

Rewinding Motor Induksi 3 Fasa Double Speed dengan Rating Tegangan 80 V

MUHAMAD KOSIM NURSEHA¹, NASRUN HARIYANTO¹, SITI SAODAH²

1. Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional
 2. Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung
- Email: noer.seha89@gmail.com

ABSTRAK

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik di gunakan juga di rumah dan di industri. Sedangkan pada kendaraan listrik, memiliki kelemahan sebagai motor penggerak, khususnya dilihat dari segi biaya, pemeliharaan dan keamanan tegangan listrik. Motor induksi adalah salah satu jenis yang banyak dipilih sebagai motor penggerak kendaraan listrik karena memiliki keandalan, daya tahan yang tinggi serta harga yang lebih murah. Pada mobil listrik penggunaan motor dengan rating tegangan 380 V akan memakan daya besar terhadap kapasitas batere. Oleh karena itu, untuk mobil listrik digunakan motor induksi dengan rating tegangan yang reaktif kecil seperti 80 V. Pada penelitian ini, tegangan motor induksi 3 fasa 380 V di ubah menjadi 80 V dengan cara menggulung ulang motor dan menjadi dua kecepatan yaitu 750 rpm dan 1500 rpm, dengan menggunakan metode Dahlander, dimana satu motor hanya menggunakan 1 jenis lilitan dan ukuran konduktor yang sama yaitu diameter 0,85 mm.

Kata kunci: *menggulung ulang motor induksi 3 fasa, kendaraan listrik, metode Dahlander*

ABSTRACT

Electric motor is an electromechanical device that converts electrical energy into mechanical energy. The electric motor is also used at homes and in industries. While in an electric vehicle, has a disadvantage as a motor drive, particularly in terms of cost, maintenance, and security of power supply voltage. The induction motor is a type that has been chosen as the motor of an electric vehicle because it has the reliability, high durability and cheaper price. Low voltage system is applied in order to avoid the danger of high voltage systems. In electric cars the use of motors with voltage rating of 380 V will take a great power battery capacity. Therefore for electric cars, it is necessary to use an induction motor with a low voltage rating such as 80 V. In this final induction motor 3-phase 380 V rating was changed to 80 V in a rewind way and repeat again the motor and change the induction motor 3 phase into double speed that was 750 rpm and 1500 rpm using Dahlander method, within one motor only use one type of winding and conductor diameter size.

Keywords: *rewinding induction motor 3 phase, electric vehicles, Dahlander method*

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor arus bolak – balik (*AC*) yang paling luas digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri maupun rumah tangga (**Chapman, 1985**). Begitu pula dengan mobil listrik yang sering kali menggunakan motor DC. Selama ini jenis yang sering digunakan oleh banyak kendaraan listrik adalah motor DC karena karakteristik kecepatannya sesuai dengan kebutuhan daya cengkram kendaraan dan pengaturan kecepatannya sederhana (**VTU learning**). Namun, motor DC memiliki kelemahan yaitu adanya komutator yang membutuhkan pemeliharaan rutin (**Aglan, 2012**). Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan arus stator

Pada penelitian ini, dijelaskan bagai mana cara me-*rewinding* motor induksi 3 fasa dengan tegangan 380 V menjadi 80 V dan menambahkan jumlah kutub menjadi 4 kutub dan 8 kutub, yang bisa dikatakan motor tersebut dinamakan motor induksi 3 fasa *double speed* dengan menggunakan metode Dahlander.

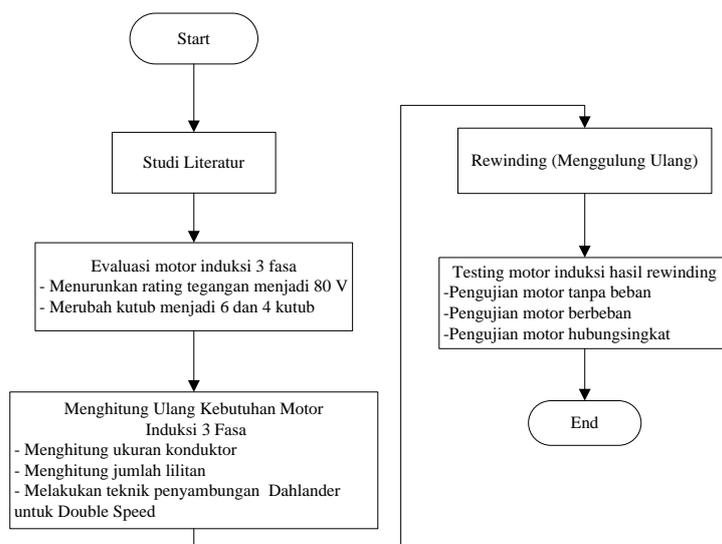
Metode Dahlander adalah metode penyambungan konduktor dimana dalam satu motor induksi terdapat 2 buah kutub yang berbeda dengan lilitan yang sama. Dengan demikian kecepatannya pun akan menjadi 2 yaitu 1500 rpm dan 750 rpm

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk menurunkan rating tegangan pada motor induksi guna untuk aplikasi kendaraan listrik. Solusi yang dilakukan adalah dengan melilit ulang kumparan belitan motor induksi (*rewinding*), dengan tegangan sebelumnya 220V menjadi 48 per fasa

2. METODOLOGI DAN PERANCANGAN

2.1 Diagram Penelitian

Metodologi perancangan merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian. Secara umum tahapan tertuang dalam bagan berikut pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses *rewinding*

2.2 Penurunan Rating Tegangan Motor Induksi 3 fasa

Untuk menghitung jumlah lilitan yang diperlukan pertama kali menentukan jumlah *slot*-nya (*pole pitch*) atau jarak antar kutub yang didapatkan dari persamaan (**Desphande, 2010**) :

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot \text{diameter inti stator (D)}}{P} \quad (1)$$

Flux air gap per kutub di dapatkan persamaan (**Desphande, 2010; Duan, 2010**):

$$\phi = \frac{B_{av} \cdot \pi \cdot L \cdot D}{P} \quad (2)$$

Jarak slot per kutub per fasa (*q*) adalah jumlah slot stator dibagi dengan jumlah kutub kali dengan jumlah fasa dimana :

$$n = q = \frac{G}{P \cdot M} \quad (3)$$

Sedangkan untuk *pitch factor* kumparan didapatkan dengan persamaan sebagai berikut (**Chapman, 1985; Zuhail, 1997**) :

$$K_p = \sin \frac{\rho}{2} \quad (4)$$

Dan untuk jarak antara group belitan per-*slot* dalam satuan derajat radian adalah sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{360^\circ}{G} \quad (5)$$

Kemudian untuk memenuhi parameter yang dibutuhkan maka kita harus mencari nilai dari faktor distribusinya dengan persamaan :

$$K_d = \frac{\sin(n \cdot \frac{\gamma}{2})}{n \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})} \quad (6)$$

Setelah di dapatkan persamaan-persamaan sebelumnya maka kita akan menentukan jumlah lilitan per fasa dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_{ph} = \frac{E_{ph}}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot K_w} \quad (7)$$

Kemudian tegangan di tentukan tapi dengan syarat tetap mempertahankan daya motor orisinil dan karakteristik yang dibutuhkan tidak berubah dengan persamaan :

$$S_A = 3 \cdot V_A \cdot I_A = S_B = 3 \cdot V_B \cdot I_B \quad (8)$$

Ditentukan terlebih dahulu luas penampang konduktor sebelum *rewinding* dengan persamaan sebagai berikut :

$$aA = n \cdot r^2 \quad (9)$$

Setelah didapatkan maka akan dicari *rating* arus setelah di *rewinding* dengan persamaan :

$$I_B = \frac{V_A}{V_B} I_A \quad (10)$$

Untuk mencari luas penampang konduktor sesudah *rewinding* dengan persamaan sebagai berikut :

$$a_B = \frac{V_A}{V_B} a_A \quad (11)$$

Sehingga diameter konduktor setelah direwinding maka akan di dapatkan dengan persamaan sebagai berikut (**Duan, 2010**) :

$$D_B = 2 \cdot \sqrt{\frac{a_B}{\pi}} \quad (12)$$

Untuk mencari torka pada motor dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \text{atau} \quad T = \frac{P}{(2\pi \frac{n}{60})} \quad (13)$$

Aliran daya pada motor induksi 3 fasa terdiri dari beberapa rugi – rugi yang terdapat pada stator dan rotor diantaranya :

Rugi-rugi tembaga stator (P_{ts})

$$P_{ts} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \quad (14)$$

Rugi-rugi tembaga rotor (P_{tr})

$$P_{tr} = S \cdot P_{cu} \quad (15)$$

Daya pada celah udara (P_{cu}) dapat di rumuskan dengan :

$$P_{cu} = P_{in} - P_{ts} \quad (16)$$

Besarnya daya mekanik yang akan dibangkitkan motor (P_{mek}) pada:

$$P_{mek} = P_{cu} - P_{tr} \quad (17)$$

Maka Daya output akan diperoleh dengan persamaan :

$$P_{out} = P_{mek} - P_{tr} \quad (18)$$

Efisiensi dari suatu motor induksi dapat dicari dengan persamaan :

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (19)$$

2.2 Study Kasus

Sebelum menggulung ulang motor induksi 3 fasa 380V ke 80V harus terlebih dahulu diketahui spesifikasi motor sebelum *direwinding* Tabel 1 adalah spesifikasi motor sebelum *direwinding*

Tabel 1 Spesifikasi motor induksi 3 fasa sebelum rewinding

Parameter	Nilai
Pabrikan	Anhui China
Type	A02-9024
No	35
IP	44
Class	E
Tegangan	380/220 V
Daya	1100 W
Arus	2,78/4,82 A
Jumlah slot (G)	36
Diameter inti stator (D)	8,8 cm
Panjang inti stator (L)	9 cm
Rated Speed	1650 rpm
Diameter konduktor	0.8 mm
Frequency	50 Hz

Gambar 2 (a) adalah gambar stator yang belum di *rewinding* sedangkan Gambar 2 (b) adalah bagian dari motor induksi yaitu stator.



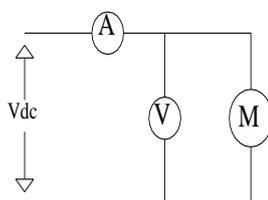
(a) (b)
Gambar 2 motor sebelum di gulung

2.3 Prosedur Pengujian

Untuk mengetahui kinerja motor induksi 3 fasa setelah *rewinding*, maka diperlukan pengujian atau pengetesan pada motor induksi. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan, diantaranya sebagai berikut.

1. Pengujian DC

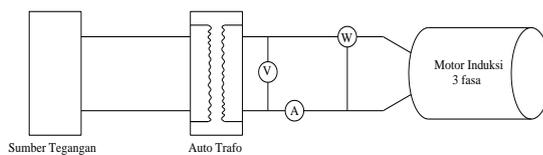
Pengujian DC dilakukan untuk mengetahui besar resistansi pada belitan stator. Dengan rangkaian pengujian ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini



Gambar 3 Rangkaian pengujian DC

2. Pengujian Beban Nol (*No load Test*)

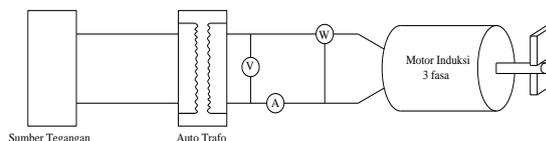
Pengujian beban nol dilakukan untuk menghitung rugi-rugi pada saat tanpa beban. Gambar 4 berikut adalah rangkaian pengujian yang dimaksud



Gambar 4 Rangkaian pengujian beban nol

3. Pengujian Hubung Singkat (*Locked Rotor Test*)

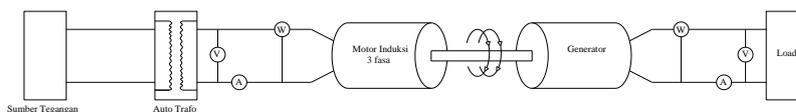
Pengujian hubung singkat pada pengujian ini, rotor ditahan agar tidak bergerak kemudian dilakukan pencatatan tegangan, arus dan daya. Gambar 5 di bawah adalah rangkaian *locked rotor*.



Gambar 5. rangkaian pengujian hubung singkat

4. Pengujian Pembebanan

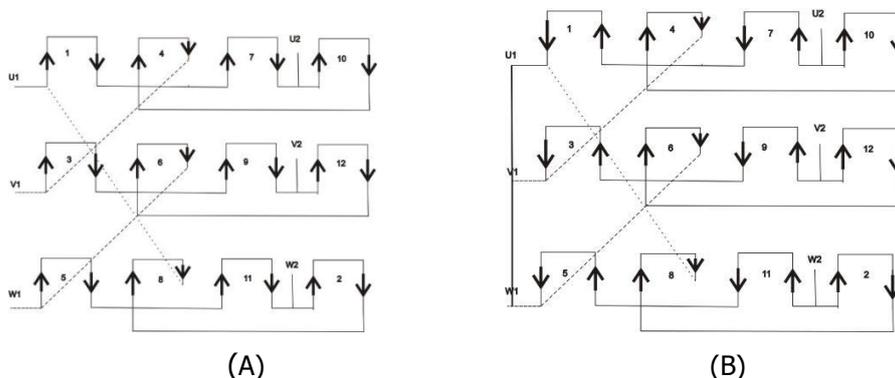
Pada pengujian ini, motor dikopel dengan generator induksi untuk menyalakan beban lampu dengan rangkaian seperti ditunjukkan oleh Gambar 6 berikut



Gambar 6. Rangkaian pengujian pembebanan

2..4 Metode Dahlander

Metode dahlander adalah dimana dalam satu jenis motor terdapat 2 grup kutub yaitu kutub 8 dan kutub 4 yang hanya memiliki satu jenis kumparan dan ukuran konduktor yang sama. Metode dahlander tidak memerlukan 2 kumparan yang berbeda untuk menjadikan motor induksi 3 fasa menjadi kecepatan ganda, Gambar 7 adalah gambar cara pembentukan kutub 4 dan kutub 8.



Gambar 7. gambar A untuk kutub 8 dan gambar B untuk kutub 4

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1 Perhitungan Motor Dengan Rating 80V

Dalam melakukan rewinding pada belitan motor induksi 3 fasa, perlu diketahui beberapa parameter awal sebagai penunjang perancangan, diantaranya adalah faktor distribusi sebesar 0,998 dan faktor kisar sebesar 0,966. Dengan demikian didapatkan faktor belitan (k_w) sebesar 0,963.

Dengan menurunkan tegangan menjadi 48V, maka parameter arus akan mengalami kenaikan, dengan persamaan

$$I_B = \frac{V_A}{V_B} I_A \tag{20}$$

Kenaikan arus mencapai lima kali lipat dari arus sebelumnya. Solusi untuk mengatasinya adalah dengan memperbesar diameter konduktor pada setiap slot.

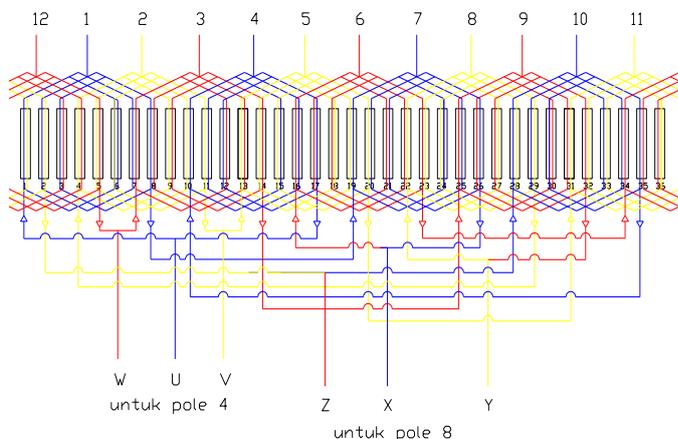
Untuk ukuran kawat sebelumnya berdiameter 0,8 dengan jari – jari 0,4 mm² maka setelah di rewinding dengan persamaan sebelumnya didapatkan ukuran kawat konduktor berukuran 1,7 mm. Dikarenakan ukuran 1,7 mm sangat besar dan tidak memungkinkan jika melilit ulang dengan manual dan dengan rentang slot tidak mencukupi, sehingga tidak mampu menampung ukuran konduktor untuk mencukupi kapasitas konduktor digunakan rangkaian paralel yaitu dengan membagi 2 ukuran konduktor menjadi 0,85 mm (**Chapman, 1985**).

Tabel 1 adalah spesifikasi motor setelah di *rewinding*

Tabel 1. spesifikasi motor setelah di rewinding

Tegangan	48/83 V
Daya	674,8 W (<i>high speed</i>) / 502,7 W (<i>low speed</i>)
Arus	6,05 A (<i>high speed</i>) / 9,07 A (<i>low speed</i>)
Jumlah slot (G)	36
Diameter inti stator (D)	8,8 cm
Panjang inti stator (L)	9 cm
Rated Speed	1435,4 rpm (<i>high speed</i>) / 735,5rpm (<i>low speed</i>)
Diameter konduktor	0,85 mm
Frequency	50 Hz
Lilitan perfasa	45 lilitan

Belitan yang digunakan adalah jenis belitan jerat dan menggunakan metode dahlander dimana dalam satu lilitan terdapat 2 kutub yang berbeda seperti pada Gambar 8 di bawah ini



Gambar 8. Alur lilitan motor kecepatan ganda

Gambar 9 adalah motor hasil *rewinding* dimana dalam satu stator terdapat 2 kumparan (*double layer*).



Gambar 9. (a) motor setelah di rewindin dan (b) lilitan tampak dalam

3.2 Hasil Pengujian Motor Induksi

Untuk mengetahui performa motor induksi 3 fasa setelah rewinding maka dilakukan beberapa pengujian diantaranya *DC test*, *no load test*, *locked rotor test* dan pembebanan. Pengujian ini dilakukan dengan terhubung bintang. Tabel 2 adalah data pengujian DC pada motor induksi 3 fasa.

Tabel 2. *DC Test*

Dc test			
no	V	A	R
1	0,9	1,1	0,82
2	1,1	1,2	0,92
3	1,9	2	0,95
4	2	3,2	0,63
5	3,1	3,9	0,79
Rtot	1,8	2,28	0,82

Pengujian hubung singkat (*locked rotor test*) di tunjukkan oleh Tabel 3

Tabel 3. Pengujian *Locked Rotor*

locked test			
kutub	v	i	p
pole 4	10,8	3,12	28
pole 8	33,1	8,3	206

Pengujian tanpa beban dilakukan sebanyak 5 kali dengan beberapa variasi tegangan. Tabel 4 adalah data pengujian tanpa beban pada motor induksi 3 fasa.

Tabel 4. Pengujian Tanpa Beban

no load Test						
kutub	V _{LL}	V _{nl}	I	P	n	cos ϕ
Pole 4	75,3	43,53	3,22	68	1498	0,16
	78,8	45,55	3,46	78	1447	0,16
	80,8	46,71	3,59	61	1498	0,2
	84,5	48,84	3,9	69	1499	0,11
	82	47,40	3,7	65	1498	0,2
rata-rata	80,28	46,40	3,57	68,20	1488,00	0,17
kutub	V _{LL}	V _{nl}	I	P	n	cos ϕ
pole 8	72,9	42,14	7,71	226	746	0,23
	76,7	44,34	8,56	270	750,2	0,23
	80,2	46,36	9,41	325	750,2	0,24
	83,7	48,38	10,32	378	748,8	0,25
	86,6	50,06	11,08	450	748,8	0,27
rata-rata	80,02	46,25	9,42	329,80	748,80	0,24

Pengujian pembebanan dilakukan dengan beberapa variasi beban dan diperoleh data seperti ditunjukkan Tabel 5.

Tabel 5. Test Pembebanan

load test										
kutub	V _m	I _m	P _m	N _m	cos ϕ	V _g	P _g	I _g	N _g	Load
Pole 4	80,7	5,5	575	1445	0,6	571	70	0,13	1746	25 W
	80,7	5,74	664	1444	0,73	549	130	0,26	1724	50 W
	80,3	5,83	638	1440	0,79	527	180	0,39	1695	75 W
	80,2	5,93	681	1435	0,79	507	220	0,51	1676	100 W
	80,5	6,05	671	1435	0,8	482	270	0,63	1657	125 W
kutub	V _m	I _m	P _m	N _m	cos ϕ	V _g	P _g	I _g	N _g	Load
Pole 8	80,2	9,18	461	741,6	0,3	238	21	0,08	942,6	25 W
	80,2	9,14	463	738,5	0,36	230	39	0,16	937,9	50 W
	80	9,07	491	738	0,36	221	46	0,24	933,4	75 W
	80	9,07	506	738	0,38	212	57	0,31	931	100 W
	80	9,07	503	737,5	0,41	202,5	67	0,38	930	125 W



Gambar 10. Rangkain kerja

Gambar 10 adalah rangkaian kerja pada saat pengujian motor induksi 3 fasa *double speed*, jenis pengujiannya adalah *pengujian DC test, load test, no load test* dan *locked rotor*.

3.4 Hasil Perhitungan Motor Induksi 3 fasa

Pengujian performa motor induksi 3 fasa dilakukan dengan mengukur resistansi stator, pengujian tanpa beban, hubung singkat serta pembebanan. Berdasarkan dari hasil pengukuran, dilakukan beberapa proses perhitungan untuk mendapatkan nilai rangkaian ekuivalen motor induksi 3 fasa. Didapatkan hasil seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7.

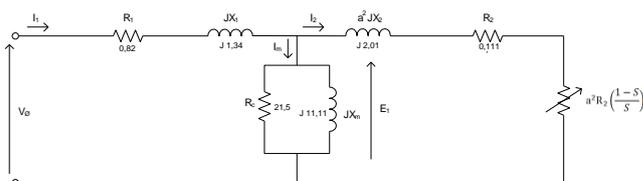
Table 6. parameter untuk kutub 4

Parameter	Nilai
R1	0,82 Ω
X1	1,34 Ω
X2	2,01 Ω
R2	0,111 Ω
Xm	11,11 Ω
Rc	21,5 Ω

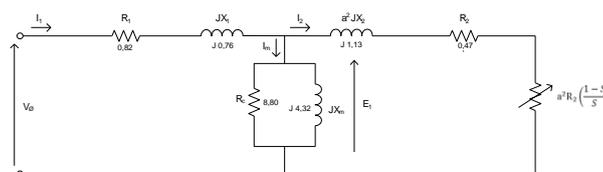
Tabel 7. Parameter untuk kutub 8

Parameter	Nilai
R ₁	0,82 Ω
X ₁	0,76 Ω
X ₂	1,13 Ω
R ₂	0,47 Ω
X _m	4,32 Ω
R _c	8,80 Ω

Dengan mengetahui parameter-parameter diatas dapat digambarkan rangkaian pengganti per fasa motor induksi 3 fasa seperti ditunjukkan oleh Gambar 11 dan Gambar 12 (*Chapman, 1985; Zuhail, 1997*).



Gambar 11. rangkain ekuivalent kutub 4



Gambar 12. rangkaian ekuivalent Kutub 8

3.5 Torka Motor Induksi 3 Phasa

Suatu persamaan torka pada motor induksi dapat dihasilkan dengan bantuan teori rangkaian thevenin seperti diatas dan parameternya dapat di lihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Table 8. parameter hitungan torka kutub 4

Parameter	Nilai
V _{TH}	41,13 V
X _{TH}	1,23 Ω
R _{TH}	0,65 Ω
W _{sync}	157 rad/s
n _{sync}	1500 rpm

Tabel 9. parameter hitungan torka kutub 8

Parameter	Nilai
V _{TH}	39,06 V
X _{TH}	0,74 Ω
R _{TH}	0,58 Ω
W _{sync}	78,53 rad/s
n _{sync}	750 rpm

Dengan mengetahui V_{TH} dan Z_{TH} maka didapatkan nilai torka motor induksi 3 fasa seperti pada Tabel 10 dan Tabel 11 di bawah ini.

Table 10. hasil hitungan torca kutub 4

Parameter	Nilai
Torka induksi	1,26 N.m
Torka starting	0,58 N.m
Torka beban	1,86 N.m
Torka maksimum	5,21 N.m
Slip maksimum	0,045

Tabel 11. hasil hitungan torca kutub 8

Parameter	Nilai
Torka induksi	0,61 N.m
Torka starting	5,95 N.m
Torka beban	0,62 N.m
Torka maksimum	11,48 N.m
Slip maksimum	0,24

3.6 Aliran Daya

Aliran daya pada motor induksi 3 fasa *double speed* terdapat rugi-rugi dan efisensi yang rugi-rugi terdapat pada rotor maupun stator diantaranya rugi-rugi seperti yang dapat di lihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

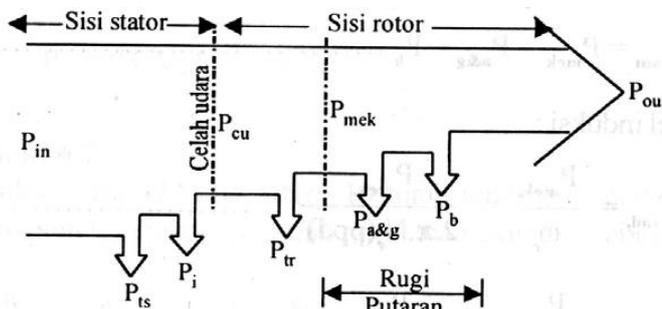
Tabel 12. untuk kutub 4

no	Parameter	Nilai
1	P_{SCL}	31,35 W
2	P_{AG}	643,5 W
3	P_{RCL}	27,66 W
4	P_{conv}	615,69 W
5	P_{out}	578,74 W
6	Efisensi	85,76 %

Tabel 13. untuk kutub 8

no	Parameter	Nilai
1	P_{SCL}	218,29 W
2	P_{AG}	284,41 W
3	P_{RCL}	4,55 W
4	P_{conv}	279,86 W
5	P_{out}	168,35 W
6	Efisensi	33,49 %

Rugi-rugi pada motor induksi 3 fasa terdapat pada stator dan rotor, untuk rugi-rugi tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Aliran daya pada motor induksi

3.7 Analisis

Rewinding motor induksi 3 fasa ini menurunkan rating tegangan dari 380 V menjadi 80V dengan mengubah ukuran tembaga awal 0,8 mm menjadi 1,7 mm. Karena faktor metode rewinding yang dilakukan secara manual sehingga konduktor dengan diameter 1,7 mm sulit untuk dilakukan penggulangan ditambah dengan rentang slot pada motor induksi yang digunakan dalam perancangan ini tidak mencukupi sehingga tidak mampu menampung ukuran konduktor dengan diameter 1,7 mm maka digunakan rangkaian paralel 2. Untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan mengubah ukurannya menjadi 0,85 mm.

Perbedaan diameter puli antara motor (3,50 inch) dan generator (3,25 inch) dimana pada saat motor dijalankan kecepatan motor dan generator berbeda jika motor kutub 4 di kecepatan 1500 rpm maka untuk generator di kecepatan 1900 rpm

Perbandingan karakteristik performa ini dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap motor induksi 3 fasa *double speed* sesudah *rewinding* untuk mendapatkan rangkaian ekivalennya kemudian melakukan simulasi. Dari rangkaian ekivalen tersebut bisa didapatkan nilai torsi dan slip yang berbeda antara kutub 4 dan kutub 8 seperti yang sudah di jelaskan sebelumnya.

Pada percobaan berbeban menggunakan generator penguatan sendiri dimana menggunakan kapasitor sebagai penguatannya dengan nilai kapasitor 5 μF 3 buah di hubung paralel untuk kutub 4. Sedangkan untuk kutub 8 menggunakan 6 buah di hubung paralel.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode dalam rewinding ini menggunakan metode Dahlander dimana dalam satu motor mempunyai 2 buah kutub yang berbeda yaitu kutub 8 dan kutub 4 yang hanya mempunyai satu lilitan yang sama dan menurunkan rating tegangan dari 380 V menjadi 80 V dengan diameter tembaga sebesar 1,7 mm. Untuk tembaga sebesar itu akan susah untuk dililit ulang dengan cara manual maka perlu dibuat paralel 2 menjadi 0,85 mm dan lilitan perfasa perkutubnya sebesar 45 lilitan.
2. Torka induksi didapatkan dari 2 kutub yang berbeda tapi dalam satu motor yang sama torkanya tidak jauh beda dimana untuk kutub 4 torkanya sebesar 1,26 Nm sedangkan untuk kutub 8 torkanya sebesar 0,61 Nm begitu juga dengan torka start, torka beban, dan torka maksimumnya.
3. Pada saat menjalankan motor induksi *double speed* di kontrol dengan kontaktor dimana menjalankan kecepatan rendah (kutub 8) terlebih dahulu kemudian ke kecepatan tinggi (kutub 4).
4. Nilai *efisiensi* untuk kutub 4 sebesar 85,76% sedangkan untuk kutub 8 sebesar 33,49% untuk kutub 4 *efisiensi* sangat bagus dibanding dengan kutub 8, karena dipengaruhi dari teknik penggulungan dimana dalam satu lilitan terdapat 2 jenis kutub. Semakin banyak kutub terbentuk semakin besar pula nilai tahananannya yang akan berdampak pada tingginya nilai arus pada kutub 8.

DAFTAR RUJUKAN

- Chapman, S. (1985). *Electric Machinery Fundamental*, Singapura: McGraw Hill.
- Deshapande, M.V. (2010). *Design and Testing of Electrical Machines*, New Delhi: PHI Learning Privat Limited. ISBN-978-81-203-3645-2
- Aglan, TS, (2012). *Reduced Voltage and Combined AC Motor and Drive System for Safe Electric Vehicle*. First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology : Miami, Alexandria.
- Zuhal, (1997). *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung : Institut Teknologi Bandung
- Duan, Y., (2010). *Method for Design and Optimization of Surface Mount Permanent Magnet Machines and Induction Machines*. Georgia Institut of Technology.
- VTU Learning. *Design of Induction Motor*, Unit 6.