

# Desain Motor Kapasitor Dua Fasa Simetris 1 kW

Asfari Hariz Santoso<sup>\*a)</sup>, Rhezal Agung Ananto<sup>a)</sup>, Sri Wahyuni Dali<sup>a)</sup>, Ahmad Hermawan<sup>a)</sup>

(Received 21 Desember 2023 || Revised 22 Januari 2023 || Accepted 22 Februari 2024)

**Abstract:** Single phase induction motors are one of the most frequently used types of motors because of their economical, sturdy, simple and easy maintenance advantages. One application is for electric vehicles. When single phase induction motors are applied to electric vehicles there are problems related to torque regulation based on vehicle operating conditions where when operating on light road conditions the torque produced by the motor remains high. In this research, a single-phase induction motor was made to have the same proportion of torque produced by the main coil and auxiliary coil or a 1kW 1000 rpm symmetrical two-phase induction motor. The type of winding applied to the stator is divided screws with the main and auxiliary coils each occupying 18 stator slots, 45 conductors per slots, with a conductor diameter of 1.2 mm. As a phase shifter at start and operation so that they differ by 90°, a capacitance of 505.51 μF is used. As a result of the winding modification, the induction motor parameter values for each stator winding are the same. So the starting torque of the main and auxiliary coils is 3.89 Nm and 3.88 Nm respectively and the nominal torque produced by the main and auxiliary coils is 4.28 Nm and 4.29 Nm respectively.

**Keywords:** two-phase induction motor, divided screws, torque, capacitance

## 1. Pendahuluan

Motor induksi satu fasa merupakan salah satu jenis motor yang sangat luas sekali penggunaannya dengan 40% konsumsi energi listrik digunakan untuknya [1]. Salah satu penggunaan yang populer adalah untuk penggerak kendaraan listrik (*electric vehicle*), karena memiliki kelebihan dalam hal konstruksi yang kokoh dan sederhana serta perawatannya yang mudah [2] [3] [4]. Motor induksi satu fasa juga disebut sebagai motor induksi dua fasa tak simetris. Hal ini disebabkan konstruksi stator motor induksi satu fasa terdapat dua kumparan stator yang terdiri dari kumparan utama dan kumparan bantu. Kedua kumparan tersebut menempati 75% bagian untuk kumparan utama dan 25% sisanya untuk kumparan bantu. Sehingga apabila dioperasikan sebagai motor induksi satu fasa, regulasi torsi yang dimiliki hanya 100% (nominal) pada saat starting dan 75% (nominal) saat hanya beroperasi dengan kumparan utama saja. Kondisi seperti ini apabila diterapkan untuk kendaraan listrik akan kurang efisien apabila kendaraan tersebut beroperasi pada kondisi jalan yang berbeda-beda, seperti tanjakan, turunan, rata, maupun jalan yang bergelombang. Oleh sebab itu dibutuhkan motor induksi yang memiliki regulasi torsi yang baik. Untuk mengatasi hal tersebut pada penelitian ini dirancang sebuah motor induksi dua fasa simetris. Dimana nantinya kumparan utama dan kumparan bantu pada stator masing-masing menempati 50% bagian dari alur stator. Agar apabila digunakan sebagai penggerak kendaraan listrik bisa diatur dua kumparan bekerja secara bersama (torsi 100%) ketika membutuhkan torsi yang tinggi dan hanya kumparan utama yang bekerja (torsi 50%) ketika pada kondisi jalan yang membutuhkan torsi rendah. Pada penelitian ini nantinya akan dirancang motor kapasitor 2 fasa simetris 1 kW, 1000 rpm dengan tahanan dan frekuensi kerja 220 V 50 Hz. Untuk mendapatkan arus yang sama besarnya pada kumparan utama dan kumparan bantu digunakan kapasitor sebagai penggeser fasa, agar perbedaan fasa antara arus kumparan utama dan arus kumparan bantu sebesar 90 derajat.

## 2. Metode

Secara umum konstruksi motor induksi 1 fasa terdapat 2 konstruksi utama yaitu bagian yang statis atau stator dan bagian

yang berputar atau rotor. Rotor motor induksi satu fasa berbentuk seperti sangkar tupai atau dapat disebut sebagai square cage rotor.

Bagian stator motor induksi 1 fasa terdapat 2 kumparan yang terdiri dari kumparan utama dan kumparan bantu. Kedua kumparan tersebut membentuk sejumlah kutub (p) sehingga didapatkan nilai kecepatan sinkron ( $n_s$ ) sebesar,

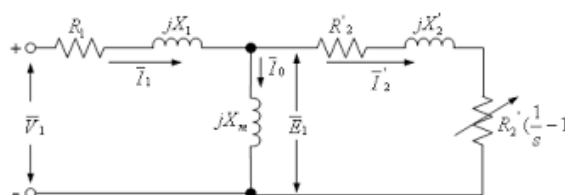
$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ (rpm)} \quad (2-1)$$

dimana f adalah frekuensi suplai dalam hertz.

Motor induksi akan dapat beroperasi apabila terdapat selisih antara nilai kecepatan sinkron ( $n_s$ ) dengan kecepatan rotor ( $n_r$ ) yang disebut sebagai slip (s) dengan persamaan [5],

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ (%) } \quad (2-2)$$

Rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa terdiri dari beberapa parameter diantaranya resistansi stator ( $R_1$ ), reaktansi stator ( $X_1$ ), reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ), reaktansi rotor ( $X_2$ ), dan resistansi rotor ( $R_2$ ) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kelima nilai awal parameter tersebut didapatkan dari pengujian



GAMBAR 2.1 RANGKAIAN EKUIVALEN INDUKSI TIAP FASA [7]

DC, block rotor, dan tanpa beban [6].

## 2.1 Motor Kapasitor

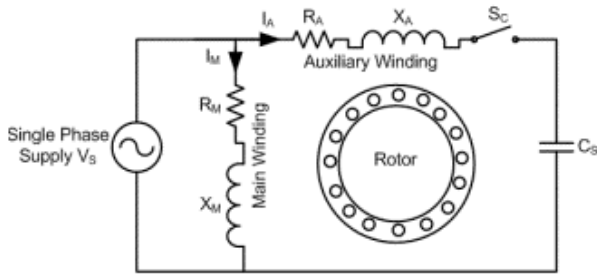
Salah satu jenis motor induksi 1 fasa adalah motor kapasitor memiliki kapasitor tipe run dihubungkan permanen secara seri dengan kumparan bantu. Hal ini membuat motor induksi dapat berputar ketika kondisi start sampai dengan kecepatan nominalnya

\* Korespondensi: asfari.hariz@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Sukarno Hatta no.9 Kota Malang, Jawa Timur Indonesia

sehingga motor dapat didesain dengan efisiensi yang maksimum [8]. Oleh sebab itu kapasitor yang digunakan harus dirancang untuk penggunaan terus menerus. Yang khas dari motor kapasitor adalah torsi awal rendah, dari 30% hingga 150% dari nilai torsi beban penuh. Motor kapasitor mempunyai arus *start* yang rendah, biasanya kurang dari 200% dari arus rating, menjadikannya sangat baik untuk aplikasi dengan tingkat siklus *on/off* yang tinggi.

Motor kapasitor memiliki beragam aplikasi tergantung pada desainnya diantaranya kipas angin, blower dengan kebutuhan torsi awal rendah dan aplikasi dengan siklus intermiten. Rangkaian ekuivalen motor kapasitor ditunjukkan pada 2.2 di bawah.



GAMBAR 2.2 RANGKAIAN EKUIVALEN MOTOR KAPASITOR [9]

Kapasitor pada motor induksi jenis ini digunakan untuk mendapatkan beda fasa sebesar 90°. Kapasitor tersebut diseri dengan kumparan bantu. Untuk mendapatkan nilai kapasitor yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R} \text{ (}^\circ\text{)} \quad (2-3)$$

Dimana,  $\theta$

$\theta$  : Sudut impedansi kumparan utama (°)

$X$  : Reaktansi kumparan utama

$R$  : Resistansi kumparan utama

$$\theta^1 = 90^\circ - \theta \text{ (}^\circ\text{)} \quad (2-4)$$

Dimana  $\theta^1$  kebutuhan pergeseran fasa antara kumparan utama dan bantu.

$$X^1 = (\tan \theta^1) R \quad (2-5)$$

Dimana  $X^1$  kebutuhan reaktansi untuk pergeseran fasa kumparan utama dan bantu sebesar 90°. Sehingga kebutuhan nilai kapasitansi untuk motor kapasitor sebesar,

$$X_c = X + X^1 \quad (2-6)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} \text{ (F)} \quad (2-7)$$

## 2.2 Dimensi Utama Stator

Hubungan antara daya motor dengan dimensi utama stator seperti diameter dalam stator ( $D$ ) dan panjang aksial ( $L$ ) ditunjukkan pada persamaan di bawah [10]-[14],

$$P = 11 \cdot k_w \cdot B_{av} \cdot ac \cdot D^2 \cdot L \cdot n_s \quad (2-8)$$

dimana  $n_s$  adalah kecepatan sinkron motor,  $k_w$  menunjukkan faktor belitan,  $B_{av}$  menunjukkan pembebanan magnetik spesifik, dan  $ac$  mewakili pembebanan listrik spesifik.

Jumlah lilit kumparan stator dapat ditentukan dari persamaan,

$$T_m = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m \cdot K_w} \quad (2-9)$$

Dimana,

$E$  : Tegangan induksi stator (volt)

$f$  : frekuensi (Hz)

$\Phi_m$  : Fluksi per kutub kumparan utama (weber)

$K_w$  : faktor belitan

Untuk menentukan fluksi per kutub dihitung dengan persamaan:

$$\phi_m = B_{av} \cdot \tau \cdot L \quad (2-10)$$

Dengan,

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_s}{p} \quad (2-11)$$

Dimana,

$B_{av}$  : kerapatan fluksi rata-rata (T)

$\tau$  : kisar kutub (m)

$D_s$  : diameter inti stator (m)

$L$  : Panjang inti stator (m)

$p$  : Jumlah kutub

## 2.3 Daya dan Torsi Motor Induksi

Berdasarkan nilai parameter rotor motor induksi besar daya mekanik dan torsi dapat ditentukan dengan persamaan [15]-[16],

$$P_{mek} = I_2^2 \frac{R_2(1-s)}{s} \text{ (watt)} \quad (2-12)$$

$$\tau = \frac{P_{mek}}{\omega_n} \text{ (Nm)} \quad (2-13)$$

Dimana,

$P_{mek}$  : Daya keluaran motor (watt)

$I_2$  : Arus rotor (s)

$R_2$  : Resistansi rotor (ohm)

$s$  : slip

$\tau$  : Torsi motor (Nm)

$\omega_n$  : Kecepatan sudut putaran rotor (rps)

$$\omega_n = 2 \pi n_r \text{ (rpm)} \quad (2-14)$$

Dimana,  $n_r$  adalah kecepatan rotor dengan slip tertentu dalam rpm.

## 3. Hasil Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di dalam laboratorium untuk merancang belitan motor, melakukan *rewinding*, pengujian, dan analisis. Peralatan bantu dalam pelaksanaan penelitian ini diantaranya adalah voltmeter, ampere meter, dan watt meter yang berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan, arus, dan daya ketika dilakukan pengujian.

### 3.1 Belitan Stator

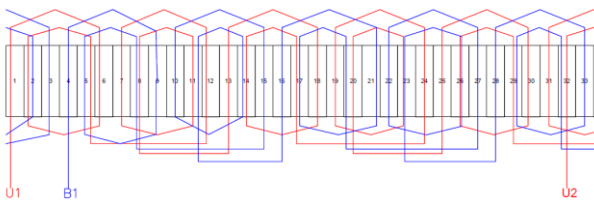
Motor induksi yang digunakan sebagai obyek penelitian memiliki kapasitas awal sebelum dilakukan modifikasi belitan sebesar 1,5 kW 4 kutub dengan panjang dan diameter stator masing-masing 85 mm dan 105 mm serta memiliki jumlah alur/slot sebanyak 36 buah sebagaimana yang ditunjukkan pada 3.1 di bawah.



Gambar 3.1 Konstruksi Stator

Berdasarkan persamaan 2-8 kapasitas motor yang digunakan untuk penelitian menjadi 1000 watt disebabkan dengan konstruksi stator tetap perubahan jumlah kutub dari 4 buah menjadi 6 buah serta arus nominal menjadi 5,07 A.

Nilai kerapatan fluks  $B_{av}$  yang digunakan sebagai acuan perancangan belitan sebesar  $0,53 \text{ Wb/m}^2$  sesuai dengan dasar perancangan motor induksi 1000 watt. Adapun tipe belitan yang digunakan yang mengacu pada jumlah alur stator dengan jumlah kutub adalah tipe terbagi-skrew sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 di bawah.



GAMBAR 3.2 BENTUK BELITAN STATOR

Pada belitan stator baik kumparan utama dan kumparan bantu masing-masing menempati 18 alur serta terdapat 12 kumparan individu untuk masing-masing fasanya dengan terdapat 12 alur yang terisi oleh dua kumparan yang berbeda dengan kata lain 12 alur tersebut terisi kumparan utama dan kumparan bantu untuk 1 alur. Hasil modifikasi belitan stator ditunjukkan pada Gambar 3.3 dibawah.



GAMBAR 3.3 BENTUK BELITAN STATOR HASIL MODIFIKASI

Pada motor induksi ini terdapat dua kumparan yang bekerja secara bersamaan. Arus konduktor pada masing-masing

kumparannya adalah:

Berdasarkan kapasitas motor induksi dua fasa simetris sebesar 1000 watt, maka masing-masing kumparan menghasilkan daya sebesar 500 watt. Sehingga ketika arus mengalir untuk masing-masing kumparan sebesar 5,07 A didapatkan diameter konduktor yang digunakan sebesar 1,27 mm maka untuk menyesuaikan dimensi konduktor yang ada di pasaran sehingga digunakan konduktor dengan diameter 1,2 mm dan berdasarkan persamaan 2-9 jumlah konduktor tiap alur sebanyak 45 konduktor.

### 3.2 Parameter Motor

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya adalah pengujian DC, *block rotor*, dan tanpa beban. Ketiga pengujian tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter motor induksi untuk masing-masing kumparan.

Pengujian DC dilakukan dengan menyuplai sumber DC pada masing-masing kumparan yang bertujuan untuk mendapatkan nilai resistansi stator. Adapun hasil pengujian dengan arus suplai sebesar 5 A masing-masing resistansi stator didapatkan  $1,55 \Omega$  untuk kumparan utama dan  $1,55 \Omega$  untuk kumparan bantu.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian *block rotor* dengan menyuplai kumparan stator dengan arus ratingnya sebesar 5 A serta slip motor dibuat 1 sehingga didapatkan nilai daya dan tegangan pengujian *block rotor* sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 di bawah.

TABEL 3.1 HASIL PENGUJIAN BLOCK ROTOR

Kumparan	Tegangan (volt)	Daya (watt)
Kumparan Utama	64	165
Kumparan Bantu	63	165

Pengujian ketiga adalah pengujian tanpa beban dengan masing-masing motor dioperasikan secara bergantian dimana dengan tanpa beban mekanik di porosnya serta disuplai dengan arus ratingnya sebesar 5A dan frekuensi suplai sebesar 50 Hz. Hasil pengujian pengujian tanpa beban ditunjukkan pada Tabel 3.2 dibawah.

Tabel 3.2 Hasil pengujian *block rotor*

Kumparan	Tegangan (volt)	Daya (watt)	n (rpm)
Kumparan Utama	211	170	991
Kumparan Bantu	212	172	992

Parameter motor induksi hasil modifikasi yang terdiri dari resistansi stator, reaktansi stator, reaktansi magnetisasi, reaktansi rotor, dan resistansi rotor ditunjukkan pada Tabel 3.3 di bawah.

TABEL 3.3 NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI

Parameter	Kumparan Utama	Kumparan Bantu
Resistansi Stator	$1,55 \Omega$	$1,55 \Omega$
Reaktansi Stator	$5,90 \Omega$	$5,76 \Omega$
Reaktansi Pemagnitan	$36 \Omega$	$36 \Omega$
Reaktansi Rotor	$5,9 \Omega$	$5,76 \Omega$
Resistansi Rotor	$6,86 \Omega$	$6,80 \Omega$

Nilai parameter motor induksi hasil modifikasi menunjukkan nilai yang cenderung sama antara nilai parameter dari kumparan utama dan nilai parameter dari kumparan bantu. Hal ini

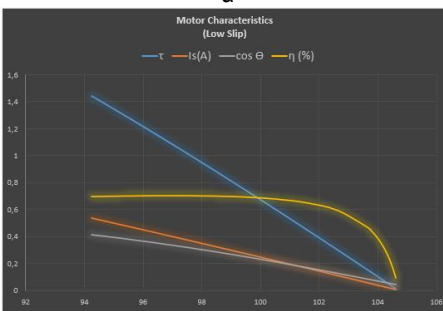
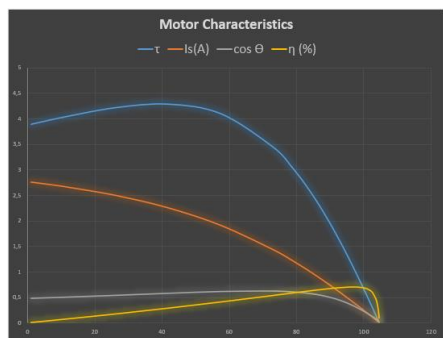
membuktikan bahwa dengan proporsi jumlah alur yang terisi sama oleh masing-masing kumparan dapat menghasilkan nilai parameter, daya, dan torsi yang sama.

### 3.3 Kapasitor Penggeser Fasa

Perhitungan nilai kapasitansi sebagai penggeser fasa pada saat *starting* maupun *running* motor induksi pada penelitian ini didapatkan melalui data parameter motor induksi. Adapun parameter tersebut antara lain resistansi (R) dan reaktansi (X) kumparan utama. Berdasarkan persamaan 2-3 sampai 2-7 maka didapatkan nilai sudut impedansi kumparan utama ( $\theta$ ) sebesar  $75,3^\circ$ . Sehingga didapatkan nilai  $\theta'$  sebesar  $14,7^\circ$  dan nilai  $X_c$  sebesar  $6,3 \Omega$ . Berdasarkan persamaan 2-65 didapatkan nilai kapasitor sebagai penggeser fasa sebesar  $505,51 \mu F$ .

### 3.4 Karakteristik dan Hasil Pengujian Berbeban

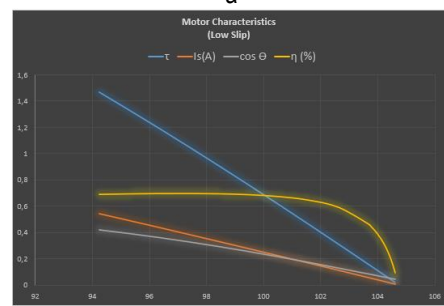
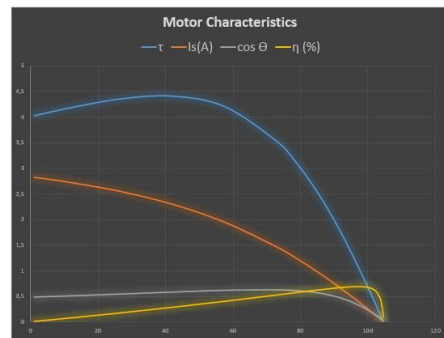
Motor induksi hasil penelitian yang telah diuji DC, tanpa beban, dan block rotor dilakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik Torsi, arus starting, faktor daya, dan efisiensi dari masing-masing kumparan. Pada gambar 3.4 a merupakan karakteristik performa kumparan utama pada slip nominal (5%). Dari hasil simulasi tersebut nilai torsi start dan torsi nominal masing-masing sebesar  $3,89 \text{ Nm}$  dan  $4,28 \text{ Nm}$ , arus starting sebesar  $2,77 \text{ A}$ , factor daya pada kondisi nominal sebesar  $0,62$ , dan efisiensi pada kondisi nominal sebesar  $70\%$ . Pada gambar 3.4 b merupakan karakteristik motor induksi pada slip rendah dengan Torsi tertinggi sebesar  $1,42 \text{ Nm}$ , arus yang mengalir sebesar  $0,55 \text{ A}$ , faktor daya sebesar  $0,4$ , serta efisiensi sebesar  $0,68\%$ .



GAMBAR 3.4 KARAKTERISTIK KUMPARAN UTAMA

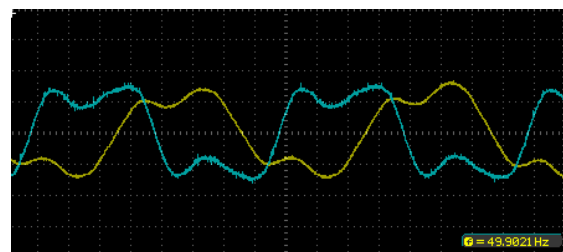
Pada gambar 3.5 a merupakan karakteristik performa kumparan bantu pada slip nominal (5%). Dari hasil simulasi tersebut nilai torsi start dan torsi nominal masing-masing sebesar  $3,88 \text{ Nm}$  dan  $4,29 \text{ Nm}$ , arus starting sebesar  $2,8 \text{ A}$ , factor daya pada kondisi nominal sebesar  $0,63$ , dan efisiensi pada kondisi nominal sebesar  $70\%$ . Pada 3.5 b merupakan karakteristik motor

induksi pada slip rendah dengan Torsi tertinggi sebesar  $1,42 \text{ Nm}$ , arus yang mengalir sebesar  $0,56 \text{ A}$ , faktor daya sebesar  $0,4$ , serta efisiensi sebesar  $0,68\%$ .



GAMBAR 3.5 KARAKTERISTIK KUMPARAN BANTU

Motor induksi hasil penelitian diuji menggunakan beban mekanik di laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran fasa antara kumparan utama dan bantu serta untuk mengetahui arus yang mengalir pada kumparan utama dan kumparan bantu saat kondisi berbeban. Percobaan yang dilakukan di laboratorium disini menggunakan tegangan suplai sebesar  $220 \text{ V}$  dimana arus kumparan utama dan bantu diukur dan dimonitor melalui osiloskop. Hasil dari percobaan ini ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah, dimana arus yang mengalir pada kumparan utama (Channel 1/garis warna kuning) sebesar  $4,1 \text{ A}$  dan arus pada kumparan utama (Channel 2/garis warna biru) sebesar  $4,4 \text{ A}$ . Perbedaan fasa antara kumparan utama dan bantu disini sebesar  $94,5^\circ$ .



GAMBAR 3.6 GELOMBANG ARUS PADA KUMPARAN STATOR

## 4. Kesimpulan

- Motor induksi 2 fasa simetris 1kW 1000 rpm dirancang menggunakan stator dengan alur sebanyak 36 buah dan tipe belitan terbagi screw. Jumlah konduktor setiap alur sebanyak 45 dengan diameter  $1,2 \text{ mm}$ .

- Berdasarkan nilai resistansi dan reaktansi kumparan utama stator yang masing-masing sebesar 1,55  $\Omega$  dan 5,9  $\Omega$  didapatkan nilai kapasitansi sebesar 505,51  $\mu\text{F}$  yang dirangkai seri dengan kumparan bantu untuk penggeser fasa agar arus berbeda 90° antara kumparan utama dan kumparan bantu.
- Hasil pengujian DC, tanpa beban, dan block rotor didapatkan nilai parameter motor induksi untuk masing-masing kumparan yang antara lain  $R_s$ /Resistansi Stator (Kumparan Utama = 1,55  $\Omega$ ; Kumparan Bantu = 1,55  $\Omega$ ),  $X_s$ /Reaktansi Stator (Kumparan Utama = 5,9  $\Omega$ ; Kumparan Bantu = 5,76  $\Omega$ ),  $X_m$ /Reaktansi Pemagnitan (Kumparan Utama = 36  $\Omega$ ; Kumparan Bantu = 36  $\Omega$ ),  $X_r$ /Reaktansi Rotor (Kumparan Utama = 5,9  $\Omega$ ; Kumparan Bantu = 5,76  $\Omega$ ),  $R_r$ /Resistansi Rotor (Kumparan Utama = 6,86  $\Omega$ ; Kumparan Bantu = 6,79  $\Omega$ ).

### Referensi

- [1] W. B. Nader, "Thermoelectric generator optimization for hybrid electric vehicles," *Applied Thermal Engineering*, vol. 167, p. 114761, 2020.
- [2] M. Yousefian, H.-R. Mosaddegh, and H. A. Zarchi, "Optimal design of a single-phase two-value capacitor induction motor with fan load," in *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference on*, IEEE, 2018, pp. 1298–1303.
- [3] M. Al-Badri, P. Pillay, and P. Angers, "A novel algorithm for estimating refurbished three-phase induction motors efficiency using only no-load tests," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 30, no. 2, pp. 615–625, 2014.
- [4] H. A. Resketi, J. A. Firouzjaee, and S. M. Mirimani, "Assessing the impact of three-phase rewinding of a failed single-phase motor on efficiency improvement and energy saving," *IET Electric Power Applications*, 2023.
- [5] A. Michaelides and T. Nicolaou, Starting and running the induction motor with a variable capacitor. 2017. doi: 10.1109/EMES.2017.7980388.
- [6] J. Tang, Y. Yang, L. Diao, J. Chen, Y. Chang, and Z. Liu, "Parameter Identification of Induction Motors for Railway Traction Applications," in *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, IEEE, 2018, pp. 284–288.
- [7] S. K. Rajput, P. Rani, P. kumar Sadhu, M. Sadhu, and N. Das, "Energy conservation in textile industries by replacing rewound motors—an energy audit study," in *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, IEEE, 2018, pp. 820–824.
- [8] S. Rachev, D. Stefanov, L. Dimitrov, and D. Koeva, "Evaluation of electric power losses of an induction motor driving a compact electric vehicle at change of parameters and loads," in *2019 Electric Vehicles International Conference (EV)*, IEEE, 2019, pp. 1–5.
- [9] E. T. Ribisi and P. Freere, "Reduced Starting Current For Single Phase Capacitor Induction Motors While Maintaining Starting Torque," in *2019 IEEE AFRICON*, 2019, pp. 1–9. doi: 10.1109/AFRICON46755.2019.9133866.
- [10] C. P. Priyanka, J. Kumar, G. Jagdanand, and M. Krishnamurthy, "Analysis of Pole Phase Modulated Multiphase Induction Motor for EV Applications," in *2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*, IEEE, 2020, pp. 1056–1061.
- [11] W. Cao and K. J. Bradley, "Assessing the impacts of rewind and repeated rewinds on induction motors: is an opportunity for Re-designing the machine being wasted?," in *IEEE International Conference on Electric Machines and Drives*, 2005., IEEE, 2005, pp. 278–285.
- [12] H. Yang, M. Li, Y. Zhang, and A. Xu, "FCS-MPC for Three-Level NPC Inverter-Fed SPMSM Drives without Information of Motor Parameters and DC Capacitor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2023.
- [13] H. Tong, W. Yao, C. Li, H. Luo, and W. Li, "Current Sharing Analysis and Evaluation of Parallel DC-Link Capacitors in Vehicle Motor Drive," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2023.
- [14] A. Hota and V. Agarwal, "A Novel Leg-Integrated Switched Capacitor Inverter Topology for Three-Phase Induction Motor Drives," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2023.
- [15] R. A. Ananto and A. H. Santoso, "Analisis Performance Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Sistem Stand-alone System," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 22–27, 2021.
- [16] R. A. Ananto and A. H. Santoso, "Analisis Performance Jangka Pendek Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Sistem Stand-alone System," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 1, pp. 22–27, 2021.