

KAJIAN PENGARUH MODIFIKASI JUMLAH KUTUB TERHADAP PERUBAHAN DAYA DAN TORSI MOTOR INDUKSI SATU FASA

Asfari Hariz Santoso, Pembimbing 1: Hari Santoso, Pembimbing 2: Hery Purnomo.

Abstrak— Motor induksi satu fasa banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari. Sampai saat ini di pasaran motor induksi 1 fasa yang dengan putaran rendah atau dengan putaran dibawah 1000 rpm sangat jarang ditemui, jika ada hanya sampai putaran 1000 rpm. Untuk mendapatkan putaran motor induksi 1 fasa dibawah 1000 rpm biasanya disiasati dengan menggunakan *pulley-belt*. Sebagai solusi dilakukan analisis pengaruh perubahan jumlah kutub sejumlah 8 kutub pada motor induksi satu fasa jenis rotor sangkar terhadap besar nilai daya dan torsi yang dihasilkan. Didapatkan besar daya keluaran sebesar 552,34 watt dan 563,023 watt sedang besar nilai torsi sebesar 7,9 Nm dan 7,83 Nm.

Kata Kunci— *Motor Induksi, Kutub, Daya, Torsi*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi satu fasa banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari. karena memiliki kelebihan seperti struktur dan konstruksinya yang kokoh, sederhana dan perawatan yang mudah. Sampai saat ini di pasaran motor induksi 1 fasa yang dengan putaran rendah atau dengan putaran dibawah 1000 rpm sangat jarang ditemui, jika ada hanya sampai putaran 1000 rpm. Motor induksi 1 fasa yang diproduksi pabrik mempunyai dimensi dan karakteristik yang beda. Hal yang dapat dilakukan agar dapat diketahui pengaruh putaran pada motor induksi 1 fasa untuk dimensi yang sama, terhadap daya dan torsi dapat dilakukan dengan memodifikasi motor induksi 1 fasa dengan dimensi dan karakteristik motor secara umum menjadi motor induksi 1 fasa dengan karakteristik motor secara khusus. Oleh karena perlu dilakukan analisis pengaruh perubahan jumlah kutub pada motor induksi satu fasa jenis rotor sangkar terhadap besar nilai daya dan torsi yang dihasilkan untuk aplikasi putaran rendah, daya rendah, dan torsi tinggi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi atau motor asinkron secara konstruksi terdiri dari stator dan rotor. Motor induksi 1 fasa sering digunakan pada peralatan rumah tangga karena disesuaikan dengan ketersediaan sumber listrik 1 fasa. Pada umumnya motor induksi 1 fasa memiliki daya kecil, efisiensinya relatif rendah, antara 38% sampai 70% [1]. Motor induksi satu fasa mempunyai 2 (dua) kumparan stator, yaitu kumparan utama (U) dan kumparan bantu (B) yang dililit pada stator dengan perbedaan sudut 90° listrik. Pada umumnya kumparan bantu mempunyai resistansi dan rektansi lebih besar dari kumparan utama (U), dan kumparan bantu (B) diseri dengan kapasitor (C). Dengan demikian bisa terjadi perbedaan fasa antara arus kumparan utama I_m dengan arus kumparan bantu I_a . Motor berfungsi sebagai motor 2 fasa tidak seimbang [3], akibat terjadi medan putar pada stator yang mengakibatkan motor

berputar. Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkronnya. Pada saat tanpa beban kecepatan putar rotornya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan sinkronnya. Perbedaan antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor disebut slip (s) [3]

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (1)$$

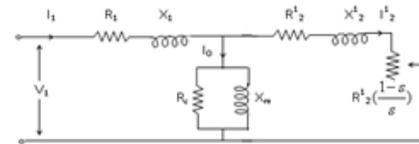
dengan,

s : slip

n_s : kecepatan sinkron/ kecepatan medan putar stator (rpm)

n : kecepatan putar rotor (rpm)

B. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen motor induksi tiap fasa pada keadaan mantap [2]

Sebuah motor induksi dalam keadaan diam maka pada dasarnya rangkaian tersebut adalah serupa dengan sebuah transformator, dengan lilitan stator sebagai kumparan primer dan lilitan rotor sebagai kumparan sekunder. Adapun untuk mendapatkan parameter – parameternya dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian DC, pengujian tanpa beban, dan pengujian rotor ditahan.

Untuk mendapatkan resistansi stator (R_1) didapatkan dari pengujian DC dengan persamaan :

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \Omega \quad (2)$$

Sedangkan untuk pengujian rotor ditahan dan pengujian tanpa beban dilakukan untuk mendapatkan nilai R_c , X_m , X_1 , X_2^1 dan R_2^1 .

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

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

$$R = R_{br} - R_1 \Omega \quad (5)$$

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

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

$$X_1 = X_2^1 = 0,5 X_{BR} \Omega \quad (7)$$

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

Dari parameter diatas dapat digunakan untuk menghitung nilai daya keluaran dan torsi motor yaitu dengan persamaan :

$$P_{mek} = (I_2^1)^2 \frac{R_2^1 (1-s)}{s} \text{ watt} \quad (9)$$

$$I_2^1 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^1/s)^2 + (X_1 + X_2^1)^2}} \text{ A} \quad (10)$$

$$\tau_{mek} = \frac{P_{mek}}{\omega_s} (N - m) \quad (11)$$

Selain dengan menggunakan persamaan diatas torsi motor juga bisa dicari dengan pengujian berbeban yang menggunakan rem mekanik, yaitu :

$$\tau_m = F.l (N-m) \quad (12)$$

dengan,

τ_m : Torsi motor (N-m)

F : Gaya yang bekerja saat pengereman (N)

l : Panjang lengan dari poros motor sampai ujung lengan (m)

C. Daya Keluaran Motor Induksi

$$Q = C_0 \times D^2 \times L \times n_s \quad \text{kVA} \quad [2] \quad (13)$$

dimana,

Q : daya jangkar (kVA)

D : diameter stator (m)

L : panjang stator (m)

C_0 : koefisien keluaran motor arus bolak - balik

n_s : kecepatan sinkron (rpm)

D. Penentuan Diameter Konduktor

Pada kondisi normal, yaitu untuk mesin standar kerapatan arus pada konduktor stator biasanya berkisar antara 3 sampai 4 A/mm² [2].

$$I = \frac{P_m}{V \times \eta \times \cos \phi} \quad (14)$$

dan luas penampang konduktor stator dapat ditentukan yaitu :

$$a_s = \frac{I_s}{\delta_s} \quad (15)$$

Untuk menentukan fluksi per kutub adalah :

$$\Phi_m = B_{av} \times \tau \times L \quad (16)$$

Dengan kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi \times D_s}{p} \quad (17)$$

dimana,

B_{av} : kerapatan fluksi

τ : kisar kutub

D_s : diameter stator

L : Panjang stator

p : jumlah kutub

$$T_m = \frac{E}{4,44 \times f \times \Phi_m \times K_w} \quad (18)$$

dimana :

E : Tegangan induksi stator (V)

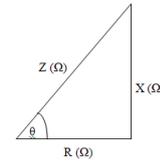
f : frekuensi (Hz)

Φ_m : Fluksi per kutub belitan utama (weber)

K_w : faktor belitan (0,955)

T_m : jumlah lilit kumparan utama

E. Penentuan Nilai Kapasitor



Gambar 2. Segitiga Impedansi [2]

Agar motor induksi bisa start dibutuhkan alat bantu yaitu kapasitor yang diseri dengan kumparan bantu untuk mendapatkan perbedaan fasa sebesar 90°. Adapun langkahnya didapatkan dengan bantuan segitiga impedansi yang nilai - nilainya didapatkan dari parameter kumparan pada stator serta dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\theta = \arcsin (X/R) \quad (19)$$

$$\theta' = 90^\circ - \theta \quad (20)$$

$$X' = (\tan \theta') R \quad (21)$$

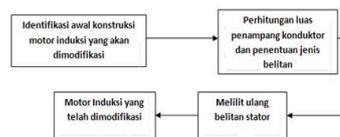
$$X_c = X + X' \quad (22)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} (F) \quad (23)$$

III. MODIFIKASI

A. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem modifikasi jumlah kutub ditunjukkan pada gambar 3.



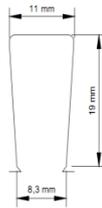
Gambar 3. Blok diagram sistem modifikasi jumlah kutub

Modifikasi jumlah kutub dimulai dengan identifikasi awal konstruksi motor induksi yang meliputi daya output (watt), arus (ampere), tegangan kerja (volt), putaran rotor (rpm), tipe laminasi, faktor daya (cos φ), dan frekuensi (Hz) serta konstruksi motor meliputi dimensi utama (D dan L), jumlah alur, dan luas alur pada stator motor induksi yang akan dimodifikasi. Setelah itu ditentukan jumlah kutubnya dan dilakukan perhitungan untuk menentukan luas penampang konduktor kumparan pada stator motor induksi serta jenis belitannya yang disesuaikan dengan jumlah dan luas alur pada stator baru dilakukan lilit ulang. Setelah dilakukan lilit ulang motor induksi yang termodifikasi dilakukan pengujian meliputi pengujian DC, pengujian rotor ditahan, dan pengujian tanpa beban untuk mendapatkan parameter motor induksi serta pengujian

berbeban untuk mengetahui nilai daya dan torsi pada motor induksi yang dimodifikasi

B. Modifikasi Motor Induksi 3 Fasa 4kW

Luas alur stator motor induksi 3 fasa 4kW :



Gambar 4. Dimensi alur stator motor induksi 3 fasa 4 kW

$$a_s = \frac{19}{2} (8,3 + 11) \\ = 183,35 \text{ mm}^2$$

Dalam modifikasi jumlah kutub motor induksi ini jumlah alur stator yang akan dimodifikasi telah ditentukan yaitu,

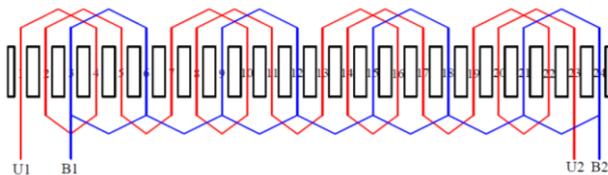
$$S_s = 24 \text{ alur}$$

Jumlah kutub yang akan dimodifikasi sejumlah 8 kutub. Umumnya kumparan utama menempati 2/3 bagian dan kumparan bantu menempati 1/3 bagian dari seluruh alur yang ada, maka:

$$\text{Jumlah kumparan utama} : \left(\frac{2}{3} \times 24 \right) = 16 \text{ alur}$$

$$\text{Jumlah kumparan bantu} : \left(\frac{1}{3} \times 24 \right) = 8 \text{ alur}$$

Bentuk kumparan pada stator :



Gambar 5. Rancangan kumparan model terpusat pada stator

Tegangan induksi stator $E = 95\%$ dari tegangan catu (V), maka :

$$E = 0,95 \times 220 \\ = 209 \text{ volt}$$

Telah diketahui bahwa $D = 89 \text{ mm} = 0,089 \text{ m}$ dan $L = 84 \text{ mm} = 0,084 \text{ m}$, $B_{av} = 0,4$ maka nilai fluksi per kutub adalah :

$$\Phi_m = B_{av} \frac{\pi D L}{p}$$

$$= 1,17 \times 10^{-3} \text{ weber}$$

Dengan demikian jumlah lilit kumparan utama (T_m) adalah :

$$T_m = \frac{E}{4,44 f \Phi_m Kw}$$

$$= 839,88 \approx 840 \text{ lilitan}$$

Jumlah lilit yang terhubung seri (T_{pm}) adalah :

$$T_{pm} = \frac{T_m}{p} \\ = \frac{840}{8}$$

$$= 105 \text{ lilit}$$

Dalam modifikasi jumlah kutub ini ditentukan bahwa jumlah lilit yang terhubung seri (T_{pm}) sebanyak 100 lilit, karena disesuaikan dengan luas alur yang ada.

Jumlah total lilitan pada kumparan utama (T_m) adalah :

$$8 \times 100 = 800 \text{ lilit}$$

Jumlah konduktor tiap alur kumparan utama :

$$Z_{ss} = \frac{2T_m}{S_s} \\ = \frac{1600}{16} \\ = 100$$

Ukuran Konduktor

• Arus konduktor pada kumparan utama :

$$I_s = \frac{P}{V \eta \cos \phi} \\ = \frac{666,67}{220 \cdot 0,68 \cdot 0,63} \\ = 7,073 \text{ A}$$

• Luas penampang konduktor stator :

$$a_m = \frac{I_s}{\delta} \\ = \frac{7,073}{3,6} = 1,96 \text{ mm}^2$$

• Diameter konduktor

$$d = \sqrt{\frac{4 a_m}{\pi}} = 1,58 \text{ mm}$$

Dalam perancangan ini nilai diameter konduktor yang digunakan pada kumparan utama adalah $d = 0,85 \text{ mm}$ yang dirangkap dua, karena jika digunakan konduktor dengan diameter $1,58 \text{ mm}$ sulit dalam pelilitan, sedangkan pada kumparan bantu digunakan konduktor dengan diameter $0,85 \text{ mm}$.

• Luas penampang konduktor pada kumparan utama :

$$a_m = \frac{3,14 \cdot 0,85^2}{4} = 0,567 \text{ mm}^2$$

• Kerapatan arus konduktor pada kumparan utama :

$$\delta = \frac{I_s}{a_m} = \frac{7,073}{0,567} = 12,474 \text{ A/mm}^2$$

Luas penampang konduktor stator kumparan utama = $2 \times 0,567 = 1,134 \text{ mm}^2$ dan total belitan per alur = 100 lilit, maka luas penampang konduktor per alur = $113,4 \text{ mm}^2$, faktor permukaan 0,7. Maka luas penampang alur (a_s) :

$$a_s = \frac{\text{Penampang tembaga alur}}{\text{Faktor permukaan}} = \frac{113,4}{0,7} = 162 \text{ mm}^2$$

Panjang rata-rata lilitan stator : $L_{mtS} = 2 \times L + 2,3 \times \tau + 0,24$.

yang mana kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi D}{p} = \frac{\pi \times 0,089}{8} = 0,034 \text{ m}$$

$$\text{Jadi, } L_{mtS} = 2 \times 0,084 + 2,3 \times 0,034 + 0,24 \\ = 0,4862 \text{ m}$$

• Luas penampang konduktor pada kumparan bantu :

$$a_m = \frac{3,14 \cdot 0,85^2}{4} = 0,567 \text{ mm}^2$$

- Kerapatan arus konduktor pada kumparan bantu :

$$\delta = \frac{I_s}{a_m} = \frac{7,073}{0,567} = 12,474 \text{ A/mm}^2$$

Luas penampang konduktor stator kumparan bantu = $0,567 \text{ mm}^2$ dan total belitan per alur = 100 lilit, maka luas penampang konduktor per alur = $56,7 \text{ mm}^2$. Faktor permukaan antara 0,7. Maka luas penampang alur (a_s) :

$$a_s = \frac{\text{Penampang tembaga alur}}{\text{Faktor permukaan}} = \frac{56,7}{0,7} = 81 \text{ mm}^2$$

Panjang rata-rata lilitan stator : $L_{mtS} = 2 \times L + 2,3 \times \tau + 0,24$.

yang mana kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi \times D}{p} = \frac{\pi \times 0,089}{8} = 0,034 \text{ m}$$

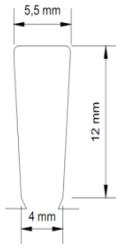
$$\text{Jadi, } L_{mtS} = 2 \times 0,084 + 2,3 \times 0,034 + 0,24 = 0,4862 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan nilai kapasitor yang digunakan sebesar :

$$C = 35,73 \mu\text{F}$$

C. Modifikasi Motor Induksi 1 Fasa 2Hp

Luas alur motor induksi 746 watt :



Gambar 6. Dimensi alur stator motor induksi 1 fasa 2 Hp

$$a_s = \frac{12}{2} (4 + 5,5) = 57 \text{ mm}^2$$

Dalam modifikasi jumlah kutub motor induksi ini jumlah alur stator yang akan dimodifikasi telah tersedia yaitu,

$$S_s = 36 \text{ alur}$$

Sehingga kisar alur stator dapat ditentukan sebagai berikut.

$$Y_{ss} = \frac{\pi \times D}{S_s} = \frac{3,14 \times 100}{36} = 8,722 \text{ mm}$$

Untuk motor induksi 1 fasa, pada stator akan terdapat 2 jenis kumparan, yaitu kumparan utama dan bantu. Pada umumnya kumparan utama menempati 2/3 bagian dan kumparan bantu menempati 1/3 bagian dari seluruh alur yang ada. Namun pada penelitian skripsi ini kumparan utama dan kumparan bantu dibuat masing - masing 1/2 bagian dari jumlah keseluruhan alur stator, maka:

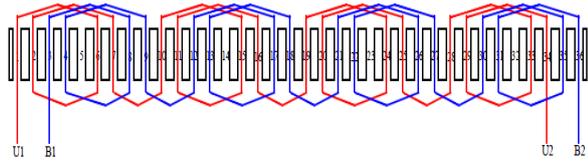
Jumlah kumparan utama : $1/2 \times 36 = 18$ alur

Jumlah kumparan bantu : $1/2 \times 36 = 18$ alur

Karena jumlah kutub yang akan dirancang 8 kutub, maka hanya 32 alur stator yang dipakai sehingga ada 4 alur yang tidak terpakai. Jumlah alur stator yang digunakan untuk kumparan utama dan bantu adalah :

Jumlah kumparan utama : $1/2 \times 32 = 16$ alur

Jumlah kumparan bantu : $1/2 \times 32 = 16$ alur



Gambar 7. Rancangan kumparan model terpusat pada stator

Tegangan induksi stator $E = 95\%$ dari tegangan catu (V), maka :

$$E = 0,95 \times 220 = 209 \text{ volt}$$

Telah diketahui bahwa $D = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$ dan $L = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$, $B_{av} = 0,4$, maka nilai fluksi per kutub adalah :

$$\Phi_m = B_{av} \frac{\pi D L}{p} = 0,001884 = 1,884 \times 10^{-3} \text{ weber}$$

Dengan demikian jumlah lilit kumparan utama (T_m) adalah :

$$T_m = \frac{E}{4,44 f \Phi_m Kw} = 524,36 \approx 524 \text{ lilitan}$$

Jumlah lilit yang terhubung seri (T_{pm}) adalah :

$$T_{pm} = \frac{T_m}{p} = \frac{524}{8} = 65,5 \approx 65 \text{ lilit}$$

Dalam modifikasi jumlah kutub ini ditentukan bahwa jumlah lilit yang terhubung seri (T_{pm}) sebanyak 54 lilit. Jumlah total lilitan pada kumparan utama (T_m) adalah : $8 \times 54 = 432$ lilit

Jumlah konduktor tiap alur pada kumparan utama :

$$Z_{ss} = \frac{2T_m}{S_s} = \frac{864}{16} = 54$$

Ukuran Konduktor

- Arus konduktor pada kumparan utama :

$$I_s = \frac{P}{V \eta \cos \varphi} = \frac{746}{220 \cdot 0,68 \cdot 0,63} = 7,091 \text{ A}$$

- Luas penampang konduktor stator :

$$a_m = \frac{I_s}{\delta} = \frac{7,091}{3,6} = 1,97 \text{ mm}^2$$

- Diameter konduktor

$$d = \sqrt{\frac{4 a_m}{\pi}} = 1,58 \text{ mm}$$

Dalam perancangan ini nilai diameter konduktor yang digunakan adalah $d = 0,8 \text{ mm}$, karena disesuaikan

dengan luas alur stator yang ada. Maka luas penampang alur (a_s) :

- Luas penampang konduktornya :

$$a_m = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,502 \text{ mm}^2$$

- Kerapatan arus konduktor :

$$\delta = \frac{I_s}{a_m} = \frac{7,091}{0,502} = 14,12 \text{ A/mm}^2$$

Luas penampang konduktor stator = $0,502 \text{ mm}^2$ dan total belitan per alur = 54 lilit, maka luas penampang konduktor per alur = $27,108 \text{ mm}^2$. Faktor permukaan 0,7. Maka luas penampang alur (a_s) :

$$a_s = \frac{\text{Penampang tembaga alur}}{\text{Faktor permukaan}} = \frac{27,108}{0,7} = 55,32 \text{ mm}^2$$

Panjang rata-rata lilitan stator : $L_{\text{mtS}} = 2 \times L + 2,3 \times \tau + 0,24$.

yang mana kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi \times D}{p} = \frac{\pi \times 0,01}{8} = 0,039 \text{ m}$$

$$\text{Jadi, } L_{\text{mtS}} = 2 \times 0,12 + 2,3 \times 0,039 + 0,24 = 0,5697 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan nilai kapasitor yang digunakan sebesar :

$$C = 46,7 \mu\text{F}$$

V. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Motor Induksi 3 Fasa 4kW (Hasil modifikasi jumlah kutub)

Tabel 1. Data Pengujian Tanpa Beban

V_0 (volt)	I_0 (ampere)	P_0 (Watt)	n (rpm)
220	3,5	600	748

Tabel 2. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Utama

V_{BR} (Volt)	I_{BR} (Ampere)	P_{BR} (Watt)
143	3	70
152	4	130

Tabel 3. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Bantu

V_{BR} (Volt)	I_{BR} (Ampere)	P_{BR} (Watt)
123	1,5	40
147	2	65

Tabel 4. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Utama

No.	I_{dc} (Ampere)	V_{dc} (Volt)
1	3	16
2	4	22

Tabel 5. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Bantu

No.	I_{dc} (Ampere)	V_{dc} (Volt)
1	1,5	16
2	2	21,5

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Berbeban

No.	V (V)	I (A)	I_s (A)	I_a (A)	P (W)	n (rpm)	τ (Nm)*	Pout (W)*	Vb (V)	Ib (A)
1	220	4,1	4,8	5	700	748	0,03	2,34	2	0,6
2	220	4,2	4,9	4,7	800	746	0,21	16,39	5,5	1,4
3	220	4,4	4,6	4,5	850	744	0,55	42,83	9,5	2,3
4	220	4,6	4,5	4,4	900	742	1,37	106,39	16	3,9
5	220	4,8	4,3	4,2	940	738	2,06	159,12	20,5	4,8
6	220	5	4,2	4	960	732	3,09	236,74	24,5	6
7	220	5,2	4,1	3,8	1000	718	4,46	335,17	30	7,2
8	220	5,4	4,1	3,7	1060	700	5,91	433,01	34	8,2
9	220	5,6	3,7	4,2	1150	696	6,73	490,26	37	9
10	220	5,7	3,2	4,4	1160	668	7,9	552,34	40	9,6

*) Data hasil perhitungan

Dari hasil beberapa pengujian diatas didapat parameter motor induksi 1 fasa :

pada kumparan utama :

$$R_1 = 5,42 \Omega ; R_2 = 3,69 \Omega$$

$$X_1 = 18,56 \Omega ; X_2 = 18,56 \Omega$$

$$X_m = 111,64 \Omega ; R_c = 53,51 \Omega$$

pada kumparan bantu :

$$R_1 = 10,71 \Omega ; R_2 = 6,53 \Omega$$

$$X_1 = 35,84 \Omega ; X_2 = 35,84 \Omega$$

$$X_m = 417,27 \Omega ; R_c = 38,59 \Omega$$

Tabel 7. Tabulasi data motor induksi sebelum belitan stator dimodifikasi, hasil perhitungan / perancangan, dan hasil pengujian dari motor induksi 3 fasa 4 kW hasil modifikasi

No.	Data Motor	Data motor 3 fasa sebelum belitan stator di modifikasi	Hasil Perhitungan Modifikasi	Hasil Pengujian
1.	Daya keluaran, P_{out}	4000 Watt	616,25 Watt	552,34 Watt
2.	Tegangan, V	230/400 Volt	220 Volt	220 Volt
3.	Arus nominal, I	7,8/13,5 A	7,07 A	5,8 A
4.	Frekuensi, f	50 Hz	50 Hz	50 Hz
5.	Putaran, n	2800 rpm	750 rpm	668 rpm
6.	Jumlah kutub, p	2 kutub	8 kutub	8 Kutub

B. Pengujian Motor Induksi 1 Fasa 2 Hp (Hasil modifikasi jumlah kutub)

Tabel 8. Data Pengujian Tanpa Beban

V_0 (volt)	I_0 (ampere)	P_0 (Watt)	n (rpm)
220	3,1	570	748

Tabel 9. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Utama

V_{BR} (Volt)	I_{BR} (Ampere)	P_{BR} (Watt)
24,4	1	8,75
37,2	1,5	15
50,5	2	25

Tabel 10. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Bantu

V_{BR} (Volt)	I_{BR} (Ampere)	P_{BR} (Watt)
24,4	1	8,75
37,2	1,5	15
50,5	2	25

Tabel 11. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Utama

No.	I_{dc} (Ampere)	V_{dc} (Volt)
1	1,5	9
2	2	12,5

Tabel 12. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Bantu

No.	I_{dc} (Ampere)	V_{dc} (Volt)
1	1,5	9
2	2	12,5

Tabel 13. Data Hasil Pengujian Berbeban

No.	V (V)	I (A)	I _s (A)	I _e (A)	P (W)	n (rpm)	τ (Nm)*	P _{out} (W)*	Vb (V)	Ib (A)
1	220	3,2	4,7	2,6	645	742	1,37	106,39	16	3,2
2	220	3,3	4,7	2,5	660	742	1,72	133,58	19	3,6
3	220	3,4	4,7	2,5	700	736	2,33	179,49	24	4,4
4	220	3,6	4,5	2,4	750	731	3,3	252,48	28	5,4
5	220	4	4,4	2,4	800	726	4,33	329,03	32	6,2
6	220	4,2	4,4	2,4	850	721	5,08	383,36	36	6,8
7	220	4,3	4,3	2,3	900	716	5,84	437,66	38	7,2
8	220	4,5	4,1	2,8	950	712	6,66	496,32	42	7,9
9	220	4,8	4,1	3	1000	701	7,14	523,87	43	8
10	220	5	3,9	3,4	1050	687	7,83	563,023	44	8

*) Hasil perhitungan

Dari hasil beberapa pengujian diatas didapat parameter motor induksi 1 fasa kumparan utama dan kumparan bantu ini adalah :

$$R_1 = 6,125 \Omega ; \quad R_2^1 = 1,3 \Omega$$

$$X_1 = 11,86 \Omega ; \quad X_2^1 = 11,86 \Omega$$

$$X_m = 131,50 \Omega ; \quad R_c = 66,98 \Omega$$

Tabel 14. Tabulasi data motor induksi 1 fasa sebelum belitan stator di modifikasi, hasil perhitungan / perancangan, dan hasil pengujian dari motor induksi 1 fasa 2 Hp hasil modifikasi

No.	Data Motor	Data motor 1 fasa sebelum belitan stator di modifikasi	Hasil Perhitungan Modifikasi	Hasil Pengujian
1.	Daya keluaran, P _{out}	1492 Watt	737,83 Watt	563,023 Watt
2.	Tegangan, V	110/220 Volt	220 Volt	220Volt
3.	Arus nominal, I	27/13,5A	7,91 A	5 A
4.	Frekuensi, f	50 Hz	50 Hz	50 Hz
5.	Putaran, n	1500 rpm	750 rpm	687 rpm
6.	Jumlah kutub, p	4 kutub	8 kutub	8 Kutub

Tabel 15. Data hasil pengujian berbeban motor standart 746 watt 1500 rpm

No.	V (V)	I (A)	P (W)	n (rpm)	τ (Nm)	Pout (W)	Vb (V)	Ib (A)
1	220	4	250	1490	0,5	77,98	0	0,2
2	220	4	300	1491	0,7	109,24	30	1,15
3	220	4	325	1490	0,9	140,36	40	1,45
4	220	4	375	1480	1,2	185,89	50	1,85
5	220	4,1	425	1485	1,4	217,60	60	2,25
6	220	4,2	490	1480	1,8	278,83	70	2,65
7	220	4,3	550	1468	2,2	338,03	80	3
8	220	4,6	650	1465	2,7	414,01	90	3,5
9	220	4,9	750	1460	3,3	504,28	100	3,85
10	220	5,4	900	1440	3,9	587,81	110	4,08
11	220	5,9	1050	1435	4,6	690,90	119	4,1
12	220	6,2	1125	1422	4,9	729,30	117,5	5

Dari tabel 6, 13, dan 15 dapat diketahui nilai daya input, daya output, dan torsi motor. Pada tabel 6 dan 13 adalah data pengujian berbeban dari motor induksi yang telah dimodifikasi dan pada tabel 15 adalah data pengujian berbeban dari motor induksi standart tanpa dimodifikasi dengan jumlah kutub lebih sedikit dan daya yang relatif sama.

Tabel 16. Data pengujian berbeban motor induksi standart dan yang dimodifikasi pada keadaan nominal.

Data Motor	Motor (standart) 746 watt, 1500 rpm	Motor induksi 3 fasa 4 kW 750 rpm (hasil modifikasi)	Motor induksi 1 fasa 2 Hp 750 rpm (hasil modifikasi)
Dava input (watt)	1125	1160	1050
Dava output (watt)	729,30	552,34	563,023
Torsi motor (Nm)	4,9	7,9	7,83
Efisiensi	64 %	47,6 %	53,6 %

Dari tabel 16 dapat diketahui bahwa pada keadaan nominal motor induksi yang telah dimodifikasi mempunyai torsi yang lebih besar dibandingkan dengan motor induksi standart yang mana mempunyai daya output yang relatif sama.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil modifikasi jumlah kutub pada motor induksi 1 fasa dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Untuk modifikasi motor induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW yang mempunyai 24 alur stator dengan jumlah kutub 2 kutub menjai 8 kutub dengan cara setiap kisar alur yang sebelumnya 15° listrik tiap kisar alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dirubah menjadi 60° listrik tiap kisar alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.
- 2) Untuk modifikasi motor induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp yang mempunyai 36 alur stator dengan jumlah kutub 4 kutub menjai 8 kutub dengan cara setiap kisar alur yang sebelumnya 20° listrik tiap kisar alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dirubah menjadi 40° listrik tiap kisar alur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.
- 3) Pengaruh perubahan jumlah kutub menjadi 8 pada motor induksi 3 fasa 4kW, maka diperoleh daya motor induksi 552,34 watt, besar torsi motor 7,9 N-m, dan efisiensi sebesar 47,6 %.
- 4) Pengaruh perubahan jumlah kutub menjadi 8 pada motor induksi 1 fasa 746 watt, maka diperoleh daya motor induksi 563,023 watt, besar torsi motor 7,83 N-m, dan efisiensi sebesar 53,6 %.
- 5) Dari hasil pengujian didapatkan nilai efisiensi motor hasil modifikasi lebih rendah dari motor standart.

Untuk penyempurnaan penelitian ini, ada beberapa saran yang perlu dilakukan antara lain :

- 1) Untuk mengoperasikan motor kapasitor diperlukan nilai kapasitor yang yang tepat, agar diperoleh beda fasa antara kumparan utama dan kumparan bantu 90° listrik.
- 2) Jumlah alur yang dapat menghasilkan kisar alur 15°, 30°, 45°, dan 90° listrik.
- 3) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengurangi rugi – rugi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mismail Budiono 2011. Dasar Teknik Elektro. Malang : Universitas Brawijawa Press.
- [2] 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.
- [3] Zuhul, 1993. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama..