

Kajian Pengembangan Lilitan Motor Induksi 1-Fasa Dengan Bentuk Lilitan 4-Fasa (Studi Kasus: Daya Keluaran dan Faktor Daya)

Zuriman Anthony*

Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: antoslah@gmail.com

ABSTRACT

The windings or coils of a 1-phase induction motor are usually construct in two (2) type. They are the main and the auxiliary windings. This study is intended to design the winding of a 1-phase induction motor as well as the design of a 4-phase motor's, wherein the motor winding consists of 4 (four) windings 90° separate electrically. 1 (one) coil is designed to act as the main winding, and 3 (three) other windings act like auxiliary winding. The proposed motor designed used the same frame construction as the comparative 1-phase induction motor but difference in windings design. The study in this paper is limited only in terms of 'output power and power factor' of the motor. The comparative motor used in this research is a 1Hp, 220V, 8.3A, 50Hz, 1440 rpm, 200μF Cs and 30μF Cr 1-phase induction motor. The results of this study showed that the proposed 1-phase induction motor designed could operate well only by using 25μF Cs and 20μF Cr with 80.44% output power and power factor 0,99 that was better than the 1-phase conventional induction motor's.

Keywords: single phase induction motor, four-phase winding, power factor, output power.

ABSTRAK

Lilitan atau kumparan motor induksi 1-fasa biasanya dibuat dengan menggunakan 2 (dua) lilitan yang mana lilitan yang pertama adalah lilitan utama dan lilitan yang lainnya adalah lilitan bantu. Penelitian ini dimaksudkan untuk membuat lilitan motor induksi 1-fasa seperti bentuk disain lilitan motor induksi 4-fasa, yang mana lilitan motor ini terdiri dari 4 (empat) lilitan yang berjarak 90° listrik. 1 (satu) lilitan didisain untuk bertindak seperti halnya lilitan utama, dan 3 (tiga) lilitan lain bertindak seperti halnya lilitan bantu. Untuk memperoleh bentuk karakteristik dan kemampuan motor yang didisain, maka motor ini menggunakan konstruksi yang sama dengan motor induksi 1-fasa pembanding. Kajian dalam makalah ini dibatasi hanya dalam hal 'daya keluaran dan factor daya motor'. Motor pembanding yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor induksi 1-fasa 1Hp, 220 V, 8,3A, 50Hz, 1440 rpm, 200μF Cs dan 20μF Cr. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa motor induksi 1-fasa yang dirancang dengan lilitan 4-fasa dapat dioperasikan dengan baik dengan nilai kapasitor start yang lebih rendah yaitu 25μF dan kapasitor jalan 20μF dengan daya keluaran 80,44% dan dengan faktor daya yang lebih baik (0,99) dari motor induksi 1-fasa pembanding.

Kata kunci: Motor induksi 1-fasa, lilitan 4-fasa, faktor daya, daya keluaran.

1. PENDAHULUAN

Sistem Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik yang paling banyak digunakan pada saat ini, karena konstruksi yang kuat, sederhana dan mudah dalam system pengoperasiannya. Motor induksi 1-fasa merupakan salah satu motor induksi yang paling banyak digunakan di sektor rumah tangga, seperti motor pada kipas angin, pompa air dan mesin cuci [1].

Motor induksi 1-fasa biasanya didisain dengan 2 buah kumparan yang keduanya saling mengisi slot yang sama. Kumparan yang pertama disebut kumparan utama dan kumparan yang kedua adalah kumparan bantu. Untuk meningkatkan kemampuan motor, biasanya kapasitor dipasang pada salah satu kumparan motor dengan tujuan untuk menghasilkan torsi yang besar pada motor [1], [2]. Dalam usaha peningkatan kinerja motor, telah dilakukan beberapa cara seperti teknik pengendalian medan,

pengaturan nilai kapasitor, mengatur waktu start dan lain sebagainya [3]–[6].

Dalam beberapa pengembangan hasil penelitian pada motor induksi 3-fasa juga telah dikembangkan untuk mengalisa motor dengan menggunakan rangkaian ekivalen baru [7] dan mengoperasikan motor ini pada sistem tenaga 1-fasa dengan meniru sistem kumparan motor induksi 1-fasa [8]–[20]. Beberapa hasil penelitian ini menunjukkan bahwa motor induksi 3-fasa ini dapat beroperasi dengan baik dengan factor daya mendekati satu [13], [16]. Kemudian juga telah dikembangkan juga teknik mendisain kumparan motor induksi 1-fasa mirip dengan motor induksi 3-fasa [21], [22]. Mengacu kepada hasil-hasil penelitian ini terlihat bahwa motor induksi 1-fasa juga dapat dibuat lilitannya seperti motor induksi banyak fasa lainnya. Oleh karena itu, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mendisain bentuk

lilitan motor induksi 1-fasa mirip seperti motor induksi banyak fasa yang dikhususkan untuk membuat lilitan seperti lilitan 4-fasa.

2. MOTOR INDUKSI

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik yang paling banyak digunakan. Jika motor induksi ini adalah motor induksi 3-fasa, maka motor ini mempunyai 3 kumparan identik yang terpisah sebesar 120 derajat listrik dan biasanya disuplai oleh sumber listrik 3-fasa. Jika motor ini merupakan motor induksi 4-fasa (tidak umum digunakan), maka kumparan motor ini akan berjarak 90 derajat listrik. Berbeda halnya dengan Motor induksi 1-fasa, motor ini mempunyai 2 kumparan yang dalam sistem pengoperasiannya disuplai oleh sumber listrik 1-fasa. Motor induksi 1-fasa ini mempunyai dua kumparan yang mana kumparan pertama adalah kumparan bantu dan kumparan yang lainnya adalah kumparan utama. Khusus pada motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor, maka motor ini menggunakan kapasitor pada kumparan bantunya yang berfungsi untuk memperbesar torsi motor.

2.1 Motor Induksi 1-fasa Konvensional

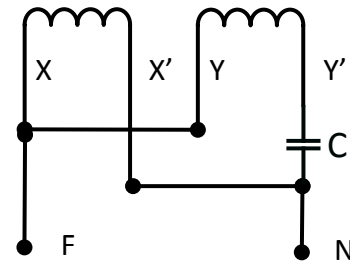
Motor induksi 1-fasa biasanya terdiri dari 2 kumparan yaitu kumparan utama dan kumparan bantu yang diusahakan berjarak 90 derajat listrik [1], [2]. Khusus untuk motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor start kapasitor jalan, maka kedua kumparan ini digunakan baik pada saat start maupun saat jalan. Sedangkan untuk jenis motor induksi 1-fasa yang lain kedua kumparan ini hanya digunakan untuk saat start saja. Gambaran bentuk hubungan kumparan bantu dan kumparan utama ini diperlihatkan pada gambar 1.

Mengacu kepada gambar 1 dapat dijelaskan bahwa kumparan X ke X' adalah kumparan utama dan kumparan Y ke Y' adalah kumparan bantu dengan C adalah kapasitor yang digunakan pada kumparan bantu. F pada gambar 1 adalah Fasa dari sumber sistem satu fasa dan N adalah Netral dari sumber sistem 1-fasa.

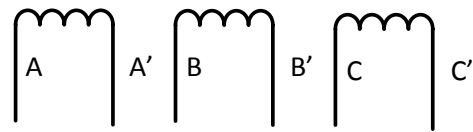
2.2 Motor Induksi 3-fasa

Motor induksi 3-fase biasanya mempunyai kumparan 3-fase identik yang terpisah satu sama lainnya sebesar 120 derajat listrik. Motor ini biasanya beroperasi dengan menggunakan sistem 3-fasa. Secara konstruksi, bentuk kumparan motor ini dapat dimodelkan seperti gambar 2.

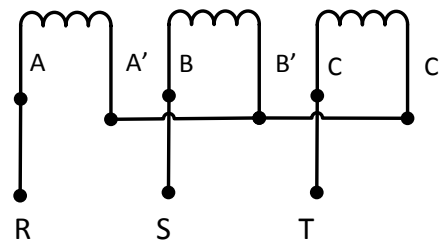
Kumparan motor induksi 3-fasa dapat dihubungkan dalam sistem pengoperasiannya sebagai hubungan bintang dan hubungan delta



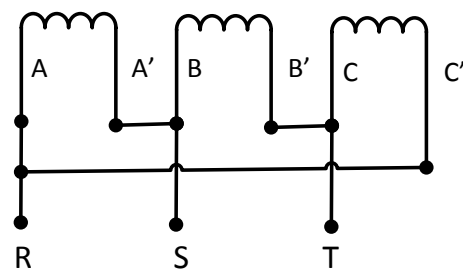
Gambar 1 Bentuk hubungan kumparan bantu dan kumparan utama motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor [22]



Gambar 2 Bentuk pembagian 3 kumparan motor induksi 3-fasa [22]



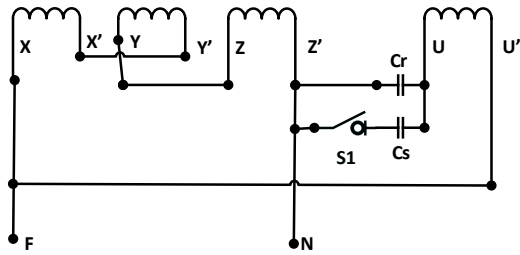
Gambar 3 Bentuk kumparan motor induksi 3-fasa yang terhubung Y [22]



Gambar 4 Bentuk kumparan motor induksi 3-fasa terhubung delta [22]

seperti yang diperlihatkan seperti gambar 3 dan gambar 4.

Dari gambar 2, 3 dan 4 dapat dijelaskan bahwa ada 3 kumparan pada motor induksi 3-fasa, yaitu kumparan A (masuk dari titik A dan keluar dari titik A'), kumparan B (masuk dari titik B dan keluar dari titik B'), kumparan C (masuk dari titik C dan keluar dari titik C'). Huruf R, S dan T pada gambar 2, dan 3 merupakan tempat disambungkannya sumber 3-fasa untuk mensuplai motor yang terdiri dari fasa R, S dan T.



Gambar 5 Bentuk hubungan kumparan bantu dan kumparan utama motor induksi 1-fasa dengan 4 kumparan.

2.3 Disain Baru Motor Induksi 1-fasa dengan Sistem Kumparan 4-fasa

Dalam sistem pengoperasian motor induksi 3-fasa, telah dilakukan beberapa teknik pengoperasian motor ini pada sistem 1-fasa. Metode yang digunakan dengan meniru prinsip kerja metode induksi 1-fasa jenis motor kapasitor [9], [13], [15], [16]. Dengan merujuk dari hasil penelitian-penelitian ini maka dapat dibuatkan bentuk konstruksi dan hubungan kumparan stator motor induksi 1-fasa seperti halnya disain kumparan 4-fasa yang terdiri dari 4 kumparan seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.

Kumparan bantu dari gambar 5 adalah kumparan X, Y dan Z. sedangkan kumparan utama adalah kumparan U. Cs dan Cr secara berturut-turut adalah kapasitor start dan kapasitor jalan yang digunakan pada kumparan bantu. F dan N pada gambar 5 secara berurut-turut adalah Fasa dan Netral dari sumber sistem 1-fasa yang dihubungkan ke motor. S1 pada gambar 5 merupakan saklar sentrifugal yang digunakan untuk melepas kapasitor Cs setelah kecepatan rotor mencapai 75%.

Besarnya total reaktansi kapasitif yang digunakan pada motor (Cst) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [13].

$$Cst = \frac{(0,1757).I_N}{(f).V_{LN}} \quad (1)$$

Selanjutnya, besarnya reaktansi kapasitif untuk kapasitor jalan (Cr) dengan motor induksi 1-fasa yang menggunakan 4 (empat) kumparan yang sama besar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Cr = \frac{I_{ph}}{(\omega).(A_Z.V_{LN})} = \frac{I_{ph}}{(A_Z).(2.\pi.f).(V_{LN})} \quad (2)$$

yang mana:

- I_{ph} = arus nominal kumparan motor (A)
- V_{LN} = tegangan fasa ke netral dari sumber tenaga yang digunakan (V)
- f = frekuensi sumber (Hz)
- A_Z = konstanta dari Zuriman Anthony

Besarnya konstanta A_Z pada persamaan (2) ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A_Z = \frac{N_U + N_V + N_W}{N_X} \quad (3)$$

yang mana:

- N_U = total total jumlah slot pada kumparan 'U'
- N_V = total total jumlah slot pada kumparan 'V'
- N_W = total total jumlah slot pada kumparan 'W'
- N_X = total total jumlah slot pada kumparan 'X'

Besarnya nilai reaktansi kapasitif dari kapasitor start (Cs) yang digunakan pada gambar 5 dapat dihitung sebagai berikut.

$$Cs = Cst - Cr (\text{Farad}) \quad (4)$$

Besarnya tegangan kapasitor (V_C) dan daya reaktif yang disumbangkan kapasitor jalan (VARc) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_C = A_Z.V_{LN} \quad (5)$$

$$VARc = \omega.Cr.(V_C)^2 = (A_Z)^2.\omega.Cr.(V_{LN})^2 \quad (6)$$

Selanjutnya, besarnya daya semu (S), arus yang masuk ke motor (I_L), faktor daya daya masukan pada motor dapat dihitung sebagai berikut.

$$S = VARc \quad (7)$$

$$I_L = \frac{S}{V_{LN}} \quad (8)$$

$$PF = \text{Cos}(\varphi) = 0,98 \quad (9)$$

$$Pin = S.\text{Cos}(\varphi) \quad (10)$$

3. METODA PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperlihatkan suatu desain baru dalam membentuk hubungan lilitan kumparan motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor start kapasitor jalan (capacitor-start capacitor-run induction motor). Desain kumparan ini dibuat dengan desain kumparan motor induksi 4-fasa S dengan nama kumparan X, Y, Z dan U seperti yang diperlihatkan pada gambar 5, yang mana semua kumparan identik sama. Jumlah slot dari kumparan X, Y dan Z sama, sedangkan jumlah slot dari kumparan U berbeda dengan jumlah slot dari ketiga kumparan X, Y dan Z. Kumparan X, Y dan Z disebut dengan kumparan bantu sedangkan kumparan U disebut sebagai kumparan utama. Motor yang didisain menggunakan luas penampang

yang sama $0,65 \text{ mm}^2$ yang dibuat mengacu ke luas penampang kumparan terkecil pada motor pembanding. Motor ini menggunakan kapasitor start $25 \mu\text{F}$ dan kapasitor jalan $20 \mu\text{F}$ yang dipasang pada kumparan bantu.

Motor induksi 1-fasa yang digunakan sebagai pembanding adalah: motor induksi 1-fasa, 220V, 8,3A, rotor sangkar, 4 kutup, 1 HP, 1440 rpm, 50Hz dengan kumparan bantu $2 \times 0,65 \text{ mm}^2$ dan kumparan utama $0,7 \text{ mm}^2$ dengan kapasitor start $200 \mu\text{F}$ dan kapasitor jalan $20 \mu\text{F}$.

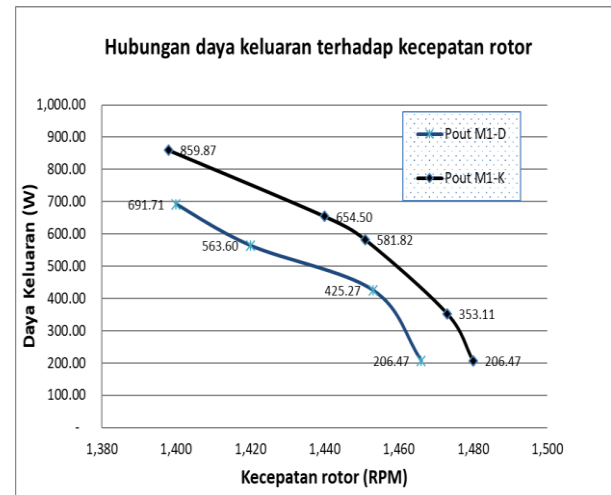
Agar jenis rangka dan bahan yang digunakan antara motor yang didisain motor dengan motor pembanding tidak berbeda, maka jenis rangka motor yang digunakan pada motor pembanding juga digunakan pada motor yang didisain. Untuk mendapatkan data pengukuran yang lebih banyak, maka motor dioperasikan sampai kecepatan sekitar 1400 RPM.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

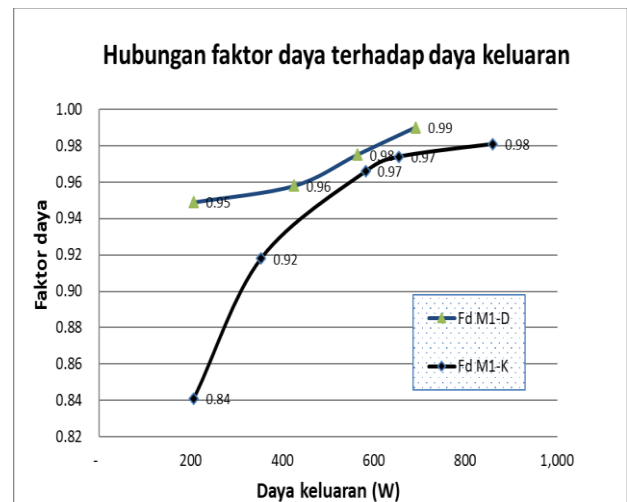
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditampilkan gambar grafik perbandingan karakteristik keluaran daya dan faktor daya motor seperti yang diberikan pada gambar 6 dan gambar 7.

Dari hasil gambar 6 terlihat bahwa motor yang didisain dengan kumparan bantu dan kumparan utama sama $0,65 \text{ mm}^2$ (lebih kecil dari kumparan motor pembanding) mempunyai kemampuan daya keluaran sebesar $691,71\text{W}$ pada kecepatan 1400 RPM yaitu sekitar $80,44\%$ dari keluaran daya motor pembanding yang hanya $859,87\text{W}$ dengan kecepatan 1398 RPM.. Ini terpaksa dilakukan mengacu kepada arus nominal kumparan motor yang didisain hanya $2,9 \text{ A}$ yang sama antara kumparan bantu dengan kumparan utamanya. Sedangkan pada motor induksi 1-fasa konvensional pembanding menggunakan kumparan bantu $2 \times 0,65 \text{ mm}^2$ dan kumparan utama $0,7 \text{ mm}^2$ sehingga kemampuan arus nominalnya menjadi lebih besar dengan kemampuan yang lebih besar pula. Motor yang didisain akan mempunyai kemampuan yang lebih besar lagi bila kumparan bantu motor ini diperbesar dari kumparan utamanya. Pembahasan motor dengan desain baru kumparan 4-fasa dengan kumparan bantu yang lebih besar akan dibahas pada jurnal yang lain (dalam proses).

Dengan memperhatikan hasil gambar 7 terlihat bahwa faktor daya dari motor induksi 1-fasa yang didisain dengan kumparan 4-fasa memiliki kinerja yang lebih baik dari motor induksi 1-fasa konvensional, dimana faktor daya motor yang didisain selalu lebih tinggi (lebih baik) dan motor konvensional sehingga motor dapat beroperasi dengan faktor daya mendekati satu.



Gambar 6 Bentuk hubungan daya keluaran motor terhadap kecepatan rotor (akibat perubahan beban)



Gambar 7 Bentuk hubungan faktor daya terhadap daya keluaran motor

Dari hasil penelitian yang telah dijabarkan di atas terlihat bahwa disain kumparan 4-fasa yang diterapkan motor induksi 1-fasa dapat mengoperasikan motor dengan faktor daya yang lebih baik dan dengan menggunakan kapasitor start yang lebih kecil dari motor induksi 1-fasa konvensional dimana $1/8$ kali (25 dari 200) dari kapasitor start yang biasa digunakan pada motor induksi 1-fasa konvensional. Masalah kemampuan motor dapat ditingkatkan dengan memperbesar luas penampang kumparan bantu yang akan dibahas pada jurnal berikutnya.

5. KESIMPULAN

Dari hasil kajian penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Motor induksi 1-fasa dengan disain kumparan 4-fasa yang identik sama dapat beroperasi dengan kemampuan daya

- keluaran 80,44% dengan faktor daya yang lebih baik hingga mendekati satu.
2. Motor induksi 1-fasa yang didisain ini dapat beroperasi dengan baik dengan nilai kapasitor start yang lebih kecil dimana 1/8 kali dari kapasitor start yang biasa digunakan pada motor induksi 1-fasa konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. C. Sen, *Principles of Electrical Machines and Power Electronics*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] S. J. Chapman, *Electrical Machinery Fundamentals*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [3] A. Nied and J. De Oliveira, "Improving Washing Machine Performance Using Single-Phase Induction Motor Field-Oriented Control," pp. 2917–2922, 2013.
- [4] A. Al, S. Bandri, A. Y. Dewi, and A. Syofian, "Effective Power Output Single Phase Inverter Design in Home Scale Application with Arduino Microcontroller as Control Pulse," *IJETT*, vol. 26, no. 2, pp. 103–106, 2015.
- [5] H. M. B. Metwally, "New method for speed control of single phase induction motor with improved motor performance," *Energy Convers. Manag.*, vol. 42, no. 8, pp. 941–950, 2001.
- [6] T. Liu, M. Lin, and H. Wu, "A single phase induction motor drive with improved performance," vol. 47, pp. 29–38, 1998.
- [7] 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)," vol. 12, no. 23, pp. 6967–6974, 2017.
- [8] P. Brzezirekl, J. Pillay, "Induction Motor Performance Fed from Single to Three Phase Converter," *IEEE*, 1990.
- [9] Z. Anthony, "Perancangan sistem Kendali Dual Fungsi Pengoperasian Motor Induksi 3-fasa," *Momentum*, vol. 7, no. 2, pp. 1–5, 2005.
- [10] Z. Anthony, "Studi pengaruh perubahan frekuensi sumber terhadap faktor daya motor induksi 3-fasa," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 2, no. 2, pp. 49–52, 2013.
- [11] N. A. Ahmed, "Three-phase induction motor operating from single-phase supply with an electronically controlled capacitor," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 73, no. 2, pp. 121–128, 2005.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Y. A. Al-turki and H. Al-umari, "Application of the reference frame theory to the dynamic analysis of a three-phase induction motor fed from a single-phase supply," *Elsevier*, vol. 53, pp. 149–156, 2000.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Z. Anthony, R. A. Alamsyah, R. Hermanto, and E. Sullivan, "Pengoperasian Motor Induksi 3-Fasa Hubungan Delta Pada Sistem Tenaga 1-Fasa Yang Ditinjau Dari Efisiensi dan Kemampuan Motor," pp. 29–32, 2014.
- [18] Z. Anthony, J. T. Elektro, and S. Barat, "ANALISIS KINERJA MOTOR M31-ZA UNTUK STNDAR HUBUNGAN DELTA DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI 3-FASA," pp. 1–6.
- [19] Z. Anthony, E. Erhaneli, and B. Busran, "A New Method for Analyzing the Characteristics of The 3-Phase Induction Motor," in *International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS) 2017*, 2016, pp. 145–151.
- [20] Z. Anthony, "Pengembangan Rangkaian Kendali untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3-Fasa," vol. 6, no. 1, pp. 81–86, 2017.
- [21] Z. Anthony and E. Erhaneli, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa," *Pengemb. Infrastruktur dan Technopreneursh. Untuk Meningkatkan. Daya Saing Bangsa*, pp. 245–249, 2017.
- [22] Z. Anthony and E. Erhaneli, "A New Winding Design for Single Phase Induction Motor," no. October, pp. 13–15, 2017.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan dari semua pihak yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Saya juga tidak lupa mengucapkan banyak terimakasih kepada ‘Kopertis Wilayah X’ dan ‘Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Republik Indonesia’ yang telah mendanai penelitian ini, dengan kontrak penelitian Nomor: 320/27.O10.5/PN/II/2018.