six-Phase Induction Machine With Open Phases," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 1, pp. 354–364, 2010.
- [31] I. Gonzalez-Prieto, M. J. Duran, F. Barrero, Bermudez, and H. M. Guzmán, "Impact of Post-fault Flux Adaptation on Six-phase Induction Motor Drives with Parallel Converters," *IEEE Trans. POWER Electron.*, vol. 8993, 2016.
- [32] J. K. Pandit, S. Member, M. V Aware, and S. Member, "Direct Torque Control Scheme for a Six-Phase Induction Motor with Reduced Torque Ripple," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 9, pp. 7118–7129, 2016.
- [33] H. S. Che, E. Levi, M. Jones, W. P. Hew, and N. A. Rahim, "Current Control Methods for an Asymmetrical Six-phase Induction Motor Drive," *IEEE Trans. POWER Electron.*, vol. 29, no. 1, pp. 407–417, 2014.
- [34] G. Aroquiadassou *et al.*, "A simple circuit-oriented model for predicting six-phase induction machine performances," pp. 3–8, 2006.