

Analisis perbandingan tipe belitan terhadap nilai parameter motor induksi satu fasa

Imron Ridzki¹, Asfari Hariz Santoso², Ahmad Hermawan³
e-mail: imron.ridzki@polinema.ac.id, asfari.hariz@polinema.ac.id,
ahmad.hermawan@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 19 September 2021

Direvisi 20 Maret 2022

Diterbitkan 29 April 2022

Kata kunci:

Motor Induksi
Rewinding
Tipe Belitan
Parameter Motor Induksi

ABSTRAK

Motor induksi merupakan salah satu motor listrik yang luas penggunaannya. Salah satu jenis motor induksi adalah motor induksi satu fasa. Pada kondisi tertentu motor induksi perlu dilakukan *rewinding* pada kumparannya. Proses *rewinding* sebelumnya harus ditentukan jumlah kutub, tipe belitan, dimensi konduktor, serta jumlah lilitnya. Praktik di lapangan ketika melakukan proses *rewinding* umumnya hanya memperhatikan jumlah kutub, akan tetapi tipe belitan tidak begitu diperhatikan secara khusus. Pada dasarnya setiap tipe belitan menghasilkan gaya gerak magnet (mmf) yang berbeda-beda, yang mana mmf tersebut mengandung komponen fundamental dan komponen harmonisanya. Hal ini akan berakibat fluksi yang dihasilkan juga berbeda. Dimana fluksi juga mempunyai peran pada nilai parameter motor induksi satu fasa. Pada penelitian ini dilakukan proses *rewinding* pada dua motor induksi dengan konstruksi yang sama, motor induksi pertama (M1) dengan tipe belitan terbagi-*skrew* dan motor induksi kedua (M2) dengan tipe belitan terpusat terdistribusi, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui parameter motor induksi hasil *rewinding*. Hasil pengujian didapatkan perbedaan nilai reaktansi dimana M1 nilai reaktansi kumparan stator dan rotornya berturut-turut 5,71 Ω dan 5,71 Ω , pada M2 nilai reaktansi stator dan rotornya berturut-turut 5,98 Ω dan 5,98 Ω . Analisis perbedaan nilai reaktansi motor induksi tersebut dilakukan analisis *finite element* menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2.

ABSTRACT

The single-phase induction motor is one of the most widely used electric motors. Under certain conditions, the induction motor needs to be rewinded on the coil. The rewinding process must determine the number of poles, the type of winding, the dimensions of the conductor, and the number of turns. Generally, when carrying out the rewinding process, the winding type is not given much special attention. Where each type of winding produces a different magnetomotive force (mmf). This will result in different fluxes resulting in different parameter values for single-phase induction motors. In this study, a comparison of the parameters of an induction motor with the same construction and with different winding types will be carried out. The first motor (M1) is of the screw-shared winding type and the second motor (M2) is of the distributed concentrated winding type. The test results show a difference in the reactance value where M1 the reactance values of the stator and rotor coils are 5.71 Ω and 5.71 Ω , respectively, while in M2 the stator and rotor reactance values are 5.98 Ω and 5.98 Ω , respectively. The difference in reactance values was carried out by finite element analysis using FEMM 4.2.

Keywords:

Induction Motor
Rewinding
Winding type
Induction Motor parameters

Penulis Korespondensi:

Imron Ridzki
 Jurusan Teknik Elektro,
 Politeknik Negeri Malang
 Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur
 Email: imron.ridzki@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan motor induksi sangat luas karena dapat diandalkan dibandingkan dengan motor listrik jenis lain dengan kapasitas yang sama [1]. Disamping itu motor induksi memiliki potensi dalam peningkatan effisiensinya [2]. Karena kelebihanannya dibanding dengan motor jenis lain yakni kokoh mudah dalam perawatan dan konstruksi yang sederhana serta biaya produksinya rendah [3-4]. Ditinjau dari kelebihanannya tersebut motor induksi cukup banyak aplikasinya diantaranya untuk kebutuhan rumah tangga, industri, maupun penggerak kendaraan listrik [5].

Dalam kondisi tertentu motor induksi perlu dilakukan *rewinding* seperti mesin pemisah tongkol dan biji jangung yang membutuhkan kecepatan motor sebesar 1500 rpm [6], sehingga memerlukan rancangan belitan yang akan diterapkan ketika melakukan proses *rewinding*. Rancangan belitan tersebut meliputi penentuan dimensi konduktor, jumlah lilit, serta tipe belitan yang digunakan. Ketika melakukan *rewinding* umumnya pihak yang melaksanakan membuat rancangan tipe belitan sesuai dengan jumlah kutub yang diinginkan. Pada dasarnya setiap tipe belitan memiliki susunan belitan yang berbeda-beda sehingga menghasilkan perbedaan nilai gaya gerak magnet (mmf) [7]. Gaya gerak magnet yang dihasilkan terdiri dari komponen fundamental dan komponen harmonisanya. Disamping itu pula fluks *linkage* pada *end winding* merupakan jumlah dari fluks stator dan fluks rotor [8].

Jumlah komponen harmonisanya menyebabkan nilai fluksi yang dihasilkan dari belitan tersebut berbeda pula. Seperti yang diketahui bersama bahwa parameter motor induksi bergantung dari fluksi yang dihasilkan oleh kumparan motor induksi tersebut. Oleh sebab itu penting untuk mengetahui bagaimana pengaruh tipe belitan terhadap nilai parameter motor induksi satu fasa. Dengan diketahui nilai parameter motor induksi akan memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengetahui karakteristik motor induksi serta dapat menentukan motor penggerak sesuai dengan kebutuhan. Dari latar belakang tersebut maka akan dilakukan penelitian perbandingan parameter 2 motor induksi 1 fasa dengan kapasitas 1 kW 1000 rpm dan dengan tipe belitan stator yang berbeda. Proses *rewinding* motor induksi 1 fasa dengan 2 tipe belitan yang berbeda dimana Motor (M1) menggunakan tipe belitan terbagi-screw sedangkan Motor (M2) menggunakan tipe terpusat-terdistribusi. Kumparan yang digunakan pada kedua motor masing-masing memiliki jumlah alur dan lilit yang sama.

Untuk mendapatkan nilai parameter dari motor induksi yang telah dilakukan *rewinding* maka dilakukan pengujian tanpa beban, *block rotor*, dan pengujian DC. Disamping itu untuk menganalisis hasil penelitian digunakan perangkat lunak bantu FEMM 4.2.

2. MOTOR INDUKSI 1 FASA

Motor induksi satu fasa memiliki 2 jenis kumparan stator, yaitu *main winding* dan *auxiliary winding*, diantara keduanya di pasang kapasitor untuk mendapatkan perbedaan fasa sebesar 90° listrik, agar didapatkan torsi yang baik [9] [10]. Dimana *auxiliary winding* mempunyai resistansi dan reaktansi lebih besar dari *main winding* dan *auxiliary winding*. Pada dasarnya motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkronnya. Pada saat beroperasi kecepatan rotasional rotornya lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan sinkronnya. Besar nilai kecepatan sinkron motor induksi bergantung pada jumlah kutubnya dan nilai frekuensi suplainya [11].

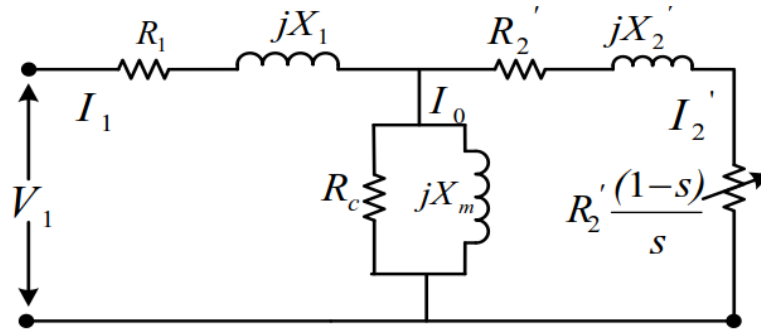
$$n_s = \frac{60 f}{p} \text{ (rpm)} \quad (1)$$

dimana,

- f : Frekuensi suplai (Hz)
- n_s : Kecepatan sinkron/ kecepatan medan putar stator (rpm)
- p : Jumlah pasang kutub

2.1 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Rangkaian ekuivalen motor induksi ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah. Dimana terdapat beberapa parameter motor induksi yang terkait dengan stator dan rotor. Parameter tersebut diantaranya R_1 (Resistansi stator), X_1 (Reaktansi stator), R_c (Rugi inti stator), dan X_m (Reaktansi magnetisasi), disamping itu di sisi rotor terdapat R_2' dan X_2' yang merupakan resistansi dan reaktansi rotor yang mengacu pada sisi stator, serta $R_2' \frac{1-s}{s}$ yang merupakan representasi dari beban motor [12] [13] [14]. Untuk mendapatkan nilai parameter motor induksi tersebut dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian tanpa beban, pengujian rotor ditahan, dan pengujian DC.



Gambar 1. Rangkain ekuivalen motor induksi tiap fasa

Resistansi stator (R_1) didapatkan dari pengujian DC, untuk mendapatkan nilai resistansi rotor R_2 dilakukan pengujian *block rotor*, dan pengujian tanpa beban sebagai jalan untuk mendapatkan reaktansi magnetisasi dilakukan pengujian tanpa beban [15]. Semua parameter yang didapat dihitung melalui persamaan:

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \Omega \tag{2}$$

$$R_c = \frac{(R_{nl} - R_1)^2 + (X_{nl} - X_1)^2}{R_{nl} - R_1} (\Omega) \tag{3}$$

$$X_m = \frac{(R_{nl} - R_1)^2 + (X_{nl} - X_1)^2}{X_{nl} - X_1} (\Omega) \tag{4}$$

$$R = R_{BR} - R_1 (\Omega) \tag{5}$$

$$R_2^1 = R \left(\frac{X_{22}}{X_m} \right)^2 = R \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2 \Omega \tag{6}$$

Dari tabel pembagian reaktansi bocor motor induksi secara empiris didapatkan nilai X_1 dan X_2^1 dengan persamaan:

$$X_1 = X_2^1 = 0,5 \cdot X_{BR} \tag{7}$$

$$R_2^1 = R \left(\frac{X_{22}}{X_{mm}} \right)^2 = R \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2 \Omega \tag{8}$$

2.2 Daya Input Motor Induksi

$$Q = C_0 \cdot D^2 \cdot L \cdot n_s \text{ (kVA)} \tag{9}$$

$$C_0 = 11 \cdot B_{av} \cdot AC \cdot K_w \cdot 10^{-3} \tag{10}$$

$$P = Q \cdot \eta \cdot \cos\phi \text{ (W)} \tag{11}$$

Dimana,

- Q : Daya masukan jangkar (kVA)
- D : diameter stator (m)
- L : panjang stator (m)
- C_0 : koefisien keluaran motor arus bolak - balik
- n_s : kecepatan sinkron (rps)
- B_{AV} : kerapatan medan magnet celah udara rata-rata (T)

- AC : specific loading (A/m)
 η : efisiensi
 $\cos\phi$: Faktor daya

2.3 Belitan Motor Induksi

Pada kondisi normal, untuk mesin standart kerapatan arus pada konduktor stator umumnya berkisar antara 3 sampai 4 A/mm² [16].

$$I = \frac{P_m}{V \times \eta \times \cos\phi} \quad (12)$$

dan luas penampang konduktor stator dapat ditentukan yaitu:

$$a_s = \frac{I_s}{\delta_s} \quad (13)$$

Untuk menentukan fluksi *pitch* adalah:

$$\phi_m = B_{AV} \cdot \tau \cdot L \quad (14)$$

Dengan kisar kutub:

$$\tau = \frac{\pi \times D_s}{p} \quad (15)$$

Dimana,

- D_s : diameter stator (m)
 L : panjang stator (m)
 τ : Kisar kutub
 B_{AV} : kerapatan fluksi (T)
 p : Jumlah kutub

$$T_m = \frac{E}{4,44 \times f \times \phi_m \times K_w} \quad (16)$$

Dimana,

- E : tegangan induksi stator (V)
 f : frekuensi (Hz)
 Φ_m : fluksi per kutub pada *main winding* (weber)
 K_w : faktor belitan
 T_m : jumlah lilit *main winding*

2.4 Analisis Finite Element

Kebutuhan akan analisis hasil perancangan mesin listrik yang handal dan efisiensi yang baik perlu dilakukan analisis-analisis tertentu, salah satunya menggunakan analisis *finite element* [17]. Persamaan Maxwell digunakan untuk mengidentifikasi distribusi elektrik dan distribusi magnetik pada mesin listrik yang diteliti [18].

$$\nabla \times H = J \quad (17)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (18)$$

$H(x, y, z)$ = medan magnet dalam ampere per meter, $B(x, y, z)$ = kerapatan fluks magnet dalam Tesla dan $J(x, y, z)$ = kerapatan arus dalam ampere per meter persegi. Hubungan antara kerapatan fluks magnet dan medan magnet dinyatakan dengan persamaan:

$$B = \mu_0 \mu_r H = \nabla \times A \quad (19)$$

dimana $\mu_r(x, y, z)$ = permeabilitas relatif dan μ_0 = permeabilitas udara = $4\pi 10^{-7}$. Pada sistem koordinat cartesian:

$$J = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ j(x, y) \end{bmatrix} \quad (20)$$

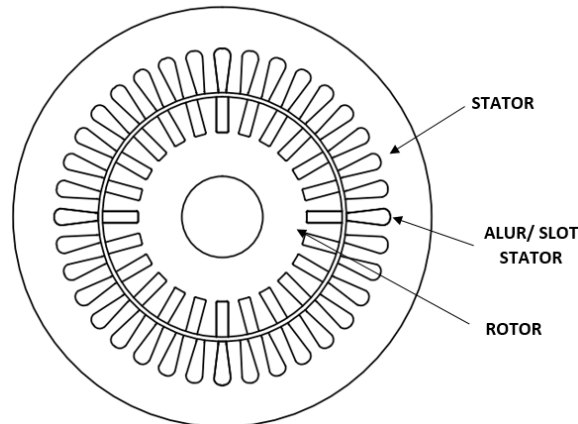
$$A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ A_z(x, y) \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial A_z}{\partial y} \\ -\frac{\partial A_z}{\partial x} \\ 0 \end{bmatrix} \tag{22}$$

3. MODIFIKASI BELITAN MOTOR INDUKSI 1 FASA

3.1 Konstruksi Motor

Motor induksi yang digunakan sebagai bahan penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah. Kontruksi motor induksi sendiri baik dari bagian stator dan rotor berbahan feromagnetik [19], adapun data konstruksi motor tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah.



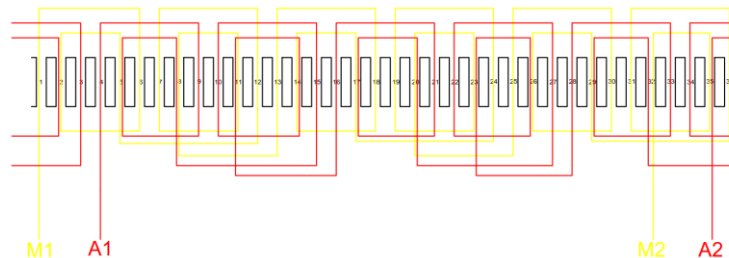
Gambar 2. Kontruksi Motor Induksi

Tabel 1. Dimensi Konstruksi Motor Induksi

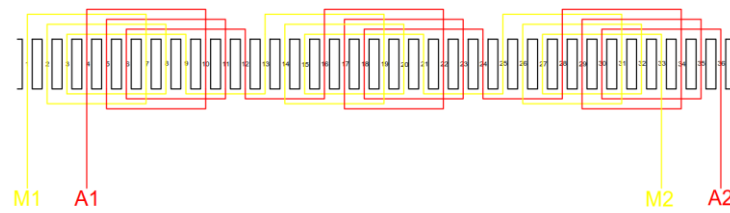
Data Konstruksi	Nilai
Diameter Stator (mm)	105
Jumlah alur stator (buah)	36
Luas alur stator (mm ²)	72,6105
Jumlah alur rotor (buah)	24

3.2 Perancangan Belitan

Data masukan untuk perancangan belitan adalah konstruksi stator. Stator motor yang digunakan mempunyai alur sebanyak 36. Langkah selanjutnya menentukan jumlah kutub, jumlah alur untuk masing-masing kumparan, dan tipe belitan. Ditentukan 6 kutub dan masing-masing 18 alur untuk *main winding* dan *auxiliary winding*. *Main winding* (warna kuning) dan *auxiliary winding* (warna merah) dibuat simetri dengan tujuan kemudahan pengaturan torsi pada penelitian lanjutan. Tipe belitan yang digunakan antara lain terbagi-screw Gambar 3 (M1) dan tipe belitan terpusat terdistribusi Gambar 4 (M2).



Gambar 3. Tipe belitan terbagi-screw (M1)

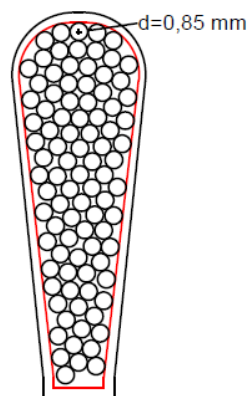


Gambar 4. Tipe belitan terpusat terdistribusi (M2)

Data belitan dari kedua tipe belitan yang diterapkan pada motor M1 dan M2 ditunjukkan pada Tabel 2. di bawah ini

Parameter	Nilai
Jumlah kutub (p)	6
Kisar alur (γ_θ)	30°
Luas penampang konduktor (A_w)	$0,567 \text{ mm}^2$

Penentuan diameter konduktor dan jumlah lilit dilakukan dengan mempertimbangkan kerapatan arus yang mengalir dan *filling factor*. Diameter konduktor yang dibutuhkan sebesar 1,27 mm dengan jumlah lilit sebanyak 46. Pada praktiknya digunakan konduktor dengan diameter 0,85 mm yang dirangkap dua yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah. Hal ini dilakukan agar mudah dalam melakukan pelilitan dan mendapatkan *filling factor* yang bagus. Karena semakin besar *filling factor* akan mengurangi rugi tembaga dan fluksi bocor [20] [21], sehingga didapatkan efisiensi motor yang baik [22] [23], serta *meningkatkan power density* motor [24]. *Filling factor* yang didapat sebesar 0,718.



Gambar 5. Susunan konduktor kumparan tiap alur

3.2 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain pengujian DC, *block rotor*, dan tanpa beban. Dari ketiga pengujian tersebut akan didapatkan nilai parameter masing-masing motor yang diteliti baik M1 maupun M2. Hasil pengujian serta parameter motor M1 dan M2 pada *main winding* dan *auxiliary winding* masing-masing ditunjukkan pada Tabel 3, 4, 5, dan 6 berikut:

Tabel 3. Parameter Hasil Pengujian Motor M1

Kumparan	$R_{DC} (\Omega)$	$R_{NL} (\Omega)$	$X_{NL} (\Omega)$	$Z_{NL} (\Omega)$	$R_{BR} (\Omega)$	$X_{BR} (\Omega)$	$Z_{BR} (\Omega)$
Main	3,08	8,88	43,61	44,5	6	11,42	12,9
Auxiliary	3,12	9,06	43,06	44	6	11,08	12,6

Tabel 4. Parameter Hasil Pengujian Motor M2

Kumparan	$R_{DC} (\Omega)$	$R_{NL} (\Omega)$	$X_{NL} (\Omega)$	$Z_{NL} (\Omega)$	$R_{BR} (\Omega)$	$X_{BR} (\Omega)$	$Z_{BR} (\Omega)$
Main	3,1	6,8	41,64	42,2	6	11,96	13,38
Auxiliary	3,14	6,88	41,83	42,2	6,16	11,58	13,12

Tabel 5. Parameter Motor M1

Kumparan	$R_1 (\Omega)$	$X_1 (\Omega)$	$R_c (\Omega)$	$X_M (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$X_2 (\Omega)$
Main	3,08	5,71	2,92	37,9	3,87	5,71
Auxiliary	3,12	5,54	2,88	37,52	3,79	5,54

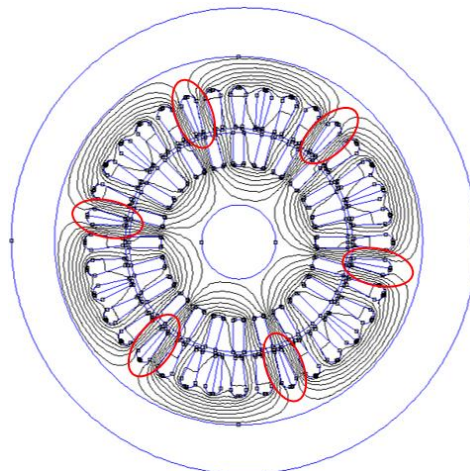
Tabel 6. Parameter Motor M2

Kumparan	$R_1 (\Omega)$	$X_1 (\Omega)$	$R_c (\Omega)$	$X_M (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$X_2 (\Omega)$
Main	3,1	5,98	2,9	35,66	3,95	5,98
Auxiliary	3,14	5,79	3,02	36,04	4,07	5,79

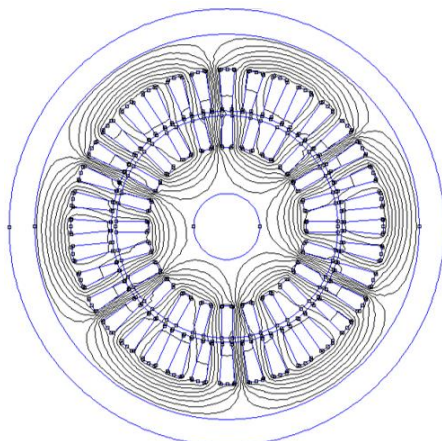
Susunan belitan pada kedua mesin memberikan perbedaan nilai parameter. Hal ini dikarenakan dalam setiap pasang kutub pada masing-masing tipe belitan memiliki bentuk belitan yang berbeda. Perbedaan tersebut terletak pada jarak antara sisi kumparan untuk setiap kutubnya. Pada M1 terdapat dua belitan yang mempunyai jarak sisi kumparan yang berbeda antara lain sebesar lima dan tiga alur untuk setiap kutubnya. Sedangkan pada M2 mempunyai jarak sisi kumparan yang sama setiap belitannya yakni enam alur untuk setiap kutubnya. Konfigurasi kumparan pada M1 mempunyai enam alur yang ditempati dua sisi kumparan yang arah arusnya berlawanan, sehingga fluks yang dihasilkan saling menghilangkan. Oleh sebab itu nilai reaktansi pada M1 nilainya lebih kecil dibanding reaktansi M2.

3.3 Analisis Finite Element

Hasil analisis *finite element* dengan menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2 pada motor M1 dan M2 masing-masing ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 di bawah



Gambar 6. Distribusi fluks magnetik M1



Gambar 7. Distribusi fluks magnetik M2

. Hasil analisis menunjukkan kerapatan medan magnet M2 lebih merata dibanding M2. Hal tersebut dikarenakan adanya dua kumparan yang berbeda arah arusnya dalam satu alur sehingga fluksnya saling menghilangkan. Dimana ada 6 alur tersebut diberikan lingkaran warna merah pada Gambar 6 di atas. Ketidakmerataan fluks pada M1 menyebabkan nilai induktansi kumparan menjadi lebih kecil dibanding M2, sehingga nilai reaktansi kumparan stator dan rotor pada M1 menjadi lebih kecil dibandingkan M2.

4. KESIMPULAN

Perbandingan hasil pengujian antara motor M1 dan M2 menunjukkan hasil parameter Motor Induksi yang berbeda. Perbedaan tersebut terletak pada nilai reaktansi kumparan stator dan rotornya. Nilai reaktansi kumparan stator dan rotor M1 5,71 Ω dan 5,71 Ω , sedangkan reaktansi kumparan stator dan rotor M2 masing-masing 5,98 Ω dan 5,98 Ω . Penyebab adanya perbedaan nilai reaktansi kumparan stator dan rotor pada kedua motor berdasarkan hasil analisis *Finite Element* dikarenakan adanya 6 alur yang terdapat dua sisi kumparan yang berbeda dan mempunyai arah arus yang berbeda, sehingga fluksnya saling menghilangkan yang berakibat adanya perbedaan pada nilai reaktansi kumparan stator dan kumparan rotor pada M1 dan M2.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pali, "A New Sensorless Speed Estimation Strategy for Induction Motor Driven Electric Vehicle with Energy Optimization Scheme," *IEEE*, 2016.
- [2] C. Li, D. Xu, and G. Wang, "High Efficiency Remanufacturing of Induction Motors With Interior Permanent-Magnet Rotors and Synchronous-Reluctance Rotors," pp. 2–7, *IEEE*, 2017.
- [3] N. Rivière and M. Villani, "Optimisation of a High Speed Copper Rotor Induction Motor for a Traction Application," *IECON 2019 - 45th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 1, pp. 2720–2725, *IEEE*, 2019.
- [4] Mismail Budiono, *Dasar Teknik Elektro*. Malang :Universitas Brawijawa Press, 2011
- [5] S. S. Babu, "Current Programmed Controlled DC-DC Converter for Emulating the Road Load in Six Phase Induction Motor Drive in Electric Vehicle," *IEEE*, 2020.
- [6] R. N. Silalahi, B. Sugiyantoro, F. D. Wijaya, "Merancang Ulang Motor Induksi 1000 rpm dengan Menggunakan Rangka Stator Motor 1500 rpm", *Jurnal Penelitian Teknik Elektro* Vol. 3 No. 3, 2010
- [7] Jimmie J. Cathey, 2001. *Electric Machines: Analysis and Design Applying MATLAB*. Singapore. The McGraw-Hill Companies, Inc.,
- [8] A. Conradi, D. Schmidt, C. Deeg, "Contribution to the Analysis of End Winding Inductances of Induction Machines - I", *International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 2016.
- [9] A. R. Khan and Q. Ahsan, "Development and Performance Analysis of a Two- Phase Induction Motor in the Frame and Core of a Single-Phase Induction Motor," pp. 469–472, *IEEE*, 2014.
- [10] Ion Boldea dan Syed A. Nasar. *The Induction Machine Handbook*. CRC Press. 2001.
- [11] Z. Yang, X. Li, C. Zhang, and S. Chi, "A New Slip Compensation Method for Induction Motors Based on Current Vector Decoupling," *IEEE*, 2017.
- [12] D. Bhowmick, M. Manna, and S. K. Chowdhury, "Online Estimation and Analysis of Equivalent Circuit Parameters of Three Phase Induction Motor Using Particle Swarm Optimization," pp. 1–5, 2016.
- [13] A. Khitrov, A. Khitrov, K. Kurikov, "Parameter Identification of Induction Motor Drives", *International Workshop on Electric Drives*, 2021

- [14] S. Riyanto, A. Supriadi, “Analisis Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa 15 Hp Menggunakan Metode Dol (Direct On Line) Pada Pdam Juwata Laut Tarakan”, *Jurnal ElektriKa Borneo (JEB)*, Vol. 4, No. 2, Oktober 2018, hlm. 11-16
- [15] J. Di, Y. Fan, and Y. J. Liu, “Equivalent Parameter Estimation of a Single-Sided Linear Induction Motor Based on Electromagnetic Field Induced by Current FFT-Wave,” no. 51077003, pp. 89–91, 2015.
- [16] Sawhney A.K, 1990. *Electrical Machine Design*. New Delhi : Dhanfat Rai & Sons.Gonen, Turan. 1987. *Electric Power Distribution Sistem Engineering*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- [17] H. Al-ajmi and M. I. Masoud, “A Case Study for Five Phase Induction Motor Design : Evaluation using Finite Element Analysis,” no. 1, 2017.
- [18] Pudji Irasari, Hilman Syaeful Alam, dan Muhammad Kasim, *Magnetic Simulation and Analysis of Radial Flux Permanent Magnet Generator Using Finite Element Method*. Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology 03 : 23-30, 2012
- [19] De Lima, R. A., Coimbra, A. C. P., Almeida, T., Gomes, V. M., Pereira, T. M., Alves, A. J., & Calixto, W. P., “Influence Of Slot Geometry On Air Gap Magnetic Flux Density Of Rotating Machines”, *IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2016.
- [20] S. Makita, Y. Ito, T. Aoyama, and S. Doki, “Winding Factor and a High Slot Fill Factor,” pp. 3823–3827, 2014.
- [21] A. O. Di Tommaso, F. Genduso, R. Miceli, *Member*, IEEE, dan C. Nevoloso. Fast Procedure for the Calculation of Maximum Slot Filling Factors in Electrical Machines. *IEEE*. 2017.
- [22] Caruso, M., Di Tommaso, A. O., Miceli, R., & Nevoloso, C., “Algorithmic Approach for Slot Filling Factors Determination in Electrical Machines”, *IEEE*, 2018.
- [23] Linnemann, M., Bach, M., Psyk, V., Werner, M., Gerlach, M., & Schubert, N., “Resource-Efficient, Innovative Coil Production For Increased Filling Factor”, *IEEE*, 2019.
- [24] Riedel, A., Roessert, A., Kuehl, A., & Franke, J., “Calculation of the Copper Filling Factor of Electric Traction Drives including Graphical Representation”, *International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2019