

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

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

ASFARI HARIZ SANTOSO

NIM. 0910630038 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

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

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
ASFARI HARIZ SANTOSO
NIM. 0910630038 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Hari Santoso, MS.
NIP. 19531205 198503 1 001

Ir. Hery Purnomo, MT.
NIP. 19550708 198212 1 001

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

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
ASFARI HARIZ SANTOSO
NIM. 0910630038 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 3 Februari 2014

DOSEN PENGUJI

Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

Ir. Wijono, MT., Ph.D.
NIP. 19621111 198903 1 003

Ir. Soeprapto, MT.
NIP. 19561020 198903 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001



PENGANTAR

Assalammualaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul *"KAJIAN PENGARUH MODIFIKASI JUMLAH KUTUB TERHADAP PERUBAHAN DAYA DAN TORSI MOTOR INDUKSI SATU FASA"*. Skripsi tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis memilih judul tersebut berdasarkan kondisi kondisi pada kehidupan sehari – hari yang banyak menggunakan motor induksi satu fasa sebagai alat penunjang menunjang kegiatan sehari – hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan jumlah kutub terhadap pengaruh perubahan daya dan torsi pada motor induksi satu fasa rotor sangkar kemudian dilakukan modifikasi jumlah kutub motor induksi dengan putaran rendah.

Penulisan karya tulis skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ayahanda H. Hari Santoso dan Ibunda Hj. Nyami Winarti yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik, memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya. Kepada kakak Winda Harsanti yang selalu memberikan doa tiada henti.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Namun kendala tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Bapak Mochammad Rif'an S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.

4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc selaku KKDK konsentrasi Teknik energi elektrik Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Hari Santoso, MS. dan Bapak Ir. Hery Purnomo, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Bapak Ir. Hery Purnomo, MT. selaku kepala Laboratorium Mesin Elektrik yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan nasehat yang bermanfaat selama penulis mengabdikan di laboratorium.
7. Teman – teman tercinta Kania Silvianti, Febriananda, Surya, Temy, Ari, Fadly, Arga, Bayu, Radit, Warda, Joseph, Hari, Iksan, Kosa, Imam, Cheny, Finna, Pepy, Tris, Dimas Anggara, Ridho. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Malang, Januari 2014

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
RINGKASAN.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup.....	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Sistematika Pembahasan	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Motor Induksi.....	5
2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi.....	5
2.3. Medan Putar	5
2.4. Motor Induksi 1 Fasa	7
2.4.1. Bagian-bagian Motor Induksi 1 Fasa	7
2.4.2. Medan Bolak – Balik.....	8
2.3.3 Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fasa.....	10
2.5. Rangkaian Dasar Motor Induksi 1 Fasa	12
2.6. Daya pada Arus Bolak - Balik	12

2.7. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	13
2.8. Motor Induksi pada Keadaan Mantap	16
2.9. Efisiensi Motor Induksi	17
2.10. Daya Keluaran Motor Induksi 1 Fasa	19
2.11. Torsi Motor	20
2.12. Belitan Stator.....	21
2.13. Konduktor Stator.....	22
2.14. Alur Stator.....	22
2.15. Penentuan Nilai Kapasitor.....	23
2.15. Penentuan Parameter Motor Induksi Satu Fasa	24
2.15.1. Pengujian Tanpa Beban	24
2.15.2. Pengujian Tahanan DC Stator	26
2.15.3. Pengujian Rotor Ditahan	27
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Studi Literatur	29
3.2. Perancangan Modifikasi Motor Induksi Satu Fasa	29
3.3. Pengujian Unjuk Kerja Motor Induksi Hasil Modifikasi.....	30
3.3.1. Pengujian DC.....	30
3.3.2. Pengujian Rotor Ditahan	30
3.3.3. Pengujian Tanpa Beban.....	31
3.3.4. Pengujian Berbeban.....	31
3.4. Pengambilan Data Parameter Motor Induksi Hasil Modifikasi	31
3.5. Perhitungan dan Analisis Data	31
3.6. Kesimpulan dan Saran.....	31
BAB IV. MODIFIKASI JUMLAH KUTUB MOTOR INDUKSI.....	33

4.1. Modifikasi Motor Induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW	33
4.1.1. Dasar Modifikasi	33
4.1.2. Dimensi Alur	33
4.1.4. Perhitungan Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW	34
4.1.4.1. Jumlah Alur Stator Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW	36
4.1.4.2. Modifikasi Kumpanan Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW	37
4.1.4.3. Ukuran Konduktor Modifikasi Kumpanan Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW	38
4.2. Modifikasi Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	41
4.2.1. Dasar Modifikasi	41
4.2.2. Dimensi Alur Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	41
4.2.4. Perhitungan Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	42
4.2.4.1. Jumlah Alur Stator Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	43
4.2.4.2. Modifikasi Kumpanan Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	44
4.2.4.3. Ukuran Konduktor Modifikasi Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp	46
BAB V. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	48
5.1. Sasaran Pengujian	48
5.2. Pengujian Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW (Hasil modifikasi jumlah kutub)	48
5.2.1. Penentuan Nilai Kapasitor Motor Induksi 1 Fasa	50
5.2.1.1. Rangkaian pengujian	50
5.2.1.2. Prosedur pengujian	51
5.2.1.3. Perhitungan nilai kapasitor	51
5.2.2. Analisa Data	58

5.2.2.1. Penentuan Parameter Moto Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4kW Hasil Modifikasi pada Kumparan Utama	58
5.2.2.2. Penentuan Parameter Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4kW Hasil Modifikasi pada Kumparan Bantu	60
5.2.2.3. Perhitungan Daya, Rugi - Rugi dan Torsi Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW Hasil Modifikasi	62
5.3. Pengujian Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi	65
5.3.1. Penentuan Nilai Kapasitor Motor Induksi 1 Fasa	67
5.3.1.1. Prosedur pengujian	67
5.3.1.2. Perhitungan nilai kapasitor	68
5.3.2. Analisa Data	72
5.3.2.1. Penentuan Parameter Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi pada Kumparan Utama	72
5.3.2.2. Penentuan Parameter Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi pada Kumparan Bantu	75
5.3.3. Perhitungan Daya, Rugi - Rugi dan Torsi dari Motor	77
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	83
6.1. Kesimpulan	83
6.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pembagian reaktansi bocor motor induksi secara empiris.....	28
Tabel 4.1. Efisiensi dan Faktor Daya.....	35
Tabel 4.2. Tabel <i>Specific Loadings</i>	36
Tabel 4.3. Efisiensi dan Faktor Daya.....	43
Tabel 5.1. Data Pengujian Tanpa Beban (Proses Motor Belum di Hubungkan pada Poros Generator)	48
Tabel 5.2. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Utama.....	49
Tabel 5.3. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Bantu	49
Tabel 5.4. Data Hasil Pengujian dc pada Kumputan Utama	49
Tabel 5.5. Data Hasil Pengujian dc pada Kumputan Bantu.....	49
Tabel 5.6. Data Hasil Pengujian Berbeban	50
Tabel 5.7. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor	53
Tabel 5.8. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor	55
Tabel 5.9. Tabulasi data motor induksi 3 fasa 4 kW sebelum belitan stator di modifikasi, hasil perhitungan / perancangan dan hasil pengujian motor induksi yang telah dimodifikasi	65
Tabel 5.10. Data Pengujian Tanpa Beban.....	66
Tabel 5.11. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Utama.....	66
Tabel 5.12. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Bantu	66
Tabel 5.13. Data Hasil Pengujian dc pada Kumputan Utama	66
Tabel 5.14. Data Hasil Pengujian DC pada Kumputan Bantu.....	66
Tabel 5.15. Data Hasil Pengujian Berbeban	67
Tabel 5.16. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor dengan kumputan utama diseri dengan kapasitor.....	70
Tabel 5.17. Tabulasi data motor induksi 1 fasa 2 Hp sebelum belitan stator di modifikasi, hasil perhitungan / perancangan dan hasil pengujian dari motor induksi 1 2 Hp fasa hasil perancangan	80

Tabel 5.18. Data hasil pengujian berbeban motor standart 746 watt 1500 rpm 80

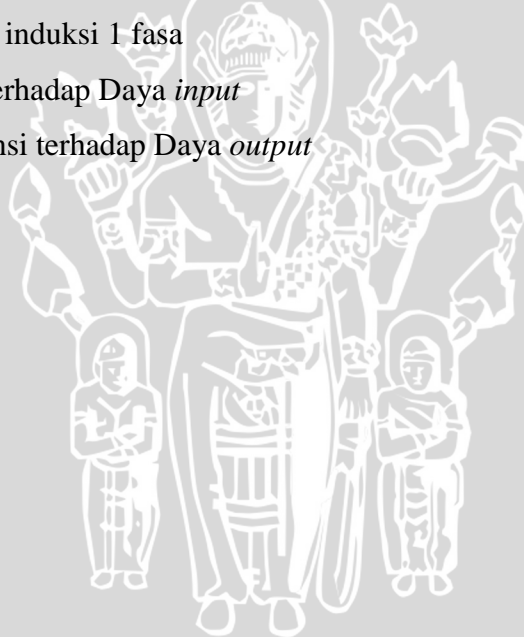
Tabel 5.19. Tabulasi data pengujian berbeban motor induksi standart dan yang dimodifikasi pada keadaan nominal..... 81



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. (a) Penampang Kumbaran Stator Motor Induksi Tiga Fasa (b) Arus Tegangan Tiga Fasa Setimbang.....	5
Gambar 2.2. Medan Putar pada Motor Induksi Tiga Fasa.....	5
Gambar 2.3. Arah Gaya yang Ditimbulkan Karena Arus.....	6
Gambar 2.4. Diagram Vektor Perputaran Fluksi.....	6
Gambar 2.5. Medan Bolak – Balik Motor Induksi Satu Fasa.....	8
Gambar 2.6. Flux Total ϕ_1 Dilukis Sebagai Fungsi dari Sudut θ	9
Gambar 2.7. Lengkung Kopel Putaran Motor Induksi Satu Fasa.....	10
Gambar 2.8. Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fasa.....	11
Gambar 2.9. Rangkaian Dasar Motor Induksi 1 Fasa (<i>Split Phase Starting Motor</i>).....	12
Gambar 2.10. Rangkaian Pengganti Stator Motor Induksi pada Keadaan Diam.....	14
Gambar 2.11. Rangkaian Pengganti Stator Motor Induksi pada Keadaan Berputar.....	15
Gambar 2.12. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi pada Keadaan Mantap.....	16
Gambar 2.13. Aliran Daya Motor Induksi.....	18
Gambar 2.14. Rangkaian Pengujian <i>Prony Brake</i>	20
Gambar 2.15. Bentuk Belitan Stator.....	21
Gambar 2.16. Bentuk Alur.....	23
Gambar 2.17. Segitiga Impedansi.....	24
Gambar 2. 18. Rangkaian Pengujian Tanpa Beban.....	25
Gambar 2.19. Rangkaian Pengujian DC.....	26
Gambar 2.20. Rangkaian Pengujian Rotor Ditahan.....	27
Gambar 3.1. Blok Diagram Modifikasi Jumlah Kutub Motor Induksi.....	29
Gambar 4.1. Bentuk Alur Stator.....	33
Gambar 4.2. Kumbaran Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW Jenis Terpusat.....	34
Gambar 4.3. Rancangan Kumbaran Model Terpusat pada Stator.....	37
Gambar 4.4. Bentuk Alur Stator Motor Induksi 2 Hp.....	41
Gambar 4.5. Kumbaran Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Jenis Terbagi.....	42

Gambar 4.6. Rancangan Kumbaran Model Terpusat pada Stator	44
Gambar 5.1. Rangkaian Pengujian Penentuan Nilai Kapasitor	50
Gambar 5.2. Rangkaian Pengujian Penentuan Nilai Kapasitor	50
Gambar 5.3. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumbaran utama yang mengacu pada pengujian rotor ditahan	52
Gambar 5.4. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumbaran bantu	54
Gambar 5.5. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai kapasitor sebagai alat bantu starting motor induksi 1 fasa	56
Gambar 5.6. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumbaran utama yang mengacu pada pengujian rotor ditahan	69
Gambar 5.7. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai kapasitor sebagai alat bantu starting motor induksi 1 fasa	71
Gambar 5.8. Grafik Torsi terhadap Daya <i>input</i>	81
Gambar 5.9. Grafik Effisiensi terhadap Daya <i>output</i>	82



DAFTAR LAMPIRAN

Dokumentasi..... 86



RINGKASAN

Asfari Hariz Santoso, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Kajian Pengaruh Modifikasi Jumlah Kutub Terhadap Daya Dan Torsi Motor Induksi Satu Fasa*, Dosen Pembimbing: Ir. Hari Santoso, MS., Ir. Hery Purnomo, MT.

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*.

Berdasarkan teori mesin elektrik, untuk motor induksi 1 fasa kecepatan putar motor ditentukan oleh jumlah kutub, bahwa semakin banyak jumlah kutubnya diperoleh kecepatan putar motor yang lebih rendah. Putaran yang lebih rendah pada dimensi motor yang sama akan berpengaruh terhadap daya dan torsi motor. Agar dapat diketahui pengaruhnya dapat dilakukan dengan jalan memodifikasi jumlah kutub pada kumparan stator motor induksi. Motor pertama yang dimodifikasi merupakan motor induksi 3 fasa 4 kW; 400/230 V; 13,5/7,8 A; 50 Hz; 2850 rpm dengan konstruksi diameter dan panjang inti stator berturut – turut 89 mm dan 84 mm sedangkan jumlah alur stator sebanyak 24 alur. Sedangkan motor yang kedua merupakan motor induksi 1 fasa 2 Hp; 110/220 V; 27/13,5 A; 50 Hz; 1440 rpm dengan konstruksi diameter dan panjang inti stator berturut – turut 100 mm dan 120 mm sedangkan jumlah alur stator sebanyak 36 alur. Setelah dilakukan modifikasi jumlah kutub dilakukan pengujian DC, tanpa beban, pengujian rotor ditahan, dan pengujian berbeban yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui parameter dan besar daya dan torsi pada motor induksi yang telah dimodifikasi.

Dari hasil modifikasi diperoleh jumlah belitan pada motor induksi 3 fasa 4 kW sebanyak 100 konduktor per alur pada kumparan utama dan bantu dengan diameter konduktor 0,85 mm rangkap dua pada kumparan utama dan 0,85 mm pada kumparan bantu, sedangkan pada motor induksi 1 fasa 2 Hp diperoleh jumlah belitan 54 konduktor per alur dengan diameter konduktor pada kumparan utama dan bantu masing – masing 0,8 mm. Berdasarkan hasil pengujian pada motor induksi 3 fasa 4 kW diperoleh daya *output* 552,34 watt dan torsi motor sebesar 7,9 Nm, sedangkan pada motor induksi 1 fasa 2 Hp diperoleh daya *output* 563,023 watt dan torsi motor sebesar 7,83 Nm.

Kata kunci : motor induksi, kutub, daya, torsi.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor induksi merupakan jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada perindustrian, karena memiliki kelebihan seperti struktur dan konstruksinya yang kokoh, sederhana dan perawatan yang mudah. Sebagian besar motor digunakan untuk memutar beban yang ada di perindustrian. Keluaran motor induksi berupa torsi untuk menggerakkan beban. Jika pada saat *start* torsi beban yang dipikul motor induksi lebih besar dari torsi yang dihasilkan motornya, maka motor induksi tidak akan berputar.

Dilihat dari catu daya yang tersedia motor induksi terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa. Motor induksi satu fasa banyak digunakan pada kehidupan sehari-hari.

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.

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*.

Dalam penelitian skripsi ini akan dikaji mengenai rancangan motor induksi 1 fasa untuk aplikasi putaran rendah, daya rendah, dan torsi tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis pengaruh perubahan jumlah kutub pada motor induksi satu fasa jenis rotor sangkar terhadap besar nilai daya dan torsi yang dihasilkan.

1.2. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang disusun adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodifikasi belitan stator motor induksi 1 fasa (motor kapasitor) rotor sangkar, untuk menurunkan putaran rotornya.
2. Bagaimana pengaruh dari modifikasi jumlah kutub pada motor induksi 1 fasa (motor kapasitor) terhadap daya keluaran.
3. Bagaimana pengaruh dari modifikasi jumlah kutub pada motor induksi 1 fasa (motor kapasitor) terhadap torsi motor.

1.3. Ruang Lingkup

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Motor induksi yang akan digunakan merupakan motor induksi 1 fasa (motor kapasitor) 2 Hp dan motor induksi 3 fasa 4 kW rotor sangkar.
2. Modifikasi jumlah kutub pada motor induksi dilakukan dengan merubah konfigurasi belitan stator.
3. Tidak dilakukan perubahan dimensi alur dan konstruksi rotornya.
4. Jumlah kutub motor yang dimodifikasi dari motor induksi 1 fasa (motor kapasitor) 2 Hp adalah 4 menjadi 8 kutub.
5. Jumlah kutub motor yang dimodifikasi dari motor induksi 3 fasa 4 kW adalah 2 menjadi 8 kutub.
6. Analisis hasil modifikasi hanya difokuskan pada daya dan torsi.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti perubahan jumlah kutub terhadap pengaruh perubahan daya dan torsi pada motor induksi satu fasa rotor sangkar untuk meningkatkan torsi.

1.5. Manfaat

Motor hasil modifikasi pada skripsi ini dapat dimanfaatkan dan dikembangkan menjadi motor traksi dengan kecepatan rendah, seperti motor pada kursi roda, mobil listrik, dan sepeda listrik. Agar dapat digunakan sebagai motor traksi perlu ditambahkan juga

inverter dan motor didapatkan dari motor yang ada di pasaran dengan harga yang relatif murah.

1.6. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam skripsi ini disusun menjadi 6 bab, yaitu sebagai berikut :

- BAB I** : Merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat serta sistematika pembahasan.
- BAB II** : Merupakan pembahasan teori motor induksi 1 fasa yang meliputi konstruksi motor, prinsip kerja, medan magnet putar, rangkaian ekivalen motor induksi, daya motor induksidan penentuan parameter motor induksi.
- BAB III** : Merupakan tahapan penyelesaian skripsi yang meliputi studi literatur, perancangan alat dan sistem keseluruhan, pengujian, analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.
- BAB IV** : Merupakan tentang pembahasan perancangan modifikasi dan perhitungan motor induksi 1 fasa
- BAB V** : Merupakan analisis hasil pengujian motor induksi 1 fasa
- BAB VI** : Merupakan kesimpulan dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi

Motor induksi atau motor asinkron secara konstruksi terdiri dari stator yaitu bagian yang diam dan rotor bagian yang bergerak. Menurut jenisnya rotor ada dua macam yaitu rotor sangkar dan rotor belitan. Dalam penggunaannya motor induksi jenis rotor sangkar yang sangat sering dijumpai karena kelebihanannya dalam hal konstruksi yang kokoh dan perawatannya yang mudah.

2.2. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi tiga fasa disuplai sumber tegangan bolak-balik 3 fasa dengan syarat beda fasa masing-masing 120° . Dengan adanya sumber tegangan 3 fasa, maka arus yang mengalir pada masing-masing kumparan yaitu:

(Zuhal, 1991:68)

$$I_a = I_m \cos \omega t \quad (2-1a)$$

$$I_b = I_m \cos (\omega t - 120^\circ) \quad (2-1b)$$

$$I_c = I_m \cos (\omega t - 240^\circ) \quad (2-1c)$$

Jika tiga hal tersebut terpenuhi maka akan timbul medan magnet putar. Medan magnet putar yaitu medan magnet yang berputar dengan kecepatan sudut (ω) yang tetap. Dengan adanya medan magnet putar maka pada batang konduktor atau lilitan rotor akan timbul tegangan induksi. Dikarenakan rotor merupakan rangkaian tertutup maka timbul arus yang mengalir pada rotor dan timbul gaya sebesar : (Zuhal, 1991 :69)

$$F = B i L \quad (2-2)$$

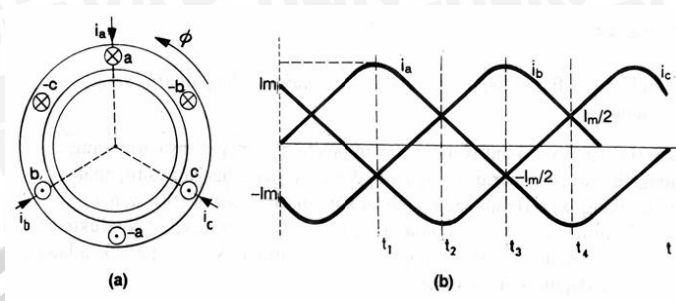
karena rotor mempunyai jari – jari sebesar r maka akan timbul torsi motor sebesar :

$$\tau = F \cdot r \quad (2-3)$$

2.3. Medan Putar

Perputaran rotor pada motor induksi tiga fasa ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya, hubungan kumparan stator dapat hubungan bintang atau delta.

Pada gambar 2.1a kumparan $a - a$; $b - b$; $c - c$ dihubungkan sumber bolak-balik 3 fasa, dengan beda fasa masing – masing 120^0 Gambar 2.1a dan dialiri arus sinusoid. Distribusi arus i_a, i_b, i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti Gambar 2.1b.



Gambar 2.1. (a) Penampang Kumparan Stator Motor Induksi Tiga Fasa (b) Arus Tegangan Tiga Fasa Setimbang
 Sumber : Zuhail,1992 : 102

Arus yang mengalir di dalam rangkaian kumparan stator adalah arus bolak – balik tiga fasa setimbang yang mempunyai amplitude yang berubah – ubah menurut waktu. Arus – arus fasa itu dapat dtuliskan sama dengan persamaan dari (2 – 1)

$$i_a = I_m \cos \omega t$$

$$i_b = I_m \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \cos (\omega t - 240^\circ)$$

dimana,

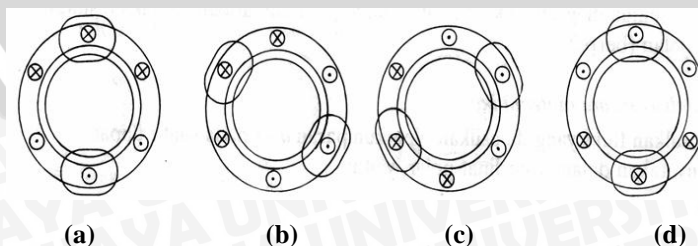
i_a, i_b, i_c : arus sesaat perfasa (A)

I_m : arus maksimum (A)

ω : kecepatan sudut (rad/detik)

t : waktu (detik)

Pada keadaan $t_1, t_2, t_3,$ dan $t_4,$ fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing – masing adalah seperti Gambar 2.2a, b, c, dan d.



Gambar 2.2. Medan Putar pada Motor Induksi Tiga Fasa
 Sumber : Zuhail,1992 : 102

Pada t_1 fluks resultan mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan $a - a$; sedangkan pada t_2 , fluks resultannya mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan $c - c$; dan untuk t_3 fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan $b - b$. Untuk t_4 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat t_1 keterangan ini akan lebih jelas pada analisa vektor.

Dari gambar c, d, e , dan f tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu untuk mesin dengan jumlah kutub lebih dari dua, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut :

$$n_s = 60 f / p \text{ (rpm)} \tag{2-4}$$

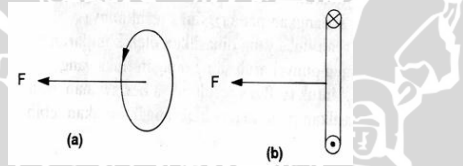
dimana,

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah pasang kutub

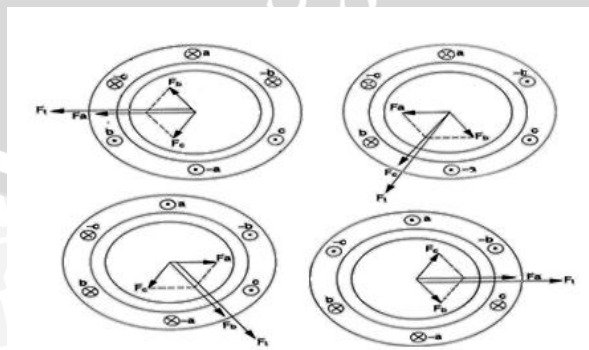
Secara vektor didapatkan :

1. Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Arah Gaya yang Ditimbulkan Karena Arus
Sumber : Zuhail,1992 : 103

2. Fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram Vektor Perputaran Fluksi
Sumber : Zuhail,1992 : 103

Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif atau negatifnya arus yang mengalir pada kumparan $a - a$, $b - b$, dan $c - c$ yaitu: harga positif, apabila tanda silang (\times) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik a, b, c), sedangkan negatif apabila tanda titik (\cdot) terletak pada pangkal konduktor tersebut. Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t_1, t_2, t_3 , dan t_4 . Dari semua diagram vektor di atas dapat dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).

Dalam hal ini motor induksi tidak akan bekerja dengan kecepatan sinkron. Jika terjadi putaran rotor mencapai kecepatan sinkron, maka motor induksi tidak bekerja sebagaimana seperti motor pada umumnya, dikarenakan tidak akan ada gaya gerak listrik (ggl) yang diinduksikan dalam rotor sehingga tidak ada arus yang mengalir dan tidak dihasilkan torsi. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban lebih kecil dari kecepatan sinkron sehingga tegangan dapat diinduksikan pada rotor hingga dihasilkan torsi.

2.4. Motor Induksi 1 Fasa

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%, sehingga jarang sekali di gunakan apabila tersedia motor 3 fasa dengan daya rendah dan telah tersedia sumber listrik 3 fasa. Motor induksi satu fasa dapat di golongan menjadi 3 (tiga) jenis yaitu :

1. *Split phase starting motor*
2. *Shaded pole motor*
3. *Repulsion starting motor*

2.4.1. Bagian-bagian Motor Induksi 1 Fasa

1. Stator

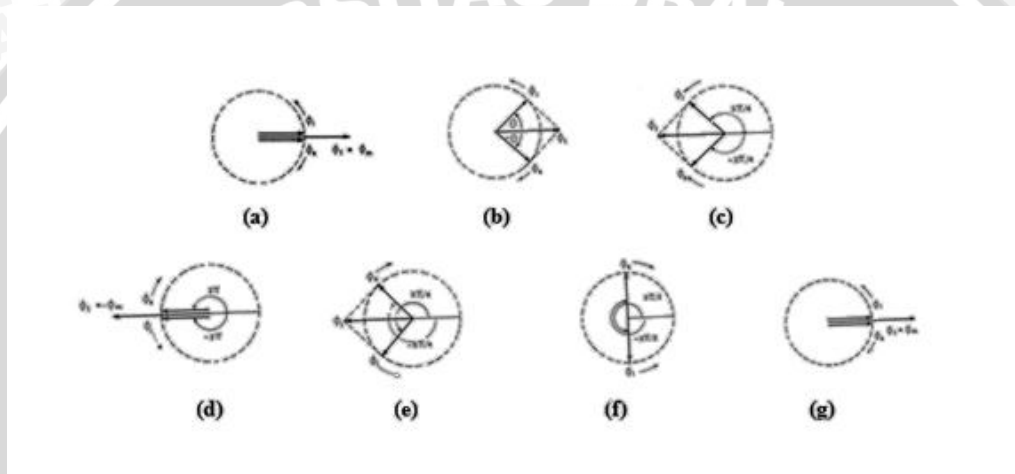
Inti stator motor induksi 1 fasa terdiri dari lapisan plat-plat besi (laminasi) tersusun secara rapih dan ujung-ujungnya di klem. Plat-plat besi (laminasi) di bentuk sedemikian rupa menjadi alur-alur dan gigi-gigi alur stator.

2. Rotor

Rotor untuk motor induksi 1 fasa adalah rotor sangkar sama halnya dengan rotor sangkar untuk motor induksi 3 fasa, konduktor rotor di buat dari batangan tembaga atau aluminium atau aluminium paduan.

2.4.2. Medan Bolak – Balik

Motor induksi satu fasa mendapat suplai dari sumber bolak balik yang dicatukan pada kumparan stator. Berbeda dengan motor induksi tiga fasa, dimana jika kumparan tiga fasa pada stator dicatu sumber bolak-balik tiga fasa maka akan timbul medan putar yang dapat menimbulkan peputaran pada rotornya.



Gambar 2.5. Medan Bolak – Balik Motor Induksi Satu Fasa

Sumber : Abdul Kadir (1981 : 141)

Sedangkan pada motor induksi satu fasa tidak menghasilkan medan putar melainkan medan bolak-balik. Suatu medan/ flux bolak balik yang dihasilkan oleh kumparan stator satu fasa dapat diuraikan dalam dua komponen yaitu komponen sinkron (ϕ_s) yang berputar ke kanan/ maju dan komponen invers (ϕ_i) yang berputar ke kiri/ mundur. Seperti gambar 2.5.a,b,c,d,e,f, dan g.

Dalam Gambar 2.5a terlihat komponen flux sinkron ϕ_s yang berputar searah dengan jam, komponen flux invers ϕ_i yang berputar berlawanan arah dengan jam, dan flux total $\phi_t = \phi_s + \phi_i$ berupa penjumlahan vektor.

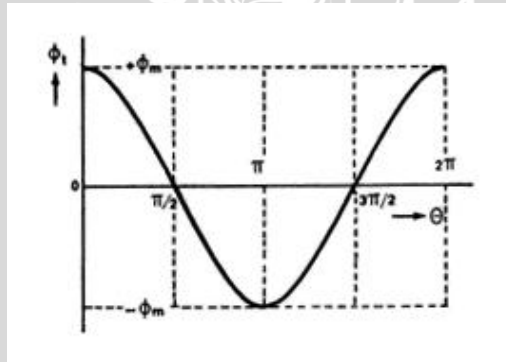
Pada posisi menurut Gambar 2.5a, baik ϕ_s maupun ϕ_i adalah “sefasa”, sehingga flux jumlah ϕ_t merupakan maksimal, yaitu ϕ_m .

Pada Gambar 2.5b flux ϕ_i menunjukkan suatu sudut θ terhadap flux total ϕ_t , dan demikian pula flux ϕ_s , menunjukkan sudut $-\theta$ terhadap flux total ϕ_t . Dalam keadaan ini ϕ_t adalah lebih kecil dari ϕ_m .

Pada Gambar 2.5c flux invers ϕ_i mencapai sudut $3\pi/4$, sedangkan flux sinkron ϕ_s mencapai sudut $-3\pi/4$. Flux total ϕ_t kini telah berubah arah dan pada Gambar 2.5d kembali ϕ_i dan ϕ_s sefasa, yaitu pada fasa masing-masing 2π dan -2π . Flux total kini bernilai maksimal negatif, yaitu $\phi_t = -\phi_m$.

Pada Gambar 2.5e sudut yang dicapai adalah $5\pi/4$ untuk ϕ_i dan $-5\pi/4$ untuk ϕ_s . Flux total mulai mengecil lagi untuk mencapai nilai 0 pada situasi menurut Gambar 2.5f dimana ϕ_s dan ϕ_i berlawanan arah.

Dalam Gambar 2.5g kembali dicapai situasi seperti pada Gambar 2.5a. Dalam Gambar 2.6 flux total ϕ_t dilukis sebagai fungsi dari sudut θ . Kiranya jelas, bahwa fungsi $\phi_t = \phi_t(\theta)$ ini merupakan suatu fungsi harmonis tunggal.



Gambar 2.6. Flux Total ϕ_t Dilukis Sebagai Fungsi dari Sudut θ
Sumber : Abdul Kadir (1981:144)

Dengan berlandaskan prinsip bahwa medan yang dihasilkan stator adalah fluks bolak – balik ϕ_t , dimana ϕ_t adalah penjumlahan pengaruh dari fluks sinkron ϕ_s dan fluks invers ϕ_i . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa lengkung kopel/ torsi putaran total yang diakibatkan oleh fluks total ϕ_t juga merupakan penjumlahan dari masing – masing lengkung kopel putaran dari komponen – komponen ϕ_s dan ϕ_i .

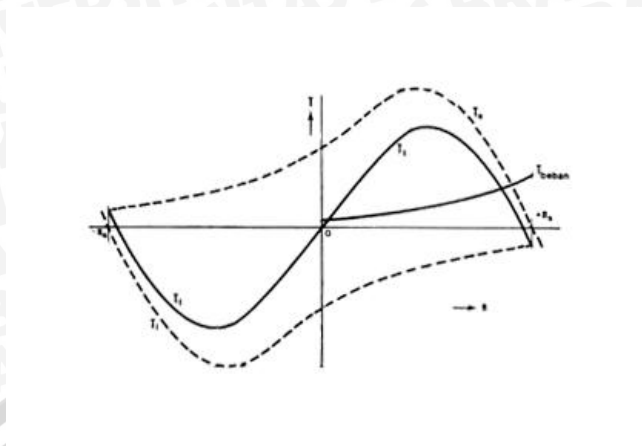
$$\text{atau : } T(n) = T_s(n) + T_i(n)$$

dimana,

$T(n)$: lengkung kopel putaran total

$T_s(n)$: lengkung kopel putaran yang disebabkan ϕ_s

$T_i(n)$: lengkung kopel putaran yang disebabkan ϕ_i



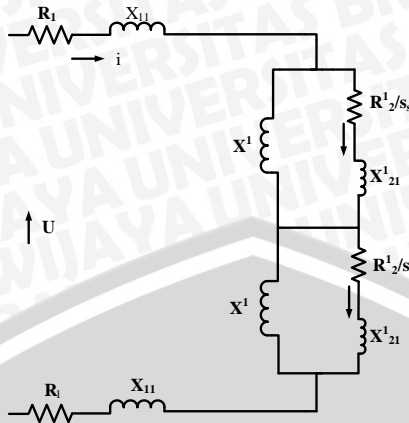
Gambar 2.7. Lengkung Kopel Putaran Motor Induksi Satu Fasa
Sumber : Sumber : Abdul Kadir (1981:145)

Karena ϕ_s merupakan suatu medan putar biasa, maka lengkung kopel putaran yang dihasilkannya merupakan lengkung kopel putaran biasa pula seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 sebagai lengkung T_s yang mana merupakan lengkung putaran yang normal. Karena medan putar dari ϕ_i mempunyai arah putaran yang invers atau terbalik maka bentuk lengkung kopel putaran T_i akan terbalik pula seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 dengan kata lain mempunyai simetri radial dengan T_s terhadap titik nol.

Kopel total $T = T(n)$ fungsi ini merupakan penjumlahan dari $T_s(n)$ dan $T_i(n)$ sebagaimana terlihat pada Gambar 2.7 yang juga tercantum gambar lengkung kopel beban T_b . Pada lengkung $T = T(n)$ ini tidak melalui titik nol atau dengan kata lain tidak mempunyai kopel awal. Artinya, perlu dibantu untuk start, misalnya diputar dengan tangan atau alat bantu start yang lain untuk mengatasi torsi beban awal.

2.3.3 Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fasa

Rangkaian pengganti motor induksi satu fasa pada stator mempunyai besaran – besaran R_1 dan X_1 . Kemudian pada sisi rotor terdapat R_2/s dan X_2 dimana R_2/s perlu ada perbedaan antara slip untuk flux sinkron (s_s) dan slip untuk slip invers (s_i) sedangkan besaran gabungan antara stator dan rotor berupa X^1 .



Gambar 2.8. Rangkaian Pengganti Motor Induksi Satu Fasa
 Sumber : Sumber : Abdul Kadir (1981:147)

Berdasarkan pertimbangan – pertimbangan simetri pada rangkaian pengganti motor induksi satu fasa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 diatas pada sisi primer semua besaran “dibagi” dua.

Impedansi rangkaian pengganti motor induksi satu fasa dilihat dari apitan stator adalah :

$$Z = 2(R_1 + jX_{11}) + \frac{jX^1 \left(\frac{R_2^1}{s_s} + jX_{21}^1 \right)}{\frac{R_2^1}{s_s} + j(X^1 + X_{21}^1)} + \frac{jX^1 \left(\frac{R_2^1}{s_i} + jX_{21}^1 \right)}{\frac{R_2^1}{s_i} + j(X^1 + X_{21}^1)}$$

(2-5)

$$= R + jX \Omega$$

dengan,

$$R = 2R_1 + h_s^2 \frac{R_2^1}{s_s} + h_i^2 \frac{R_2^1}{s_i} \quad 2$$

(2-6)

$$X = 2X_{11} + h_s^2 \frac{(R_2^1)^2}{s_s^2 X^1} + X_{21}^1(1+T) + h_i^2 \frac{(R_2^1)^2}{s_i^2 X^1} + X_{21}^1(1+T)$$

(2-7)

dimana,

$$h_s^2 = \frac{(X^1)^2}{\left(\frac{R_2^1}{s_s}\right)^2 + (X^1 + X_{21}^1)^2}$$

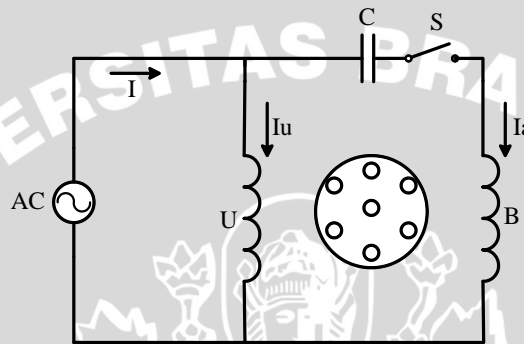
(2-8)

$$h^2_i = \frac{(X^1)^2}{\left(\frac{R^1_{21}}{s_i}\right)^2 + (X^1 + X^1_{21})^2} \tag{2-9}$$

$$T = \frac{X^1_{21}}{X^1} \tag{2-10}$$

2.5. Rangkaian Dasar Motor Induksi 1 Fasa

Rangkaian dasar motor induksi satu fasa seperti pada Gambar 2.9 di bawah ini



Gambar 2.9. Rangkaian Dasar Motor Induksi 1 Fasa (*Split Phase Starting Motor*)
 Sumber : Zuhail, 1993 : 128

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, akibat terjadi medan putar pada stator yang mengakibatkan motor berputar.

Pada kecepatan putaran motor mencapai 75% kecepatan sinkron, maka kumparan bantu akan terputus hubungannya oleh saklar (S) akibat adanya gaya sentrifugal pada rotor.

2.6. Daya pada Arus Bolak - Balik

Daya rata – rata pada arus bolak – balik satu fasa dapat dinyatakan sesuai dengan persamaan :

$$P = V I \cos \theta \text{ watt} \tag{2 - 11}$$

Daya sesaat pada sistem tiga fasa setimbang tersebut adalah penjumlahan daya – daya pada setiap fasanya,

$$\begin{aligned} p &= p_a + p_b + p_c \\ &= 3 V_p I_p \cos \theta - V_p I_p [\cos (2\omega t - \theta) \\ &\quad + \cos(2\omega t - \theta - 120^\circ) + \cos(2\omega t - \theta - 240^\circ)] \quad \text{watt} \end{aligned} \quad (2-12)$$

Hasil penjumlahan dari besaran yang berada dalam tanda kurung (fungsi waktu) adalah sama dengan nol, maka daya sesaat dalam sistem tiga fasa adalah :

$$p = 3 V_p I_p \cos \theta \quad \text{watt} \quad (2-13)$$

sehingga daya rata – rata tiga fasa :

$$p = 3 V_p I_p \cos \theta \quad \text{watt} \quad (2-14)$$

Untuk sistem tiga fasa yang terhubung Y dengan $V_l = \sqrt{3} V_p$ dan $I_l = I_p$, maka :

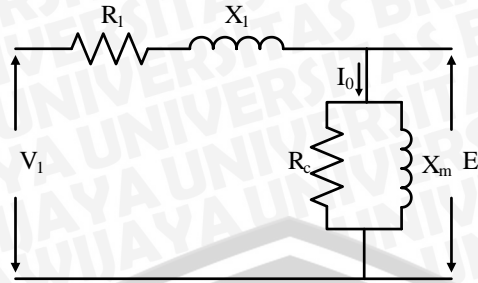
$$\begin{aligned} P &= 3 (V_l / \sqrt{3}) I_l \cos \theta \\ &= \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta \quad \text{watt} \end{aligned} \quad (2-15)$$

Untuk tiga fasa yang terhubung Δ dengan $V_l = V_p$ dan $I_l = \sqrt{3} I_p$, maka :

$$\begin{aligned} P &= 3 V_l (I_l / \sqrt{3}) \cos \theta \\ &= \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta \quad \text{watt} \end{aligned} \quad (2-16)$$

2.7. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Rangkaian pengganti dari motor induksi satu fasa adalah sama dengan rangkaian pengganti pada transformator, stator merupakan kumparan primer dan rotor merupakan kumparan sisi sekunder. Rangkaian pengganti ini sangat diperlukan untuk mempermudah analisis dan perhitungan.



Gambar 2.10. Rangkaian Pengganti Stator Motor Induksi pada Keadaan Diam
 Sumber : Zuhail, 1992 : 108

Sebuah motor induksi dalam keadaan diam seperti pada Gambar 2.10 stator kemudian dihubungkan pada jaringan, sedangkan lilitan-lilitan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, baik langsung ataupun melalui sebuah hambatan. Maka pada dasarnya rangkaian tersebut adalah serupa dengan sebuah transformator, dengan lilitan stator sebagai kumparan primer dan lilitan rotor sebagai kumparan sekunder.

Medan magnet stator berputar dengan kecepatan:

$$n_s = \frac{60f_1}{p} \text{ rpm}$$

$$f_1 = pn_s / 60$$

dengan, p : jumlah pasang kutub

1. Tegangan terinduksi pada rotor

Pada keadaan rotor diam ($n = 0$ atau $s = 1$)

$$E_2 = 4,44 f_2 N_2 K_{w2} \phi_m \tag{2-18}$$

$$f_2 = f_1$$

$$E_2 = 4,44 f_1 N_2 K_{w2} \phi_m \tag{2-19}$$

dengan N_1 : jumlah lilitan pada stator

N_2 : jumlah lilitan pada rotor

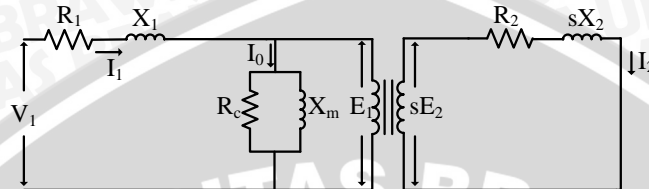
K_{w1} : faktor belitan pada stator

K_{w2} : faktor belitan pada rotor

Maka besar tegangan induksi fasa rotor tergantung pada perbandingan jumlah lilitan pada stator dan rotor.

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1 \tag{2-20}$$

Pada keadaan rotor berputar motor induksi merupakan transformator yang dapat mentransformasikan tegangan, arus, dan bentuk energi. Rangkaian motor induksi dengan rotor berputar sama seperti transformator yang sisi sekundernya dihubung singkat, seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Rangkaian Pengganti Stator Motor Induksi pada Keadaan Berputar

Sumber : Zuhul, 1992 : 108

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*) (Zuhul, 1992 : 105)

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \tag{2-21}$$

dengan, *s* : slip

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

n : kecepatan putar rotor (*rpm*)

Besaran – besaran yang berbeda pada rangkaian ekivalen motor induksi pada keadaan diam dan berputar yaitu frekuensi dan tegangan terinduksinya yang dipengaruhi oleh slip.

Pada keadaan rotor berputar

$$\begin{aligned} f_2 &= f_1 s \\ E_{2s} &= 4,44 f_2 N_2 K_{w2} \phi_m \\ E_{2s} &= 4,44 s f_1 N_2 K_{w2} \phi_m \\ &= s E_2 \end{aligned}$$

jadi $E_{2s} = s E_2$ (2-22)

dengan E_{2s} : Tegangan terinduksi pada saat rotor berputar dengan slip *s*.

E_2 : Tegangan terinduksi pada saat rotor diam

Tegangan induksi tiap fasa dalam belitan rotor adalah sebanding dengan slip dan dari persamaan (2-22) didapat.

$$E_{2s} = (N_2/N_1) s E_1 \tag{2-23}$$

2. Reaktansi bocor pada rotor

Pada keadaan rotor diam ($s = 1$)

$$X_2 = \omega L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$$

Pada keadaan rotor berputar

$$X_{2s} = \omega L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$$

$$X_{2s} = s X_2 \tag{2-24}$$

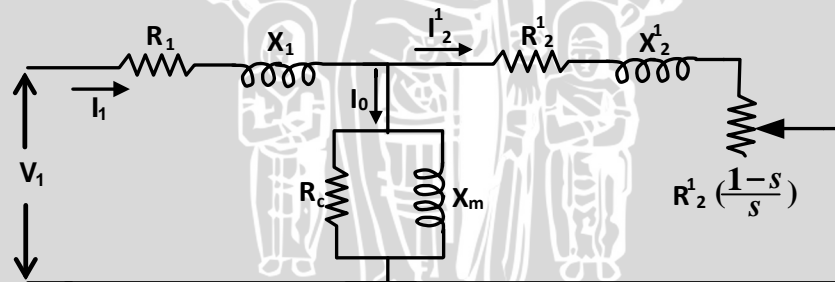
dengan X_{2s} : reaktansi pada saat rotor berputar

X_2 : reaktansi pada saat rotor diam

2.8. Motor Induksi pada Keadaan Mantap

Tahanan rotor pada belitan maupun batang rotor pada saat diam maupun berputar besarnya tetap, artinya tidak terpengaruh pada perubahan slip.

Apabila sisi stator dijadikan sebagai referensi, maka rangkaian pengganti motor induksi pada keadaan mantap seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi pada Keadaan Mantap

- dengan, I_2^1 : arus rotor yang disetarakan pada sisi stator
- R_2^1 : tahanan rotor yang disetarakan pada stator
- s : slip

Dari rangkaian ekuivalen motor induksi pada Gambar 2.12 daya yang ditransfer melalui celah udara adalah :

$$P_{em} = (I_2^1)^2 \frac{R_2^1}{s} \text{ watt} \quad (2-25)$$

Rugi tahanan rotor (P_{cu2}) adalah :

$$P_{cu} = (I_2^1)^2 R_2^1 \text{ watt} \quad (2-26)$$

Daya mekanik yang dikeluarkan oleh rotor :

$$P_{mek} = (I_2^1)^2 \frac{R_2^1(1-s)}{s} \text{ watt} \quad (2-27)$$

Kecepatan sudut rotor (ω_r) dalam radian listrik per detik adalah

$$\omega_r = (1-s) \omega_s \quad (2-28)$$

Kopel elektromagnet dihitung dari :

$$\tau_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s}$$

ω_s = kecepatan sudut dari medan magnet putar

dengan $\omega_s = 2\pi n_s$

dan kecepatan sinkron motor adalah ω_s maka torsi elektromagnet (τ_{em}) adalah

$$\tau_{em} = \frac{(I_2^1)^2 (R_2^1 / s)}{\omega_s} N - m \quad (2-29)$$

$$I_2^1 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2^1 / s)^2 + (X_1 + X_2^1)^2}} A \quad (2-30)$$

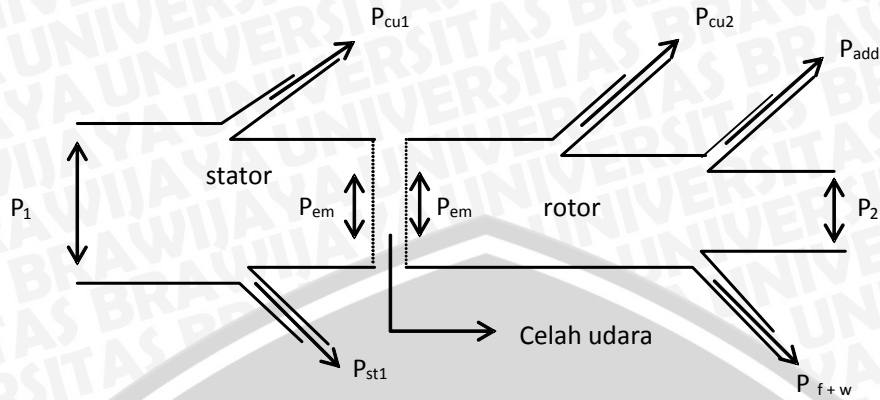
$$\tau_{em} = \frac{V_1^2 (R_2^1 / s)}{\omega_s (R_1 + R_2^1 / s)^2 + (X_1 + X_2^1)^2} N - m \quad (2-31)$$

dimana,

$$X = X_{BR} = (X_1 + X_2^1) \quad (2-32)$$

2.9. Effisiensi Motor Induksi

Aliran daya motor induksi seperti terlihat pada Gambar 2.13. Daya masukan pada motor induksi tidak semua digunakan untuk memutar rotor akan tetapi sebagian terbuang dalam bentuk rugi-rugi daya motor.



Gambar 2.13. Aliran Daya Motor Induksi

dimana,

- P_{in} : daya masukan
- P_{cu1} : rugi tembaga stator
- P_{st1} : rugi inti pada stator
- P_{em} : daya elektromagnetik yang dipindahkan dari stator ke rotor melalui celah udara
- P_{cu2} : rugi tembaga pada belitan rotor
- P_{add} : rugi tambahan (misal : rugi adanya distorsi dari bentuk gelombang input)
- P_{f+w} : rugi mekanis rotor (rugi gesekan dan rugi angin)
- P_2 : daya keluaran motor

$$P_{em} = P_1 - P_{cu1} - P_{st1} \tag{2-33}$$

Daya elektromagnetik P_{em} ditransfer dari stator ke rotor melalui celah udara apabila rugi-rugi pada rotor dianggap nol maka seluruh daya masuk diubah menjadi daya mekanis, tetapi karena pada rotor timbul aliran arus maka pada rotor juga terdapat rugi-rugi dan daya output rotor menjadi (P_2)

$$P_2 = P_{em} - P_{cu2} - P_{f+w} - P_{add} \tag{2-34}$$

Efisiensi dari motor induksi adalah perbandingan daya keluaran mekanik (P_2) dibagi daya masukan yang dinyatakan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{rugi} - \text{rugi}} \tag{2-35}$$

2.10. Daya Keluaran Motor Induksi 1 Fasa

Besarnya daya jangkar untuk mesin arus bolak – balik secara umum dapat ditentukan dengan persamaan : (Ak. Sawhney, 1990 : 456)

$$Q = m \times E_{ph} \times I_{ph} \times 10^{-3} \quad (2-36)$$

dengan, Q : daya jangkar (kVA)

m : jumlah fasa

E_{ph} : tegangan fasa (volt)

I_{ph} : arus fasa (A)

Untuk tegangan perfasa dari motor induksi ditentukan dengan persamaan : (Ak.Sawhney, 1990 : 456)

$$E_{ph} = 4,44 \times f \times \Phi_m \times T_{ph} \times K_w \quad (2-37)$$

dengan, f : frekuensi (Hz) Φ_m : fluksi (Wb)

T_{ph} : jumlah belitan perfasa K_w : faktor belitan

dengan memasukkan persamaan (2-36) ke persamaan (2-37) maka didapatkan persamaan :

$$\begin{aligned} Q &= m \times E_{ph} \times I_{ph} \times 10^{-3} \\ &= m \times 4,44 \times f \times \Phi_m \times T_{ph} \times K_w \times I_{ph} \times 10^{-3} \\ &= m \times 4,44 \times \left(\frac{p \times n_s}{2} \right) \times \Phi_m \times T_{ph} \times K_w \times I_{ph} \times 10^{-3} \\ &= 1,11 \times K_w \times (p \times \Phi_m) \times 2 \times m \times T_{ph} \times I_{ph} \times n_s \times 10^{-3} \\ &= 1,11 \times K_w \times (\text{Fluksi Total}) \times (\text{Konduktor arus total}) \times n_s \times 10^{-3} \end{aligned}$$

dengan, $p \times \Phi_m = \pi \times D \times L \times B_{av}$ dan $2 \times m \times T_{ph} \times I_{ph} = \pi \times D \times ac$

$$= 1,11 \times K_w \times B_{av} \times (\pi \times D \times L \times B_{av}) \times (\pi \times D \times ac) \times n_s \times 10^{-3}$$

$$= 11 \times K_w \times B_{av} \times ac \times D^2 \times L \times n_s \times 10^{-3}$$

dengan, $C_0 = 11 \times K_w \times B_{av} \times ac \times 10^{-3}$ (2-38)

$$Q = C_0 \times D^2 \times L \times n_s \quad (2-39)$$

dengan, B_{av} : kerapatan fluksi spesifik (Wb/m^2)

a_c : konduktor arus spesifik (A_k/m)

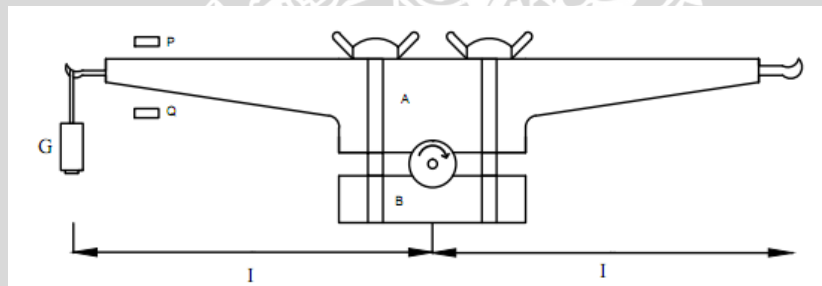
D : diameter stator (m)

n_s : kecepatan sinkron (rps)

Dari persamaan daya untuk mesin arus bolak – balik dapat diketahui bahwa dengan memperkecil nilai n_s maka nilai daya jangkar pada motor induksi semakin kecil pula. Dapat disimpulkan bahwa nilai n_s dengan nilai daya jangkar berbanding lurus.

2.11. Torsi Motor

Selain dengan menggunakan persamaan matematis, besar torsi motor dapat diketahui pula melalui pengujian. Pengujian tersebut dapat diperoleh dari motor yang dikopelkan langsung pada generator yang dibebani, hal ini biasa disebut dengan pengujian *Prony Brake*. Prinsip dari pengujian *Prony Brake* adalah pengereman poros output motor.



Gambar 2.14. Rangkaian Pengujian *Prony Brake*

Sumber : Sujud, 1953 : 191

Dari Gambar 2.14 dapat dijelaskan bahwa poros motor dipasang roda pengerem yang diliputi dua lengan rem A dan B. Dengan bantuan dua baut yang ada mur sayapnya sehingga tekanan lengan rem dapat diatur. Lengan A dapat bergerak keatas dan kebawah antara titik P dan Q. Di ujung lengan digantungkan sebuah pemberat sehingga ketika motor itu berhenti kedua lengan tersebut setimbang. Jika motor berputar menurut arah anak panah dan rem terbawa oleh arah putar motor sehingga lengan sebelah kiri tertekan pada penampang P. Makin keras mur bersayap tersebut dikencangkan atau semakin kuat pengereman, maka semakin besar pula arus yang terpakai. Tekanan lengan rem sedemikian rupa sehingga besar arus yang mengalir pada motor nilainya berubah.

Kemudian lengan rem dipasang sebuah timbangan G. Nilai torsi yang didapatkan adalah :

$$\tau_m = F.l \text{ (N-m)} \tag{2 - 40}$$

dimana,

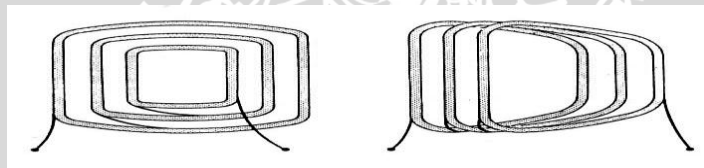
τ_m : Torsi motor (N-m)

F : Gaya yang bekerja saat pengereman (N)

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

2.12. Belitan Stator

Belitan stator terdiri atas sejumlah belitan yang diletakkan dalam alur-alur inti stator. Pada motor induksi satu fasa ada dua jenis belitan yang terletak pada stator yaitu belitan utama dan belitan bantu. Bentuk belitan stator motor induksi terdiri dari 2 (dua) macam yaitu belitan terpusat dan belitan terdistribusi seperti pada Gambar 2.15.



a. Belitan Terpusat

b. Belitan Terdistribusi

Gambar 2.15. Bentuk Belitan Stator

Sumber : Wilkinson, 1991 : 14

Jumlah belitan stator dapat ditentukan dari persamaan :

$$Tm = \frac{E}{4,44 \times f \phi_m \times Kw} \tag{2-41}$$

dimana : E : Tegangan induksi stator

f : frekuensi

ϕ_m : Fluksi perkutub belitan utama

Kw : faktor belitan (0,955)

Untuk menentukan fluksi perkutub adalah :

$$\phi_m = B_{av} \times \tau \times L \tag{2-42}$$

dengan kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi \times D_s}{p} \quad (2-43)$$

dimana, B_{av} : kerapatan fluksi

τ : kisar kutub

D_s : diameter stator

L : Panjang stator

p : jumlah kutub

2.13. Konduktor Stator

Pada kondisi normal, yaitu untuk mesin standar kerapatan arus pada konduktor stator biasanya berkisar antara 3 sampai 4 A/mm² (Sawhney, 1970 : 694), maka arus pada stator adalah :

$$I_s = \frac{P_{out}}{V \times \eta \times \cos \phi} \quad (2-44)$$

dan luas penampang konduktor stator dapat ditentukan yaitu :

$$a_s = \frac{I_s}{\delta_s} \quad (2-45)$$

dimana, δ_s : kerapatan arus

2.14. Alur Stator

Ada dua jenis alur stator yaitu jenis setengah tertutup dan jenis terbuka. Alur jenis setengah tertutup digunakan pada motor-motor berkapasitas rendah dan sedang, alur jenis terbuka untuk motor-motor dengan kapasitas sedang sampai besar.

Secara umum untuk menentukan jumlah alur stator, ditentukan oleh jumlah alur per kutub / fasa. Sedangkan kisar alur untuk permukaan celah udara untuk jenis alur terbuka antara 15 sampai 25 mm dan untuk jenis setengah tertutup bisa lebih kecil dari 15 mm (Sawhney, 1970 : 604).

Besarnya kisar alur dihitung dengan rumus :

$$Y_{ss} = \frac{\pi \times D}{S_s} \quad (2-46)$$

dimana, S_s : jumlah alur stator

Sedangkan jumlah konduktor stator untuk motor induksi satu fasa :

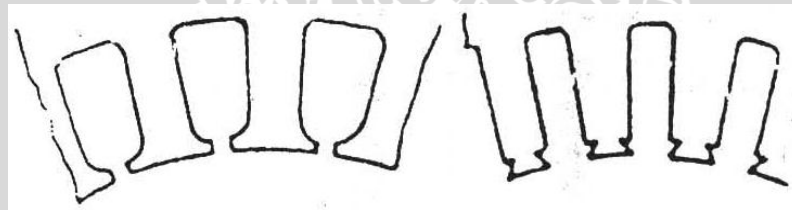
$$Z_{ss} = \frac{2T_m}{S_s} \quad (2-47)$$

penampang alur dapat dihitung :

$$\frac{Z_{ss} \times a_s}{S_f} \quad (2-48)$$

dimana, Z_{ss} : penampang konduktor peralur
 a_s : luas penampang konduktor (mm^2)
 S_f : faktor permukaan (antara 0,6 sampai 0,75).

Lebar alur harus diperhitungkan, karena kerapatan fluksi digigi alur antara 0,9 sampai 1,4 Wb/m^2 . Bentuk alur stator umumnya seperti terlihat pada Gambar 2.16.



a. Alur Setengah Tertutup b. Alur Terbuka

Gambar 2.16. Bentuk Alur
 Sumber : Sawhney, 1990 : 604

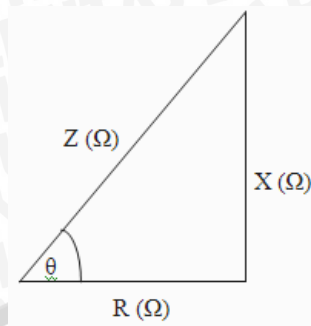
Panjang kumparan utama (Sawhney, 1970 : 698) :

$$L_{ml} = \left\{ 8,4 \frac{D + d_{ss}}{S_s} \times \text{slot spanned} \right\} + 2L \quad (2-49)$$

2.15. Penentuan Nilai Kapasitor

Dalam pengoperasiannya motor induksi memerlukan alat bantu sebagai alat bantu *starting*. Adapun salah satunya bisa menggunakan kapasitor untuk mendapatkan beda fasa sebesar 90° . Kapasitor tersebut diseri dengan kumparan bantu.

Untuk mendapatkan nilai kapasitor yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menggunakan segitiga impedansi seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Segitiga Impedansi

Sumber : Budiono, 1995 :155

$$\theta = \text{arc tan } (X/R) \quad (2-50)$$

Agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\theta' = 90^\circ - \theta \quad (2-51)$$

Untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

$$X' = (\tan \theta') R \quad (2-52)$$

Maka nilai X_C yaitu :

$$X_C = X + X' \quad (2-53)$$

Nilai kapasitor yang dibutuhkan :

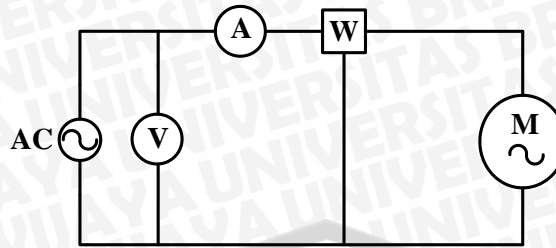
$$C = \frac{1}{2 \pi f X_C} \text{ (F)} \quad (2-54)$$

2.15. Penentuan Parameter Motor Induksi Satu Fasa

Parameter motor induksi satu fasa dapat diperoleh dari hasil pengujian tanpa beban, pengujian rotor ditahan dan pengukuran tahanan dc pada belitan stator.

2.15.1. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban pada motor induksi satu fasa dapat memberikan keterangan mengenai arus penguatan dan rugi-rugi tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan satu fasa pada terminal stator.



Gambar 2. 18. Rangkaian Pengujian Tanpa Beban

Rangkaian pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. Pada keadaan saat tanpa beban, arus rotor sangat kecil dan hanya dipergunakan untuk mengatasi gesekan. Oleh karena itu, rugi tembaga pada rotor nilainya kecil dan dapat diabaikan. Sedangkan rugi tembaga pada bagian stator cukup besar, karena arus penguatan yang cukup besar.

Pada keadaan tanpa beban, maka daya masuk P_o terpakai untuk :

$$P_o = P_c + P_{f+w} + (I_1)^2 R_1 \quad (2-55)$$

dengan, P_c : rugi inti besi

P_{f+w} : rugi gesekan dan angin

$(I_1)^2 R_1$: rugi tembaga stator

Besarnya rugi-rugi yang tetap (rugi inti besi dan gesekan angin) yang tidak tergantung pada perubahan beban motor adalah.

$$P_c + P_{f+w} = P_o - (I_1)^2 R_1 \quad (2-56)$$

Pada keadaan tanpa beban, slip motor induksi sangat kecil, sehingga nilai tahanan rotor R_2/s sangat besar, hal ini menyebabkan nilai paralel X_m dan R_2 sangat mendekati nilai X_m . Hal ini mengakibatkan, reaktansi X_{n1} yang terukur pada terminal stator keadaan tanpa beban menjadi mendekati $X_1 + X_m$, yang merupakan reaktansi dari stator yaitu :

$$X_{11} = X_1 + X_m = X_{n1} \quad (2-57)$$

Untuk motor induksi satu fasa statornya besar impedansi tanpa beban Z_{n1} adalah :

$$Z_{n1} = \frac{V_{n1}}{I_{n1}} \quad (2-58)$$

dengan, V_{n1} : tegangan masukan stator pada pengujian tanpa beban

I_{n1} : arus stator saat pengujian tanpa beban

Besar tahanan tanpa beban R_{n1} adalah :

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2} \tag{2-59}$$

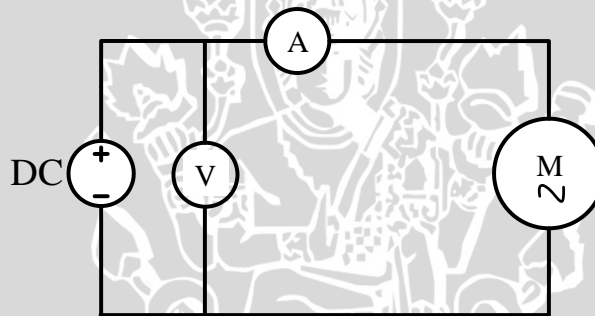
Besar reaktansi tanpa beban X_{nl} adalah :

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \tag{2-60}$$

2.15.2. Pengujian Tahanan DC Stator

Pengujian untuk R_1 tidak tergantung pada R_2 , X_1 , dan X_2 . Tegangan dc dicatukan pada belitan stator, karena arus dc maka tidak ada tegangan induksi pada rotor dan reaktansi motor nol.

Sumber dc dihubung pada dua dari tiga terminal yang terhubung bintang atau pada dua terminal belitan tiap fasa, seperti pada Gambar 2.19. Arus yang masuk disesuaikan dengan nilai rating dan tegangan antara terminal kemudian diukur.



Gambar 2.19. Rangkaian Pengujian DC

Arus akan mengalir pada belitan maka total tahanan yang dialiri arus adalah :

$$R_1 = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \tag{2-61}$$

dengan

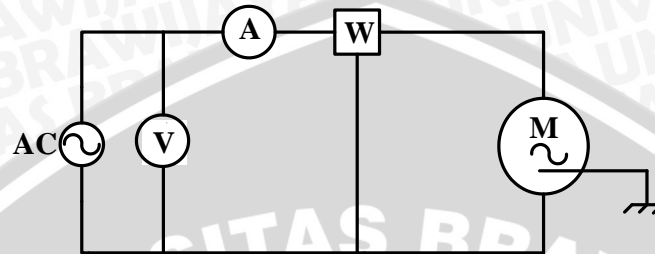
V_{dc} : tegangan masukan terminal

I_{dc} : arus yang mengalir pada belitan

R_1 : tahanan belitan stator diukur pada terminal kumparan utama/bantu.

2.15.3. Pengujian Rotor Ditahan

Pengujian rotor ditahan pada motor induksi satu fasa dilakukan dengan cara tidak menambahkan alat bantu starting agar rotor tidak berputar, seperti pada Gambar 2.20. Walaupun dicatu tegangan bolak-balik satu fasa pada statornya.



Gambar 2.20. Rangkaian Pengujian Rotor Ditahan

Dari hasil pengujian rotor tertahan, arus jangkar nominal (I_{nom}), untuk tegangan jangkar (V_{sc}) dan daya masukan (P_{sc}) yang tertera pada wattmeter dicatat, sehingga dapat dihitung besarnya nilai : (Rakosh Das Begamudre, 1988 : 297)

$$R_{BR} = \frac{P_{sc}}{I_{nom}^2} \quad (2-62)$$

$$Z_{BR} = \frac{V_{sc}}{I_{nom}} \quad (2-63)$$

$$X_{BR} = \sqrt{(Z_{BR})^2 - (R_{BR})^2} \quad (2-64)$$

Apabila arus penguatan I_0 dapat diabaikan, maka besar reaktansi rotor ditahan X_{br} sama dengan jumlah reaktansi bocor stator X_1 dan rotor X_2 .

Untuk mencari nilai R_c dan X_m dapat dicari dengan persamaan : (Rakosh Das Begamudre, 1988 : 298)

$$R_c = \frac{(R_{nl} - R_1)^2 + (X_{nl} - X_1)^2}{R_{nl} - R_1} \quad (2-65)$$

$$X_m = \frac{(R_{nl} - R_1)^2 + (X_{nl} - X_1)^2}{X_{nl} - X_1} \quad (2-66)$$

Sedangkan pada pengujian rotor tertahan, tahanan tertahan R_{br} dapat dihitung menggunakan hubungan yang mirip dengan persamaan (2-58). Tahanan R adalah selisih antara tahanan tertahan R_{br} dan tahanan stator R_1 yang nilainya sebesar.

$$R = R_{br} - R_1 \quad (2-67)$$

Dari rangkaian pengganti, dengan $s = 1$, maka tahanan R merupakan kombinasi paralel antara $R_2' + jX_2'$ dan jX_m .

$$R = R_2^1 \frac{X_m}{(R_2^1)^2 + (X_{22})^2} R_2^1 \left(\frac{X_m}{X_{22}} \right)^2 \tag{2-68}$$

dengan $X_{22} = X_2^1 + X_m$ merupakan reaktansi diri rotor. Persamaan (2-67) diatas merupakan pendekatan dengan menganggap $X_{22} > 10 R_2^1$, sehingga terjadi kesalahan kurang dari 1%. (Fitzgerald et al, 1990 : 464).

Persamaan di atas dapat di selesaikan untuk R_2^1 , sehingga menjadi :

$$R_2^1 = R \left(\frac{X_{22}}{X_m} \right)^2 = R \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2 \tag{2-69}$$

Dengan demikian parameter motor, yaitu R_1 , X_1 , R_2^1 , X_2^1 dapat ditentukan, sehingga penampilan motor pada keadaan berbeban dapat di hitung.

Tabel 2.1. Pembagian reaktansi bocor motor induksi secara empiris

Jenis Motor Induksi		$\frac{X_1}{X_1 + X_2^1}$	$\frac{X_2^1}{X_1 + X_2^1}$
1.	Motor induksi 3 fasa rotor sangkar		
	Klas A	0,5	0,5
	Klas B	0,4	0,6
	Klas C	0,3	0,7
	Klas D	0,5	0,5
2.	Motor induksi 3 fasa rotor belitan	0,5	0,5

Sumber : Fitzgerald, 1990 : 46

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

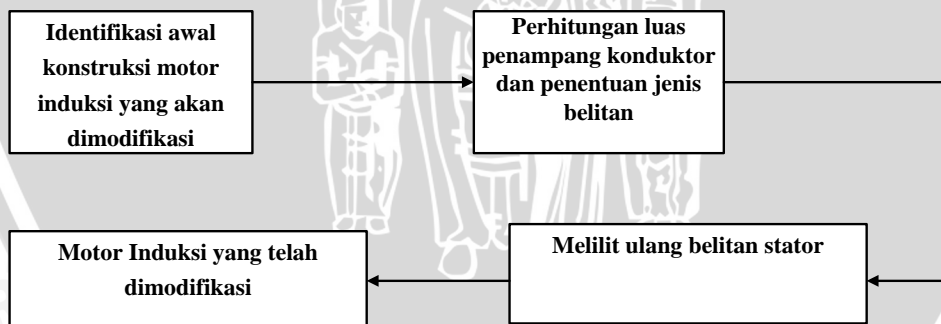
Metode penelitian untuk melakukan perancangan modifikasi jumlah kutub motor induksi 1 fasa ini dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

3.1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilaksanakan berupa kajian pustaka terhadap sumber-sumber bacaan yang relevan sehingga mampu menunjang dalam proses analisis dan perancangan pengaruh modifikasi jumlah kutub pada motor induksi satu fasa rotor sangkar terhadap perubahan torsi dan daya. Studi literatur yang diperlukan sebagai bahan acuan dalam proses perancangan seperti mempelajari prinsip kerja motor induksi satu fasa, medan bolak – balik, rangkaian ekuivalen motor induksi satu fasa, daya motor induksi, konstruksi motor induksi satu fasa, dan perancangan kumparan pada stator.

3.2. Perancangan Modifikasi Motor Induksi Satu Fasa

Blok diagram modifikasi jumlah kutub motor induksi :



Gambar 3.1. Blok Diagram Modifikasi Jumlah Kutub Motor Induksi

Penjelasan blok diagram :

- a. Identifikasi awal konstruksi motor induksi yang akan dimodifikasi

Setelah didapatkan motor induksi yang akan dimodifikasi data awal yang dibutuhkan pada perancangan alat yaitu mendapatkan data *name-plate* dari

motor induksi dan bentuk laminasi inti besi yang akan dimodifikasi. Data tersebut meliputi daya output (Watt), arus (Ampere), tegangan kerja (Volt) putaran rotor (rpm), tipe laminasi, faktor daya ($\cos \phi$), dan frekuensi (Hz) serta konstruksi motor meliputi dimensi utama (D dan L), luas alur stator, kisar alur stator, gigi stator, dan jumlah alur pada stator motor induksi yang akan dimodifikasi.

b. Penentuan jenis belitan perhitungan luas penampang konduktor

Sebelum melakukan melilit ulang atau memodifikasi jumlah kutub pada motor induksi harus ditentukan terlebih dahulu jumlah kutub pada motor induksi yang akan dimodifikasi serta dilakukan perhitungan untuk menentukan luas penampang konduktor kumparan pada stator motor induksi serta jenis belitannya yang disesuaikan dengan jumlah alur luas alur pada stator.

c. Lilit ulang belitan stator

Setelah itu bisa dilakukan lilit ulang belitan pada stator dengan menggunakan konduktor dengan diameter dan jenis belitan yang telah ditentukan sebelumnya

d. Motor induksi yang telah dimodifikasi

Setelah melakukan melilit ulang atau memodifikasi jumlah kutub pada motor induksi telah didapatkan motor induksi baru dengan perubahan jumlah kutubnya yang berada pada stator motor induksi satu fasa.

3.3. Pengujian Unjuk Kerja Motor Induksi Hasil Modifikasi

Pengujian yang dilakukan pada motor induksi 1 fasa yang telah dimodifikasi yaitu pengujian pengujian rotor ditahan, pengujian tanpa beban, dan pengujian berbeban.

3.3.1. Pengujian DC

Pengujian DC dilakukan dengan cara mencatatkan sumber tegangan DC pada kumparan stator yang kemudian dicatat nilai tegangan (V_{DC}) dan arusnya (I_{DC}) hal ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai tahanan pada stator (R_1).

3.3.2. Pengujian Rotor Ditahan

Pengujian rotor ditahan dimaksudkan untuk mengetahui parameter pada kumparan stator motor induksi antara R_{BR} , X_{BR} , dan Z_{BR} . Ketiga parameter tersebut juga digunakan

untuk mendapatkan nilai kapasitor yang akan dirangkai seri pada kumparan bantu agar diperoleh beda fasa 90° antara arus pada kumparan utama dan arus pada kumparan bantu.

3.3.3. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban dilakukan dengan cara mencantumkan tegangan satu fasa seimbang (220 V) pada terminal stator. Parameter yang didapat dari pengujian ini yaitu daya *input* motor tanpa beban (P_{nl}), arus yang mengalir pada motor (I_{nl}), dan tegangan catu dari sumber bolak – balik satu fasa (V_{nl}).

3.3.4. Pengujian Berbeban

Data yang akan dicari pada pengujian berbeban yaitu besar daya keluaran motor (P_{out}) dan besar torsi yang dibangkitkan oleh motor (τ_m). Metode yang digunakan untuk mengetahui besar torsi motor yaitu dengan rem mekanik yang sesuai dengan metode *Prony Brake*. Adapun alat sebagai rem mekanik disini adalah Generator DC berbeban.

3.4. Pengambilan Data Parameter Motor Induksi Hasil Modifikasi

Data yang didapatkan dari pengujian DC, pengujian tanpa beban, dan pengujian rotor ditahan meliputi nilai R_1 , X_1 , R_c , X_m , R_2^1 , dan X_2^1 pada motor induksi yang telah dimodifikasi/ dililit ulang.

3.5. Perhitungan dan Analisis Data

Perhitungan dan analisis data dilakukan setelah pengujian untuk mendapatkan parameter motor induksi. Analisis yang akan dilakukan meliputi :

1. Besar perubahan daya keluaran setelah jumlah kutub dimodifikasi
2. Besar perubahan torsi motor setelah jumlah kutub dimodifikasi

3.6. Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan pengujian dan pengambilan data terhadap motor induksi satu fasa yang telah dimodifikasi, tahap selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan dari keseluruhan sistem yang telah dibuat. Tahap terakhir adalah penulisan saran dalam penyusunan laporan penelitian ini, saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-

kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian untuk pengembangan di masa mendatang.



BAB IV

MODIFIKASI JUMLAH KUTUB MOTOR INDUKSI

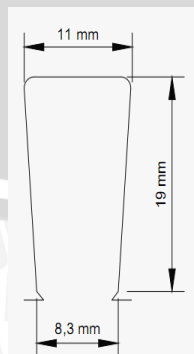
4.1. Modifikasi Motor Induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW

4.1.1. Dasar Modifikasi

Dalam modifikasi sebuah motor induksi, yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah fungsi dari motor dan dayanya. Dalam modifikasi ini, hanya bagian belitan stator motor induksi 3 fasa yang dimodifikasi dengan tujuan merubah jumlah kutub motor induksi 3 fasa tersebut menjadi motor induksi 1 fasa dari 2 kutub menjadi 8 kutub, tanpa merubah dimensi stator maupun rotornya. Berikut ini data yang digunakan untuk modifikasi adalah motor induksi 3 fasa seperti dibawah ini.

- Daya keluaran	P	: 4 kW
- Tegangan	V	: 400/230 V
- Arus nominal	I	: 13,5/7,8 A
- Frekuensi	f	: 50 Hz
- Putaran	n	: 2850 rpm
- Diameter stator	D	: 89 mm
- Panjang stator	L	: 84 mm
- Jumlah alur	S	: 24
- Jumlah kutub	p	: 2
- Merek		: SAMMER

4.1.2. Dimensi Alur



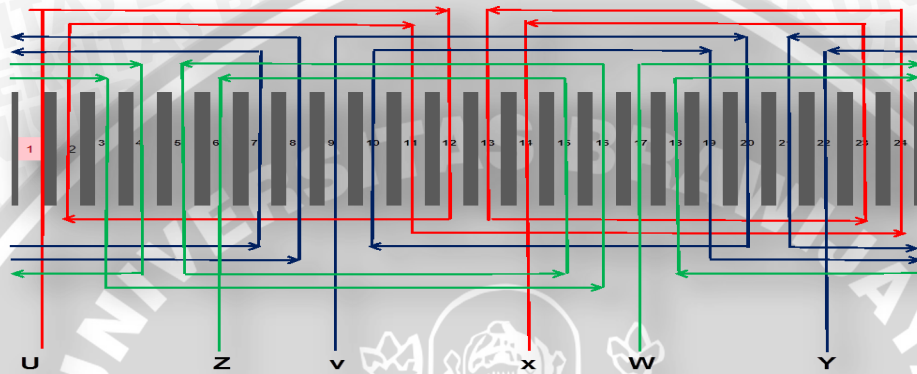
Gambar 4.1. Bentuk Alur Stator

Luas alur stator :

$$a_s = \frac{19}{2}(8,3+11)$$

$$= 183,35 \text{ mm}^2$$

4.1.3. Kumparan Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW Sebelum Dimodifikasi



Gambar 4.2. Kumparan Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW Jenis Terpusat

Sebelum dilakukan modifikasi belitan stator motor induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW didapatkan model belitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 yang mana dari data tersebut dapat diketahui jumlah kutub sebanyak 2 buah dengan jenis belitan terpusat dengan 28 konduktor tiap alur.

4.1.4. Perhitungan Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW

Dari data yang didapat dari *name-plate* motor induksi yang dimodifikasi, dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan modifikasi belitan stator motor induksi 1 fasa dari motor induksi 3 fasa untuk jumlah kutub dari kutub 2 menjadi 8 kutub yang dapat merubah nilai putaran medan putar motor induksi (n_s) menjadi seperempat kali dari nilai sebelumnya.

Dengan jumlah kutub sebanyak 2 buah, kecepatan medan putar motor induksi 3 fasa sebelum dimodifikasi sebesar, $n_s = 3000 \text{ rpm}$, setelah dirubah jumlah kutub motor induksi 3 fasa menjadi 8 kutub maka nilai kecepatan medan putarnya sebesar, $n_s = 750 \text{ rpm}$. Dari nilai kecepatan medan putar (n_s) motor induksi yang telah termodifikasi dapat diketahui nilai daya keluarannya, dimana daya keluaran motor induksi berbanding lurus dengan nilai

putaran medan putar motor (n_s). Sehingga jika menaikkan jumlah kutub pada stator akan menurunkan nilai daya keluarannya.

$$P_{\text{out}} = Q = C_0 \times D^2 \times L \times n_s \quad \text{watt}$$

Oleh karena itu daya motor induksi yang telah dimodifikasi menjadi seperempat dari daya keluaran motor induksi sebelum dimodifikasi dengan nilai D , L , dan C_0 yang tetap.

Daya untuk motor induksi 3 fasa adalah 3/2 kali dari daya motor induksi 1 fasa (Sawhney, 1990 : 694), maka nilai daya motor induksi 1 fasa yang dimodifikasi adalah :

$$P_{\text{out}} \text{ Motor Induksi 3 fasa} = 3/2 P_{\text{out}} \text{ Motor Induksi 1 fasa}$$

$$1000 \text{ watt} = 3/2 P_{\text{out}} \text{ Motor Induksi 1 fasa}$$

$$P_{\text{out}} \text{ Motor Induksi 1 fasa} = 666,67 \text{ watt}$$

Dari tabel efisiensi dan faktor daya (Sawhney, 1990 : 602), untuk motor induksi 1 fasa, rotor sangkar 8 kutub adalah :

Tabel 4.1. Efisiensi dan Faktor Daya

<i>Pout (kW)</i>	<i>Efisiensi (η)</i>	<i>Cos ϕ</i>
2,2	0,75	0,66
3,7	0,81	0,69

Sumber : Sawhney, 1990 : 602

Dengan metode interpolasi, maka efisiensi dan $\cos \phi$ untuk daya output 666,67 watt adalah :

$$\eta = 0,68 \text{ dan } \cos \phi = 0,63$$

Daya input motor induksi yang termodifikasi adalah :

$$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{out}}}{\eta} = \frac{666,67}{0,68} = 980,39 \text{ watt}$$

Sedangkan untuk motor induksi 1 fasa, arus yang mengalir pada kumparan stator adalah :

$$I = \frac{P_{\text{in}}}{V \times \cos \phi} = \frac{980,39}{220 \times 0,63} = 7,07 \text{ A}$$

Dari tabel *Specific Loadings* (Sawhney, 1990 : 469) untuk motor induksi rotor sangkar nilai B_{av} , a_c , dan δ adalah :

Tabel 4.2. Tabel *Specific Loadings*

D (m)	Bav	ac	δ
0,1	0,3	11000	4
0,15	0,35	15000	3,7
0,2	0,4	18000	3,6

Sumber : Sawhney, 1990 : 469

Pada modifikasi jumlah kutub ini nilai Bav , ac , dan δ pada motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan nilai diameter stator (D) 89 mm adalah :

$$Bav = 0,4$$

$$ac = 18000$$

$$\delta = 3,6$$

Nilai Bav yang ditentukan diatas tetap memenuhi syarat karena nilai kerapatan fluksi maksimal tidak lebih dari 1,2 weber/cm².

4.1.4.1. Jumlah Alur Stator Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW

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

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

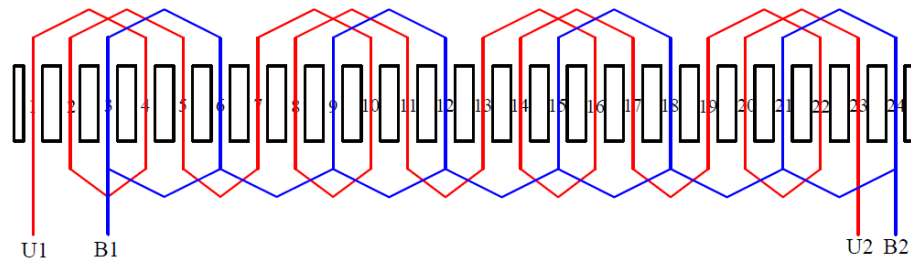
Sehingga kisar alur stator dapat ditentukan sebagai berikut :

$$Y_{ss} = \frac{\pi \times x \times D}{S_s} = \frac{3,14 \times x \times 89}{24} = 11,64 \text{ mm}$$

Untuk motor induksi 1 fasa, pada stator akan terdapat 2 jenis kumparan, yaitu kumparan utama dan bantu. Pada umumnya kumparan utama menempati $\frac{2}{3}$ bagian dan kumparan bantu menempati $\frac{1}{3}$ bagian dari seluruh alur yang ada, maka:

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

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



Gambar 4.3. Rancangan Kumbaran Model Terpusat pada Stator

4.1.4.2. Modifikasi Kumbaran Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW

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 $L = 84 \text{ mm} = 0,084 \text{ m}$, maka nilai fluksi per kutub adalah :

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

$$= 0,4 \frac{3,14 \cdot 0,089 \cdot 0,084}{8} = 1,17 \times 10^{-3} \text{ weber}$$

Dengan demikian jumlah lilit kumbaran utama (T_m) adalah :

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

$$= \frac{209}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,0017 \cdot 0,955}$$

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

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 :

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

$$Z_{ss} = \frac{2T_m}{S_s}$$

$$= \frac{1600}{16}$$

$$= 100 \text{ konduktor/alur}$$

4.1.4.3. Ukuran Konduktor Modifikasi Kumparan Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa

4 kW

Arus konduktor pada kumparan utama :

$$I_s = \frac{P}{V \eta \cos \varphi}$$

$$= \frac{666,67}{220 \cdot 0,68 \cdot 0,63}$$

$$= 7,073 \text{ A}$$

Luas penampang konduktor stator :

$$a_m = \frac{I_s}{\delta}$$

$$= \frac{7,073}{3,6}$$

$$= 1,96 \text{ mm}^2$$

Diameter konduktor

$$a_m = \frac{1}{4} \pi d^2$$

maka,

$$d = \sqrt{\frac{4 a_m}{\pi}}$$

$$= 1,58 \text{ mm}$$

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 antara 0,6 sampai 0,75.

$$\text{Luas penampang alur } (a_s) = \frac{\text{Penampang tembaga alur } (Z_{SS})}{\text{Faktor permukaan } (S_f)}$$

Faktor permukaan diambil = 0,7

$$\text{Jadi } a_s = \frac{Z_s}{S_f} = \frac{113,4}{0,7} = 162 \text{ mm}^2.$$

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

yang mana kisar kutub :

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

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

$$= 0,4862 \text{ m}$$

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 0,6 sampai 0,75.

$$\text{Luas penampang alur } (a_s) = \frac{\text{Penampang tembaga alur } (Z_{ss})}{\text{Faktor permukaan } (S_f)}$$

Faktor permukaan diambil = 0,7

$$\text{Jadi } a_s = \frac{Z_s}{S_f} = \frac{56,7}{0,7} = 81 \text{ mm}^2.$$

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

yang mana kisar kutub :

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

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

$$= 0,4862 \text{ m}$$

Untuk modifikasi motor induksi 3 fasa jumlah kutub 2 kutub dengan 28 konduktor per alur menjadi motor induksi 1 fasa dengan kutub 8 maka pola belitan harus dirubah menjadi 100 konduktor per alur yang seharusnya 112 konduktor per alur karena disesuaikan dengan luas penampang alur, konduktor yang digunakan mempunyai diameter 0,85 mm rangkap 2 pada kumparan utama yang menempati 16 alur stator dan 0,85 mm pada kumparan bantu yang menempati 8 alur stator dengan jenis belitan terpusat.

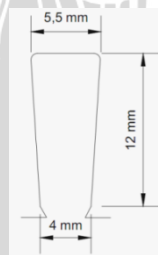
4.2. Modifikasi Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

4.2.1. Dasar Modifikasi

Dalam modifikasi sebuah motor induksi, yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah fungsi dari motor dan dayanya. Dalam modifikasi ini, hanya memodifikasi bagian belitan stator motor induksi 1 fasa dengan tujuan merubah jumlah kutub motor induksi 1 fasa dari 4 kutub menjadi 8 kutub, tanpa merubah dimensi stator maupun rotornya. Berikut ini data yang digunakan untuk modifikasi adalah motor induksi 1 fasa seperti dibawah ini.

- Daya keluaran	P	: 2 Hp
- Tegangan	V	: 110/220 V
- Arus nominal	I	: 27/13,5 A
- Frekuensi	f	: 50 Hz
- Putaran	n	: 1440 rpm
- Diameter stator	D	: 100 mm
- Panjang stator	L	: 120 mm
- Jumlah alur	S	: 36
- Jumlah kutub	p	: 4
- Merek		: ALDO

4.2.2. Dimensi Alur Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

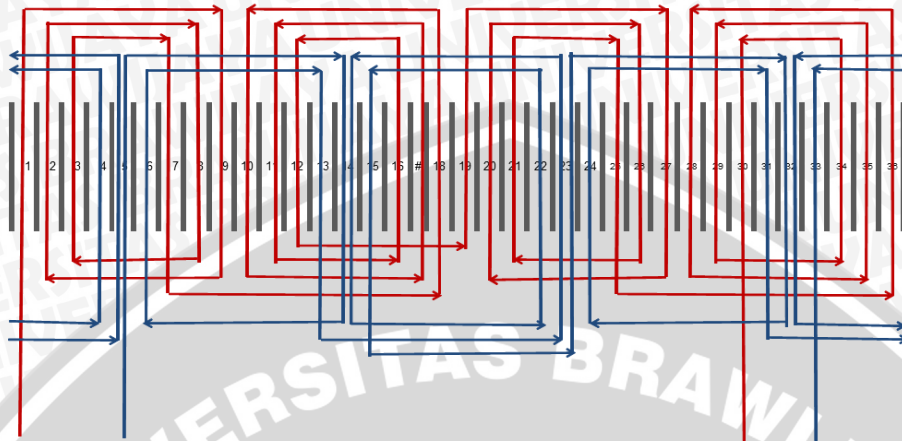


Gambar 4.4. Bentuk Alur Stator Motor Induksi 2 Hp

Luas alur stator :

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

4.2.3. Kumparan Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Sebelum Dimodifikasi



Gambar 4.5. Kumparan Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Jenis Terbagi

Sebelum dilakukan modifikasi belitan stator motor induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp didapatkan model belitan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 yang mana dari data tersebut dapat diketahui jumlah kutub sebanyak 4 buah dengan jenis belitan terbagi dengan 15 konduktor tiap alur.

4.2.4. Perhitungan Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

Dari data yang didapat dari *name-plate* motor induksi yang dimodifikasi, dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan modifikasi belitan stator motor induksi 1 fasa dari kutub 4 menjadi 8 yang dapat merubah nilai putaran medan putar motor induksi (n_s) menjadi setengah kali dari nilai sebelumnya.

Dengan jumlah kutub 4, kecepatan medan putar motor induksi 1 fasa sebelum dimodifikasi sebesar, $n_s = 1500$ rpm, setelah dirubah jumlah kutub motor induksi 1 fasa menjadi 8 kutub maka nilai kecepatan medan putarnya sebesar, $n_s = 750$ rpm. Dari nilai kecepatan medan putar (n_s) motor induksi yang telah termodifikasi dapat diketahui nilai daya keluarannya, dimana daya keluaran motor induksi berbanding terbalik dengan nilai putaran medan putar motor (n_s). (Sawhney, 1990 : 692).

$$P_{out} = Q = C_0 \times D^2 \times L \times n_s$$

Oleh karena itu daya motor induksi yang telah dimodifikasi menjadi setengah dari daya keluaran motor induksi sebelum dimodifikasi dengan nilai D , L , dan C_0 yang tetap.

Daya keluaran motor induksi 1 fasa yang akan dimodifikasi, $P_{out} = 1492$ watt, maka untuk daya motor induksi yang telah termodifikasi didapatkan daya keluaran motor induksi yang telah termodifikasi menjadi, $P_{out} = 746$ watt dengan dimensi motor yang tetap.

Dari tabel efisiensi dan faktor daya (Sawhney, 1990 : 602), untuk motor induksi 1 fasa, rotor sangkar 8 kutub adalah :

Tabel 4.3. Efisiensi dan Faktor Daya

P_{out} (kW)	Efisiensi (η)	$\text{Cos } \phi$
2,2	0,75	0,66
3,7	0,81	0,69

Sumber : Sawhney, 1990 : 602

Dengan metode interpolasi, maka efisiensi dan $\text{cos } \phi$ untuk daya output 746 watt adalah :

$$\eta = 0,68 \text{ dan } \text{cos } \phi = 0,63$$

Daya input motor induksi yang termodifikasi adalah :

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{746}{0,68} = 1.097,05 \text{ watt}$$

Sedangkan untuk motor induksi 1 fasa, arus yang mengalir pada kumparan stator adalah :

$$I = \frac{P_{in}}{V \times \text{Cos } \phi} = \frac{1.097,05}{220 \times 0,63} = 7,91 \text{ A}$$

Pada modifikasi jumlah kutub ini nilai B_{av} , ac , dan δ pada motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan nilai diameter stator (D) 100 mm adalah :

$$B_{av} = 0,4$$

$$ac = 18000$$

$$\delta = 3,6$$

Nilai B_{av} yang ditentukan diatas tetap memenuhi syarat karena nilai kerapatan fluksi maksimal tidak lebih dari 1,2 weber/cm².

4.2.4.1. Jumlah Alur Stator Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

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.

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

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

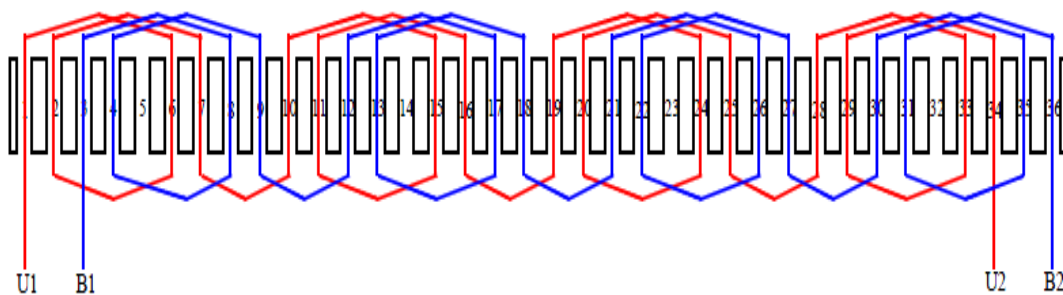
$$\text{Jumlah kumparan utama} : \frac{1}{2} \times 36 = 18 \text{ alur}$$

$$\text{Jumlah kumparan bantu} : \frac{1}{2} \times 36 = 18 \text{ alur}$$

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 :

$$\text{Jumlah kumparan utama} : \frac{1}{2} \times 32 = 16 \text{ alur}$$

$$\text{Jumlah kumparan bantu} : \frac{1}{2} \times 32 = 16 \text{ alur}$$



Gambar 4.6. Rancangan Kumparan Model Terpusat pada Stator

4.2.4.2. Modifikasi Kumparan Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

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 $L = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$, maka nilai fluksi per kutub adalah :

$$\begin{aligned}\Phi_m &= B_{av} \frac{\pi D L}{p} \\ &= 0,4 \frac{3,14 \times 0,1 \times 0,12}{8} \\ &= 0,001884 = 1,884 \times 10^{-3} \text{ weber}\end{aligned}$$

Dengan demikian jumlah lilit kumparan utama (T_m) adalah :

$$\begin{aligned}T_m &= \frac{E}{4,44 f \Phi_m K_{wm}} \\ &= \frac{209}{4,44 \times 50 \times 0,001884 \times 0,955} \\ &= 524,36 \approx 524 \text{ lilitan}\end{aligned}$$

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

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

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 :

$$8 \times 54 = 432 \text{ lilit}$$

$$Z_{ss} = \frac{2T_m}{S_s}$$

$$= \frac{864}{16}$$

$$= 54 \text{ konduktor/ alur}$$

4.2.4.3. Ukuran Konduktor Modifikasi Motor Induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp

Arus konduktor pada kumparan utama :

$$I_s = \frac{P}{V \eta \cos \varphi}$$

$$= \frac{746}{220 \cdot 0,68 \cdot 0,63} = 7,091A$$

Luas penampang konduktor stator :

$$a_m = \frac{I_s}{\delta}$$

$$= \frac{7,091}{3,6}$$

$$= 1,97 \text{ mm}^2$$

Diameter konduktor

$$a_m = \frac{1}{4} \pi d^2$$

maka,

$$d = \sqrt{\frac{4 a_m}{\pi}}$$

$$= 1,58 \text{ mm}$$

Dalam perancangan ini nilai diameter konduktor yang digunakan adalah $d = 0,8 \text{ mm}$, karena disesuaikan dengan luas alur stator yang ada.

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 antara 0,6

sampai 0,75. Luas penampang alur (a_s) = $\frac{\text{Penampang tembaga alur } (Z_{ss})}{\text{Faktor permukaan } (S_f)}$.

Faktor permukaan diambil = 0,7

$$\text{jadi, } a_s = \frac{Z_s}{S_f} = \frac{27,108}{0,7} = 55,32 \text{ mm}^2.$$

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

yang mana kisar kutub :

$$\tau = \frac{\pi \times D}{p} = \frac{\pi \times 0,01}{8} = 0,0039 \text{ m}$$

$$\text{jadi, } L_{mts} = 2 \times 0,12 + 2,3 \times 0,0039 + 0,24 \\ = 0,5697$$

Untuk modifikasi motor induksi 1 fasa dengan jumlah kutub 4 dengan 15 konduktor per alur menjadi kutub 8 maka pola belitan harus dirubah menjadi 54 konduktor per alur yang seharusnya 60 konduktor per alur karena disesuaikan dengan luas penampang alur, konduktor yang digunakan mempunyai diameter 0,8 mm pada kumparan utama dan kumparan bantu yang mana masing - masing menempati 16 alur stator dengan jenis belitan terpusat.

BAB V PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Sasaran Pengujian

Pengujian motor induksi 1 fasa rotor sangkar hasil modifikasi, di lakukan di laboratorium mesin-mesin Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya ini meliputi :

- Pengujian tanpa beban
- Pengujian rotor ditahan
- Pengujian tahanan DC stator
- Pengujian berbeban

Sasaran yang akan dicapai dari pengujian motor ini adalah sebagai berikut :

- Mendapatkan nilai parameter motor.
- Menghitung besarnya rugi - rugi pada motor.
- Menghitung besarnya daya keluaran, torsi dan efisiensi dari motor.

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

Parameter motor dapat diperoleh dari hasil pengujian tanpa beban, pengujian rotor ditahan, dari pengujian dc untuk mengetahuireistansi tahanan belitan stator.

Tabel 5.1 sampai dengan 5.6 memperlihatkan data hasil pengujian yang telah dilakukan pada motor induksi 3 fasa 4 kW hasil modifikasi.

Tabel 5.1. Data Pengujian Tanpa Beban (Proses Motor Belum di Hubungkan pada Poros Generator)

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

Tabel 5.2. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Utama

No.	V_{BR} (volt)	I_{BR} (ampere)	P_{BR} (watt)
1.	143	3	70
2.	152	4	130

Tabel 5.3. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumparan Bantu

No.	V_{BR} (volt)	I_{BR} (ampere)	P_{BR} (watt)
1.	123	1,5	40
2.	147	2	65

Tabel 5.4. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Utama

No.	I_{dc} (ampere)	V_{dc} (volt)
1	3	16
2	4	22

Tabel 5.5. Data Hasil Pengujian dc pada Kumparan Bantu

No.	I_{dc} (ampere)	V_{dc} (volt)
1	1,5	16
2	2	21,5

Sedangkan pengujian berbeban, di lakukan dengan menggunakan beban generator DC penguatan terpisah dengan kapasitas. Pengujian berbeban seperti ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Data generator DC :

P : 5 kW

V : 220 V

n : 1500 rpm

I : 22,7 A

Isolasi kelas F

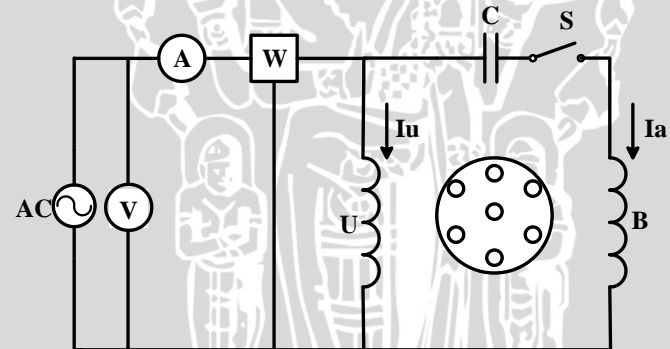
Tabel 5.6. Data Hasil Pengujian Berbeban

No.	V (V)	I (A)	I _b (A)	I _u (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

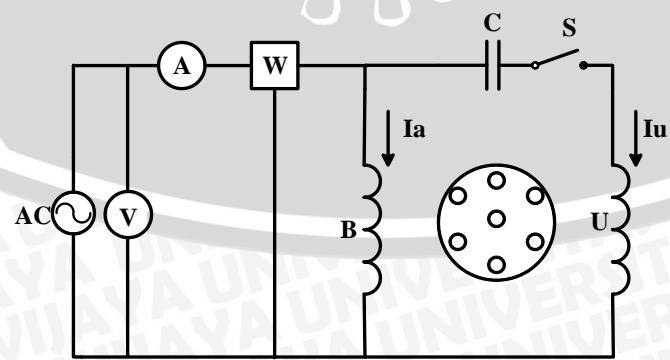
*) Data hasil perhitungan

5.2.1. Penentuan Nilai Kapasitor Motor Induksi 1 Fasa.

5.2.1.1. Rangkaian pengujian



Gambar 5.1. Rangkaian Pengujian Penentuan Nilai Kapasitor



Gambar 5.2. Rangkaian Pengujian Penentuan Nilai Kapasitor

5.2.1.2. Prosedur pengujian

- a. Penentuan nilai parameter kumparan utama
- b. Penentuan nilai parameter kumparan bantu dengan cara memilih nilai kapasitor start pada kumparan utama dengan cara peralatan dirangkai seperti pada Gambar 5.1 tanpa dihubungkan dengan beban. Pada kumparan bantu diseri dengan kapasitor dengan nilai yang telah ditentukan sebelumnya dari parameter pada pengujian rotor ditahan. Motor induksi disuplai tegangan bolak – balik 1 fasa, pada saat putaran nominal kemudian saklar pada rangkaian diputus sehingga arus hanya mengalir pada kumparan utama. Segitiga impedansinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.
- c. Dicatat besarnya arus, tegangan, dan daya, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai kapasitor start yang dibutuhkan pada kumparan utama sebagai acuan untuk mencari nilai parameter pada kumparan bantu. Segitiga impedansinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.
- d. Penentuan nilai kapasitor pada kumparan bantu dengan cara peralatan dirangkai seperti pada Gambar 5.2 tanpa dihubungkan dengan beban. Pada kumparan utama diseri dengan kapasitor start dengan nilai yang telah ditentukan dari pengujian sebelumnya. Motor induksi disuplai tegangan bolak – balik 1 fasa, kemudian saklar pada rangkaian diputus sehingga arus hanya mengalir pada kumparan bantu. Segitiga impedansinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4.
- e. Dicatat besarnya arus, tegangan, dan daya. Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai kapasitor pada kumparan bantu yang digunakan untuk keperluan pengoperasian motor kapasitor

5.2.1.3. Perhitungan nilai kapasitor

Sesuai dengan Tabel 5.3 didapatkan nilai Z_{BR} , X_{BR} , dan R_{BR} pada kumparan bantu :

$$\begin{aligned} Z_{BR} &= \frac{V_{BR}}{I_{BR}} \\ &= \frac{147}{2} = 73,5 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$R_{BR} = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}$$

$$= \frac{65}{(2)^2} = 16,25 \quad \Omega$$

$$X_{BR} = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}$$

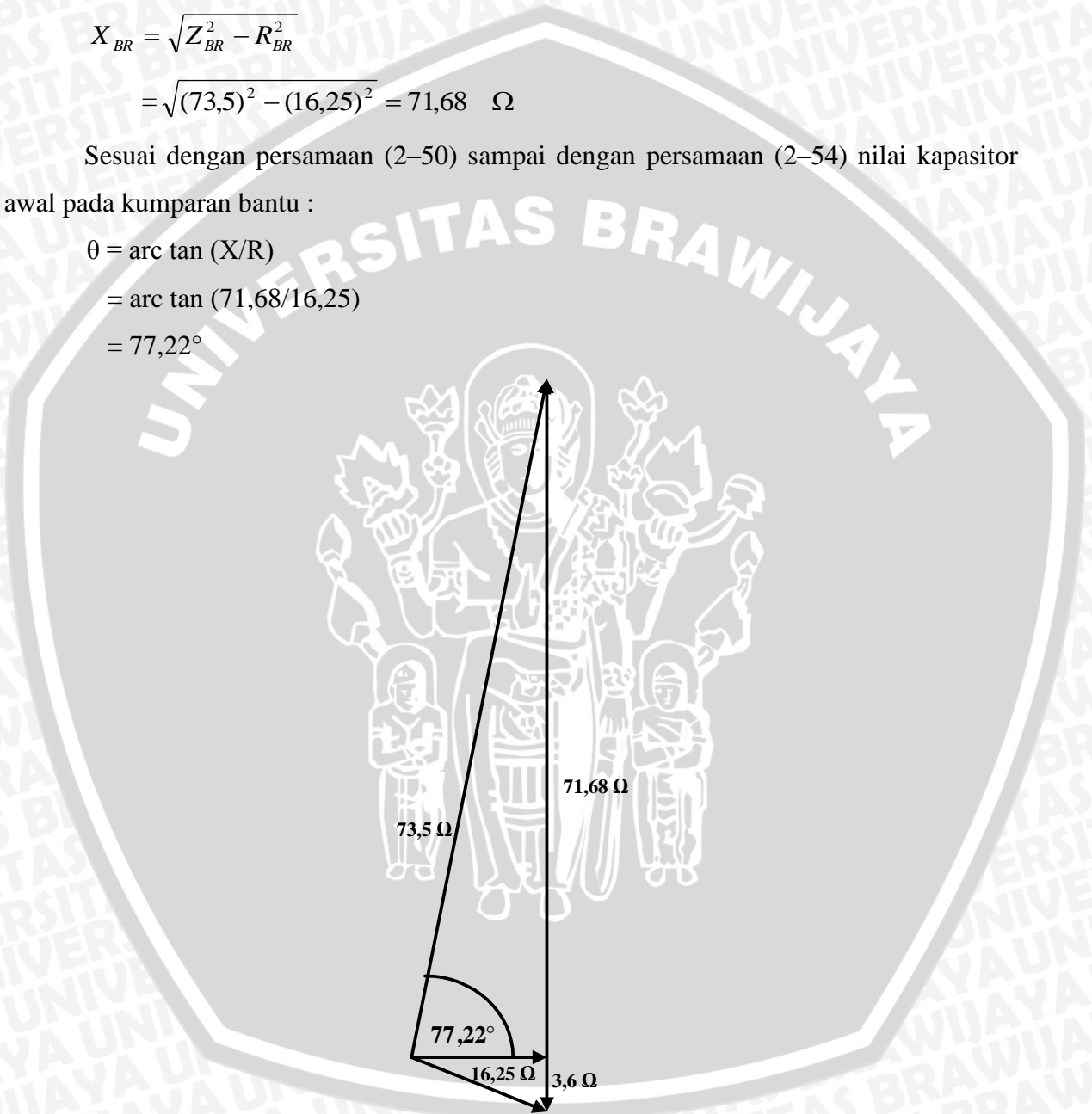
$$= \sqrt{(73,5)^2 - (16,25)^2} = 71,68 \quad \Omega$$

Sesuai dengan persamaan (2-50) sampai dengan persamaan (2-54) nilai kapasitor awal pada kumparan bantu :

$$\theta = \text{arc tan } (X/R)$$

$$= \text{arc tan } (71,68/16,25)$$

$$= 77,22^\circ$$



Gambar 5.3. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumparan utama yang mengacu pada pengujian rotor ditahan

Sesuai dengan persamaan (2-51) agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\theta' = 90^\circ - \theta$$

$$= 90^\circ - 77,22$$

$$= 12,78^\circ$$

Sesuai dengan persamaan (2-52) untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

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

$$= (\tan 12,78^\circ) 16,25$$

$$= 0,22 \times 16,25 = 3,6 \Omega$$

Sesuai dengan persamaan (2-53) maka nilai X_C :

$$X_C = X + X'$$

$$= 71,68 + 3,6 = 75,28 \Omega$$

Sesuai dengan persamaan (2-54) nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C = \frac{1}{2.3,14 \cdot 50 \cdot 75,28}$$

$$C = 42,3 \mu F$$

Tabel 5.7. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor

V (volt)	I (ampere)	P (watt)	n (rpm)
220	4,02	150	748

dari Tabel 5.7 didapatkan :

$$Z_{KU} = \frac{220}{4,02}$$

$$= 55,22 \Omega$$

$$R_{KU} = \frac{150}{4,02^2}$$

$$= 9,28 \Omega$$

$$X_{KU} = \sqrt{55,22^2 - 9,28^2}$$

$$= 54,43 \Omega$$

keterangan :

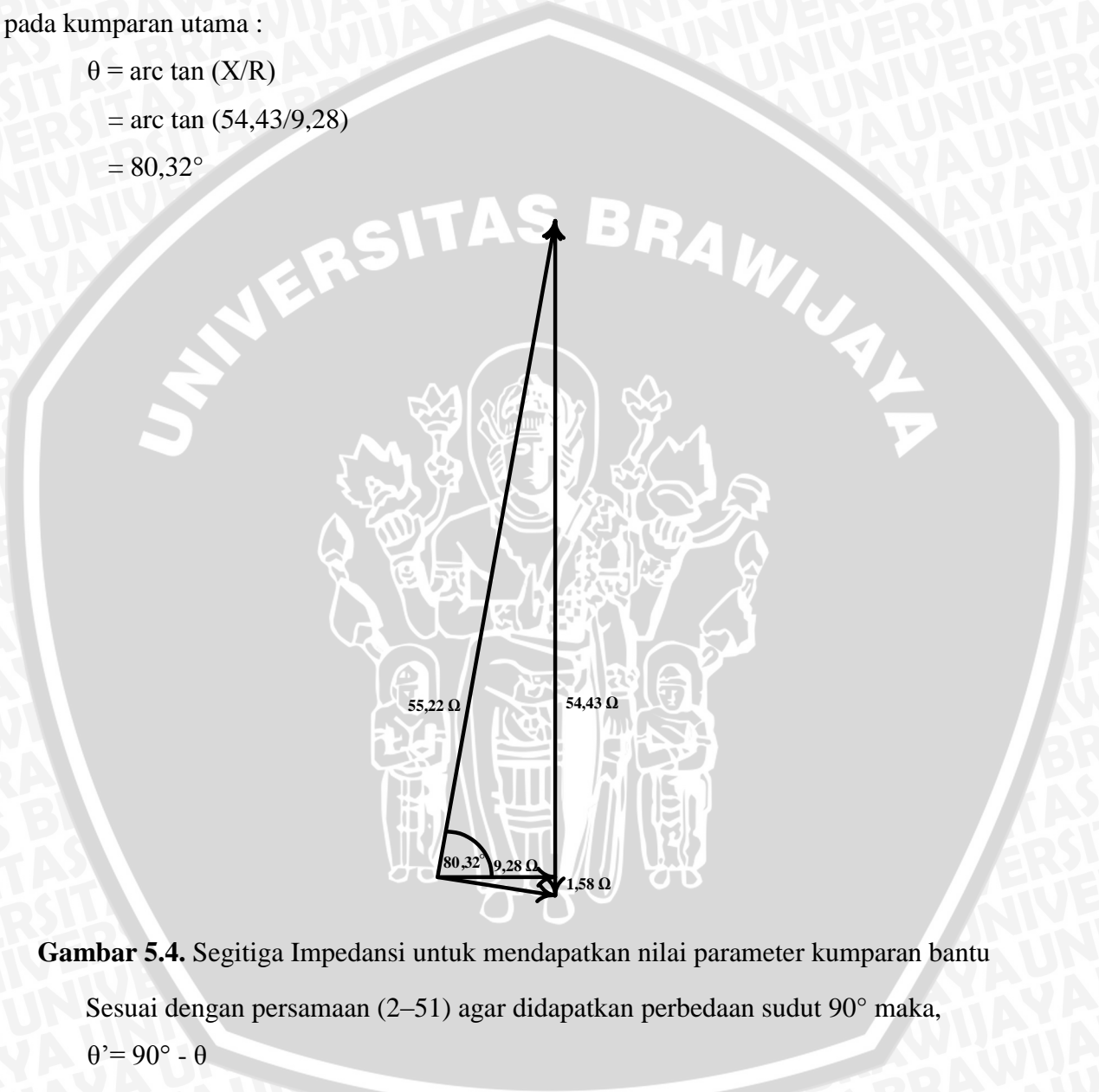
Z_{KU} : impedansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

R_{KU} : resistansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

X_{KU} : reaktansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

Sesuai dengan persamaan (2-50) samapai persamaan (2-54) nilai kapasitor start pada kumparan utama :

$$\begin{aligned}\theta &= \text{arc tan } (X/R) \\ &= \text{arc tan } (54,43/9,28) \\ &= 80,32^\circ\end{aligned}$$



Gambar 5.4. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumparan bantu

Sesuai dengan persamaan (2-51) agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\begin{aligned}\theta' &= 90^\circ - \theta \\ &= 90^\circ - 80,32^\circ \\ &= 9,68^\circ\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-52) untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

$$\begin{aligned}X' &= (\tan \theta') R \\ &= (\tan 9,68^\circ) \times 9,28\end{aligned}$$

$$= 54,43 \times 9,28 = 1,58 \Omega$$

Sesuai dengan persamaan (2-53) maka nilai X_C :

$$X_C = X + X'$$

$$= 54,43 + 1,58 = 56,01 \Omega$$

Sesuai dengan persamaan (2-54) nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C = \frac{1}{2.3,14 \cdot 50 \cdot 56,01}$$

$$C = 56,8 \mu F$$

Tabel 5.8. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor

V (volt)	I (ampere)	P (watt)	n (rpm)
220	2,63	200	748

Dari Tabel 5.8 didapatkan :

$$Z_{KB} = \frac{220}{2,63}$$

$$= 83,65 \Omega$$

$$R_{KB} = \frac{200}{2,63^2}$$

$$= 28,91 \Omega$$

$$X_{KB} = \sqrt{83,65^2 - 28,91^2}$$

$$= 78,5 \Omega$$

keterangan :

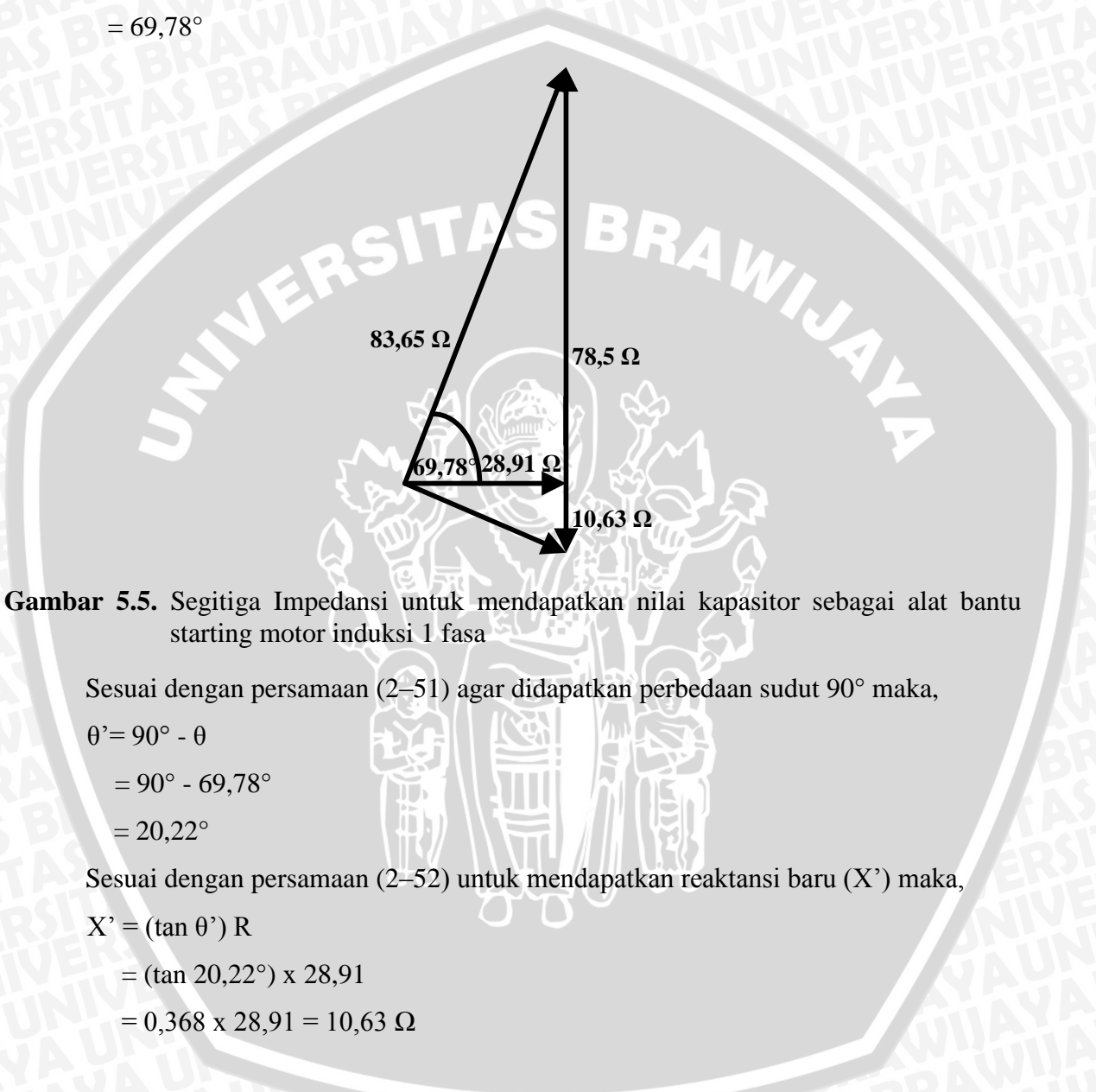
Z_{KB} : impedansi kumparan bantu motor induksi start kapasitor (Ω)

R_{KB} : resistansi kumparan bantu motor induksi start kapasitor (Ω)

X_{KB} : reaktansi kumparan bantu motor induksi start kapasitor (Ω)

Sesuai dengan persamaan (2–50) samapai persamaan (2–54) nilai kapasitor *start* pada kumparan utama :

$$\begin{aligned}\theta &= \text{arc tan } (X/R) \\ &= \text{arc tan } (78,5/28,91) \\ &= 69,78^\circ\end{aligned}$$



Gambar 5.5. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai kapasitor sebagai alat bantu starting motor induksi 1 fasa

Sesuai dengan persamaan (2–51) agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\begin{aligned}\theta' &= 90^\circ - \theta \\ &= 90^\circ - 69,78^\circ \\ &= 20,22^\circ\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2–52) untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

$$\begin{aligned}X' &= (\tan \theta') R \\ &= (\tan 20,22^\circ) \times 28,91 \\ &= 0,368 \times 28,91 = 10,63 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2–53) maka nilai X_C :

$$\begin{aligned}X_C &= X + X' \\ &= 78,5 + 10,63 = 89,13 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2–54) nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

$$C = \frac{1}{2,314 \cdot 50 \cdot 89,13}$$

$$C = 35,73 \mu F \approx 36 \mu F$$

5.2.1.4. Rating Tegangan Kapasitor

Dengan menggunakan rumus pembagi tegangan nilai V_c :

$$V_c = \frac{Z_c}{Z_{total}} x V$$

$$V_c = \frac{Z_c}{Z_R + Z_X + Z_c} x V$$

$$Z_c = \frac{-j}{\omega C}$$

$$Z_c = \frac{-j}{2\pi f C} \Omega$$

$$Z_c = \frac{-j}{2\pi \cdot 50 \cdot 36 \cdot 10^{-6}} \Omega$$

$$Z_c = -j88,46 \Omega$$

$$Z_R = 28,91 \Omega$$

$$Z_X = j78,9 \Omega$$

$$V_c = \frac{-j88,4}{28,91 + j78,9 - j88,4} x 220$$

$$V_c = (199,51 - j607,14)V$$

$$V_c = 639,08 \angle -71,81^\circ V$$



5.2.2. Analisa Data

5.2.2.1. Penentuan Parameter Moto Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4kW Hasil Modifikasi pada Kumparan Utama

Dari tabel 5.4 di dapatkan nilai rata-rata tahanan belitan stator adalah sebagai berikut :

$$R_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{I_i}$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{16}{3} + \frac{22}{4} \right) = 5,42 \, \Omega$$

Besarnya tahanan belitan stator :

$$R_1 = 5,42 \, \Omega$$

Dari persamaan (2-58) dan (2-59) diperoleh nilai impedansi tanpa beban Z_{nl} dan R_{nl} pada tagangan nominal :

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}}$$

$$Z_{nl} = \frac{220}{3,5} = 62,85 \, \Omega$$

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2}$$

$$= \frac{600}{(3,5)^2} = 48,98 \, \Omega$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2}$$

$$= \sqrt{(62,85)^2 - (48,98)^2} = 39,38 \, \Omega$$

Dari Tabel 5.2 dengan arus nominal atau arus rotor di tahan, $I_{BR} = 4 \, A$, di peroleh impedansi rotor ditahan, Z_{BR} dan tahanan rotor di tahan R_{BR} :

$$Z_{BR} = \frac{V_{BR}}{I_{BR}}$$

$$= \frac{152}{4} = 38 \, \Omega$$

$$R_{BR} = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}$$

$$= \frac{130}{(4)^2} = 8,13 \quad \Omega$$

$$X_{BR} = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}$$

$$= \sqrt{(38)^2 - (8,13)^2} = 37,12 \quad \Omega$$

Dari Tabel 2-1 untuk motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan jenis induksi kelas A, maka reaktansi bocor motor :

$$X_1 = X_2^1 = 0,5xX_{BR}$$

$$X_1 = X_2^1 = 0,5x37,12 = 18,56 \quad \Omega$$

Dari persamaan (2-65) dan persamaan (2-66) diperoleh :

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

$$R_c = \frac{(48,98 - 5,42)^2 + (39,38 - 18,56)^2}{48,98 - 5,42}$$

$$R_c = 53,51 \quad \Omega$$

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

$$X_m = \frac{(48,98 - 5,42)^2 + (39,38 - 18,56)^2}{39,38 - 18,56}$$

$$X_m = 111,64 \quad \Omega$$

dari persamaan (2-67) dan (2-69) diperoleh :

$$R_{BR} = R_1 + R$$

$$R = R_{BR} - R_1$$

$$= 8,13 - 5,42 = 2,71 \quad \Omega$$

$$R_2^1 = R \times \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2$$

$$= 2,71 \times \left(\frac{18,56 + 111,64}{111,64} \right)^2 = 3,69 \quad \Omega$$

Dengan demikian parameter dari motor induksi 1 fasa rotor sangkar pada kumparan utama ini :

$$\begin{aligned} R_1 &= 5,42 \Omega ; & R_2^1 &= 3,69 \Omega \\ X_1 &= 18,56 \Omega ; & X_2^1 &= 18,56 \Omega \\ X_m &= 111,64 \Omega ; & R_c &= 53,51 \Omega \end{aligned}$$

5.2.2.2. Penentuan Parameter Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4kW Hasil Modifikasi pada Kumparan Bantu

Dari Tabel 5.5 di dapatkan nilai rata-rata rahanan belitan stator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{I_i} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{16}{1,5} + \frac{21,5}{2} \right) = 10,71 \Omega \end{aligned}$$

jadi besarnya tahanan belitan stator :

$$R_1 = 10,71 \Omega$$

Dari persamaan (2-58) dan (2-59) diperoleh nilai impedansi tanpa beban Z_{nl} dan R_{nl} pada tagangan nominal :

$$\begin{aligned} Z_{nl} &= \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \\ Z_{nl} &= \frac{220}{3,5} = 62,85 \Omega \\ R_{nl} &= \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2} \\ &= \frac{600}{(3,5)^2} = 48,98 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{nl} &= \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \\ &= \sqrt{(62,85)^2 - (48,98)^2} = 39,38 \Omega \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.3 dengan arus nominal atau arus rotor di tahanan, $I_{BR} = 2$ A, di peroleh impedansi rotor ditahan, Z_{BR} dan tahanan rotor di tahanan R_{BR} :

$$\begin{aligned} Z_{BR} &= \frac{V_{BR}}{I_{BR}} \\ &= \frac{147}{2} = 73,5 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{BR} &= \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2} \\ &= \frac{65}{(2)^2} = 16,25 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{BR} &= \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2} \\ &= \sqrt{(73,5)^2 - (16,25)^2} = 71,68 \quad \Omega \end{aligned}$$

Dari Tabel 2.1 untuk motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan jenis induksi klas A, maka reaktansi bocor motor :

$$X_1 = X_2^1 = 0,5xX_{BR}$$

$$X_1 = X_2^1 = 0,5x71,68 = 35,84 \quad \Omega$$

Dari persamaan (2-65) dan persamaan (2-66) diperoleh :

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

$$R_c = \frac{(48,98 - 10,71)^2 + (39,38 - 35,84)^2}{48,98 - 10,71}$$

$$R_c = 38,59 \quad \Omega$$

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

$$X_m = \frac{(48,98 - 10,71)^2 + (39,38 - 35,84)^2}{39,38 - 35,84}$$

$$X_m = 417,27 \quad \Omega$$

Dari persamaan (2-67) dan (2-69) diperoleh :

$$\begin{aligned} R &= R_{BR} - R_1 \\ &= 16,25 - 10,71 = 5,54 \quad \Omega \end{aligned}$$

$$R_2^1 = R \times \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2$$

$$= 5,54 \times \left(\frac{35,84 + 417,27}{417,27} \right)^2 = 6,53 \quad \Omega$$

Dengan demikian parameter dari motor induksi 1 fasa rotor sangkar pada kumparan bantu :

$$R_1 = 10,71 \quad \Omega ; \quad R_2^1 = 6,53 \quad \Omega$$

$$X_1 = 35,84 \quad \Omega ; \quad X_2^1 = 35,84 \quad \Omega$$

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

5.2.2.3. Perhitungan Daya, Rugi - Rugi dan Torsi Motor Induksi (SAMMER) 3 Fasa 4 kW Hasil Modifikasi

Putaran motor pada saat beban penuh yaitu, $n_r = 668$ rpm dan kecepatan sinkron, $n_s = 750$ rpm, maka slip motor dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2-21) :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$= \frac{750 - 668}{750} = 0,1093$$

Dengan menggunakan persamaan (2-30) I_2^1 pada kumparan utama :

$$I_2^1 = \frac{220}{\sqrt{(5,42 + 3,69/0,1093)^2 + (37,12)^2}}$$

$$= 4,07 \quad A$$

Dengan menggunakan persamaan (2-27) daya mekanik pada kumparan utama :

$$P_{\text{mek}} \text{ kumparan utama} = 4,07^2 \times \frac{3,69 - (3,69 \times 0,1093)}{0,1093}$$

$$= 498,11 \text{ watt}$$

$$V_1 \text{ kumparan bantu} = \frac{Z_{BR}}{Z_{BR} + Z_c} \times V_s$$

$$= \frac{73,5}{73,5 - j88,46} \times 220$$

$$= 89,85 + j108,14 = 140,6 \angle 50,28^\circ \text{ V}$$

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

$$I_2^1 = \frac{140,6}{\sqrt{(10,71 + 6,53/0,1093)^2 + (71,68)^2}}$$

$$= 1,39 \text{ A}$$

$$P_{\text{mek kumparan bantu}} = I_2^1 \times \frac{R_2^1(1-s)}{s}$$

$$= 1,49^2 \times \frac{6,53 - (6,53 \times 0,1093)}{0,1093}$$

$$= 118,14 \text{ watt}$$

jadi daya mekanik pada motor induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW hasil modifikasi :

$$P_{\text{mek}} = P_{\text{mek kumparan utama}} + P_{\text{mek kumparan bantu}}$$

$$= 498,11 + 118,14$$

$$= 616,25 \text{ watt}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-29) Torsi mekanik (τ_{mek}) dapat ditentukan dengan :

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

dimana,

$$\omega_s = 2 \times \pi \times (750/60)$$

$$= 78,5 \text{ rad/sec}$$

$$\tau_{\text{mek}} = \frac{P_{\text{mek}}}{\omega_s}$$

$$\tau_{mek} = \frac{616,25}{78,5}$$

$$= 7,85 \text{ N-m}$$

Dari persamaan (2-26), dapat di hitung rugi tahanan rotor (P_{cu2}) pada kumparan utama:

$$\begin{aligned} P_{cu2} &= (I_2^1)^2 \times R_2^1 \\ &= (4,596)^2 \times 3,69 = 77,94 \text{ watt.} \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.6 arus nominal pada kumparan utama $I_u = 4,4 \text{ A}$, maka rugi tembaga stator (P_{cu1}) pada kumparan utama :

$$P_{cu1} = (I_u)^2 \times R_1 = (4,4)^2 \times 5,42 = 104,93 \text{ watt}$$

Dari persamaan (2-26), dapat di hitung rugi tahanan rotor (P_{cu2}) pada kumparan bantu :

$$\begin{aligned} P_{cu2} &= (I_2^1)^2 \times R_2^1 \\ &= (1,49)^2 \times 6,53 = 14,49 \text{ watt.} \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.6 arus nominal pada kumparan bantu $I_b = 3,2 \text{ A}$, maka rugi tembaga stator (P_{cu1}) pada kumparan bantu:

$$P_{cu1} = (I_b)^2 \times R_1 = (3,2)^2 \times 10,71 = 109,67 \text{ watt}$$

Total rugi daya motor :

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi-rugi}$$

$$\begin{aligned} P_{rugi-rugi} &= P_{in} - P_{out} \\ &= 1225 - 616,25 \\ &= 608,75 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$P_{rugi-rugi} = P_{cu1 \text{ kumparan utama}} + P_{cu2 \text{ kumparan utama}} + P_{cu1 \text{ kumparan bantu}} + P_{cu2 \text{ kumparan bantu}} + P_c + P_{f+w}$$

$$608,75 = 104,93 + 77,94 + 109,67 + 14,49 + P_c + P_{f+w}$$

Dari persamaan (2-34) dapat dihitung rugi inti besi, gesekan dan angin yaitu :

$$\begin{aligned} P_c + P_{f+w} &= 608,75 - (104,93 + 77,94 + 109,67 + 14,49) \\ &= 301,72 \text{ watt} \end{aligned}$$

Tabel 5.9. Tabulasi data motor induksi (SAMMER) 3 fasa 4 kW sebelum belitan stator di modifikasi, hasil perhitungan / perancangan dan hasil pengujian motor induksi yang telah dimodifikasi

No.	Data Motor	Data motor 3 fasa sebelum belitan stator di modifikasi	Hasil Perhitungan Modifikasi	Hasil Pengujian	Koreksi \pm (%)
1.	Daya keluaran, P_{out}	4000 Watt	616,25 Watt	552,34 Watt	10,37
2.	Torsi, τ	-	7,85 Nm	7,9 Nm	0,63
3.	Effisiensi, η	-	68 %	47,6 %	30
4.	Tegangan, V	230/400 Volt	220 Volt	220 Volt	-
5.	Arus nominal, I	7,8/13,5 A	7,07 A	5,8 A	17,96
6.	Frekuensi, f	50 Hz	50 Hz	50 Hz	-
7.	Putaran, n	2800 rpm	750 rpm	668 rpm	10,93
8.	Jumlah kutub, p	2 kutub	8 kutub	8 Kutub	-

Dari Tabel 5.9, dapat diketahui perbandingan antara hasil dari perhitungan dan hasil pengujian motor (SAMMER) hasil modifikasi dari 2 kutub menjadi 8 kutub, dengan tegangan kerja yang sama 220 V, dimana pada daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi (η) pada perhitungan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan didapatkan 616,25 watt sedangkan pada pengujian sebesar 552,34 watt dan pada nilai effisiensinya dari hasil perhitungan didapatkan sebesar 68 % sedangkan pada hasil pengujian sebesar 47,6 %. Sedangkan nilai torsi motornya (τ) pada hasil perhitungan sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian dimana pada hasil perhitungan didapatkan 7,85 Nm sedangkan nilai pada pengujian sebesar 7,9 Nm.

5.3. Pengujian Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi

Parameter motor dapat ditentukan dari hasil pengujian tanpa beban, pengujian rotor ditahan, pengujian dc untuk mengetahui tahanan belitan stator.

Tabel 5.10 sampai 5.15 memperlihatkan data hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap motor induksi 1 fasa 2 Hp yang telah dimodifikasi.

Tabel 5.10. Data Pengujian Tanpa Beban

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

Tabel 5.11. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Utama

No.	V_{BR} (volt)	I_{BR} (ampere)	P_{BR} (watt)
1.	24,4	1	8,75
2.	37,2	1,5	15
3.	50,5	2	25

Tabel 5.12. Data Pengujian Rotor ditahan pada Kumputan Bantu

No.	V_{BR} (volt)	I_{BR} (ampere)	P_{BR} (watt)
1.	24,4	1	8,75
2.	37,2	1,5	15
3.	50,5	2	25

Tabel 5.13. Data Hasil Pengujian dc pada Kumputan Utama

No.	I_{dc} (ampere)	V_{dc} (volt)
1	1,5	9
2	2	12,5

Tabel 5.14. Data Hasil Pengujian DC pada Kumputan Bantu

No.	I_{dc} (ampere)	V_{dc} (volt)
1	1,5	9
2	2	12,5

Sedangkan pengujian berbeban, di lakukan dengan menggunakan beban generator DC dengan penguatan belitan medan. Pengujian berbeban seperti ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Data Hasil Pengujian Berbeban

No.	V (V)	I (A)	I _b (A)	I _u (A)	P (W)	n (rpm)	τ (Nm)*	P _{out} (W)*	V _b (V)	I _b (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

5.3.1. Penentuan Nilai Kapasitor Motor Induksi 1 Fasa.

5.3.1.1. Prosedur pengujian

- Penentuan nilai kapasitor start awal pada kumparan utama.
- Penentuan nilai kapasitor start pada kumparan utama dengan cara peralatan dirangkai seperti pada Gambar 5.1 tanpa dihubungkan dengan beban. Pada kumparan bantu diseri dengan kapasitor dengan nilai yang telah ditentukan sebelumnya dari parameter pada pengujian rotor ditahan. Motor induksi disuplai tegangan bolak – balik 1 fasa, kemudian saklar pada rangkaian diputus sehingga arus hanya mengalir pada kumparan utama. Segitiga impedansinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6.
- Dicatat besarnya arus, tegangan, dan daya. Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai kapasitor pada kumparan utama. Karena nilai parameter pada kumparan utama dan kumparan bantu adalah sama maka nilai kapasitor tersebut yang digunakan pada kumparan bantu pada saat pengoperasian motor kapasitor. Segitiga impedansinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7.

5.3.1.2. Perhitungan nilai kapasitor

Sesuai dengan Tabel 5.12 didapatkan nilai Z_{BR} , X_{BR} , dan R_{BR} pada kumparan bantu

:

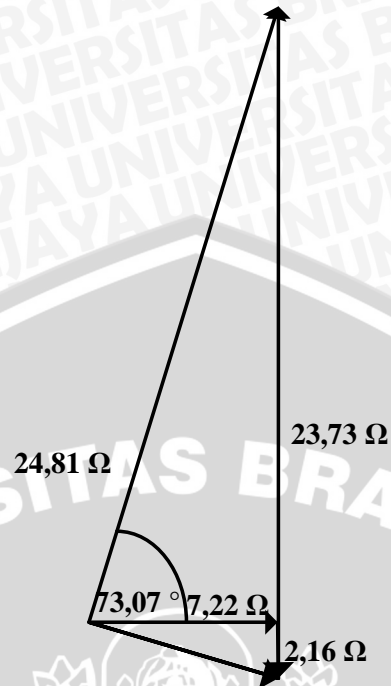
$$\begin{aligned} Z_{BR} &= \frac{V_{BR}}{I_{BR}} \\ &= \frac{1}{3} \left(\frac{24,4}{1} + \frac{37,2}{1,5} + \frac{50,5}{2} \right) \\ &= 24,81 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{BR} &= \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2} \\ &= \frac{1}{3} \left(\frac{8,75}{1^2} + \frac{15}{1,5^2} + \frac{25}{2^2} \right) \\ &= 7,22 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{BR} &= \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2} \\ &= \sqrt{(24,81)^2 - (7,22)^2} = 23,73 \Omega \end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-50) sampai persamaan (2-54) nilai kapasitor awal pada kumparan utama :

$$\begin{aligned} \theta &= \text{arc tan } (X/R) \\ &= \text{arc tan } (23,73/7,22) \\ &= 73,07^\circ \end{aligned}$$



Gambar 5.6. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai parameter kumparan utama yang mengacu pada pengujian rotor ditahan

Sesuai dengan persamaan (2-51) agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\begin{aligned}\theta' &= 90^\circ - \theta \\ &= 90^\circ - 73,07 \\ &= 16,93^\circ\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-52) untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

$$\begin{aligned}X' &= (\tan \theta') R \\ &= (\tan 16,93^\circ) 7,22 \\ &= 0,3 \times 7,22 = 2,16 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-53) maka nilai X_C :

$$\begin{aligned}X_C &= X + X' \\ &= 23,73 + 2,16 = 25,89 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-54) nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C = \frac{1}{2.3,14 \cdot 50 \cdot 25,89}$$

$$C = 123 \mu F$$

Tabel 5.16. Data hasil pengujian tanpa beban motor start kapasitor dengan kumparan utama diseri dengan kapasitor

V (volt)	I (ampere)	P (watt)	n (rpm)
220	3,3	150	748

Dari Tabel 5.16 didapatkan :

$$Z_{KU} = \frac{220}{3,3}$$

$$= 66,6 \Omega$$

$$R_{KU} = \frac{150}{3,3^2}$$

$$= 13,77 \Omega$$

$$X_{KU} = \sqrt{66,6^2 - 13,77^2}$$

$$= 65,16 \Omega$$

keterangan :

Z_{KU} : impedansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

R_{KU} : resistansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

X_{KU} : reaktansi kumparan utama motor induksi start kapasitor (Ω)

Sesuai dengan persamaan (2-50) sampai persamaan (2-54) nilai kapasitor pada kumparan utama :

$$\theta = \arctan (X/R)$$

$$= \arctan (65,16/13,77)$$

$$= 78,06^\circ$$



Gambar 5.7. Segitiga Impedansi untuk mendapatkan nilai kapasitor sebagai alat bantu starting motor induksi 1 fasa

Sesuai dengan persamaan (2-51) agar didapatkan perbedaan sudut 90° maka,

$$\begin{aligned}\theta' &= 90^\circ - \theta \\ &= 90^\circ - 78,06^\circ \\ &= 11,94^\circ\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-52) untuk mendapatkan reaktansi baru (X') maka,

$$\begin{aligned}X' &= (\tan \theta') R \\ &= (\tan 11,94^\circ) \times 13,77 \\ &= 0,211 \times 13,77 = 2,9 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-53) maka nilai X_C :

$$\begin{aligned}X_C &= X + X' \\ &= 65,16 + 2,9 = 68,06 \Omega\end{aligned}$$

Sesuai dengan persamaan (2-54) nilai kapasitor yang dibutuhkan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$C = \frac{1}{2,3,14 \cdot 50 \cdot 68,06}$$

$$C = 46,7 \mu F$$

Rating Tegangan Kapasitor :

$$V_c = \frac{Z_c}{Z_{total}} \cdot xV$$

$$V_c = \frac{Z_c}{Z_R + Z_X + Z_c} \cdot xV$$

$$Z_c = \frac{-j}{\omega C}$$

$$Z_c = \frac{-j}{2\pi f C} \Omega$$

$$Z_c = \frac{-j}{2\pi \cdot 50 \cdot 48,10 \cdot 10^{-6}} \Omega$$

$$Z_c = -j66,34 \Omega$$

$$Z_R = 13,77 \Omega$$

$$Z_X = j65,16 \Omega$$

$$V_c = \frac{-j66,34}{13,77 + j65,16 - j66,34} \cdot x220$$

$$V_c = (90,16 - j1052,17) V$$

$$V_c = 1056,02 \angle -85,102^\circ V$$

5.3.2. Analisa Data

5.3.2.1. Penentuan Parameter Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi pada Kumputan Utama

Dari Tabel 5.13 di dapatkan nilai rata-rata tahanan belitan stator adalah sebagai berikut :

$$R_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{I_i}$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{9}{1,5} + \frac{12,5}{2} \right) = 6,125 \Omega$$

jadi besarnya tahanan belitan stator :

$$R_1 = 6,125 \Omega$$

Dari persamaan (2-58) dan (2-59) diperoleh nilai impedansi tanpa beban Z_{nl} dan R_{nl} pada tagangan nominal yaitu :

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl}}$$

$$Z_{nl} = \frac{220}{3,1} = 70,96 \Omega$$

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2}$$

$$= \frac{570}{(3,1)^2} = 59,31 \Omega$$

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2}$$

$$= \sqrt{(70,96)^2 - (59,31)^2} = 38,95 \Omega$$

Dari Tabel 5.11 didapatkan rata - rata impedansi rotor ditahan, Z_{BR} dan tahanan rotor di tahan R_{BR} :

$$Z_{BR} = \frac{V_{BR}}{I_{BR}}$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{24,4}{1} + \frac{37,2}{1,5} + \frac{50,5}{2} \right)$$

$$= 24,81 \Omega$$

$$R_{BR} = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{8,75}{1^2} + \frac{15}{1,5^2} + \frac{25}{2^2} \right)$$

$$= 7,22 \Omega$$

$$X_{BR} = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}$$

$$= \sqrt{(24,81)^2 - (7,22)^2} = 23,73 \quad \Omega$$

Dari Tabel 2-1 untuk motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan jenis induksi kelas A, maka reaktansi bocor motor :

$$X_1 = X_2^1 = 0,5xX_{BR}$$

$$X_1 = X_2^1 = 0,5x23,73 = 11,86 \quad \Omega$$

Dari persamaan (2-65) dan persamaan (2-66) diperoleh :

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

$$R_c = \frac{(59,31 - 6,125)^2 + (38,95 - 11,86)^2}{59,31 - 6,125}$$

$$R_c = 66,98 \quad \Omega$$

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

$$X_m = \frac{(59,31 - 6,125)^2 + (38,95 - 11,86)^2}{38,95 - 11,86}$$

$$X_m = 131,50 \quad \Omega$$

Dari persamaan (2-57) dan (2-59) diperoleh :

$$R = R_{BR} - R_1$$

$$= 7,22 - 6,125 = 1,095 \quad \Omega$$

$$R_2^1 = R_x \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2$$

$$= 1,095 \times \left(\frac{11,86 + 131,50}{131,50} \right)^2 = 1,3 \quad \Omega$$

Dengan demikian parameter dari motor induksi 1 fasa rotor sangkar pada kumparan utama :

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

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

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

5.3.2.2. Penentuan Parameter Motor Induksi (ALDO) 1 Fasa 2 Hp Hasil Modifikasi pada Kumputan Bantu

Dari Tabel 5.14 di dapatkan nilai rata-rata tahanan belitan stator adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{I_i} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{9}{1,5} + \frac{12,5}{2} \right) = 6,125 \Omega \end{aligned}$$

jadi besarnya tahanan belitan stator :

$$R_1 = 6,125 \Omega$$

Dari persamaan (2-62) dan (2-63) diperoleh nilai impedansi tanpa beban Z_{nl} dan R_{nl} pada tagangan nominal :

$$\begin{aligned} Z_{nl} &= \frac{V_{nl}}{I_{nl}} \\ Z_{nl} &= \frac{220}{3,1} = 70,96 \Omega \\ R_{nl} &= \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2} \\ &= \frac{570}{(3,1)^2} = 59,31 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{nl} &= \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \\ &= \sqrt{(70,96)^2 - (59,31)^2} = 38,95 \Omega \end{aligned}$$

Dari tabel 5.12 didapatkan rata - rata impedansi rotor ditahan, Z_{BR} dan tahanan rotor di tahan R_{BR} :

$$Z_{BR} = \frac{V_{BR}}{I_{BR}}$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{24,4}{1} + \frac{37,2}{1,5} + \frac{50,5}{2} \right)$$

$$= 24,81 \Omega$$

$$R_{BR} = \frac{P_{BR}}{I_{BR}^2}$$

$$= \frac{1}{3} \left(\frac{8,75}{1^2} + \frac{15}{1,5^2} + \frac{25}{2^2} \right)$$

$$= 7,22 \Omega$$

$$X_{BR} = \sqrt{Z_{BR}^2 - R_{BR}^2}$$

$$= \sqrt{(24,81)^2 - (7,22)^2} = 23,73 \Omega$$

Dari Tabel 2-1 untuk motor induksi 1 fasa rotor sangkar dengan jenis induksi kelas A, maka reaktansi bocor motor :

$$X_1 = X_2^1 = 0,5xX_{BR}$$

$$X_1 = X_2^1 = 0,5x23,73 = 11,86 \Omega$$

Dari persamaan (2-65) dan persamaan (2-66) diperoleh :

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

$$R_c = \frac{(59,31 - 6,125)^2 + (38,95 - 11,86)^2}{59,31 - 6,125}$$

$$R_c = 66,98 \Omega$$

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

$$X_m = \frac{(59,31 - 6,125)^2 + (38,95 - 11,86)^2}{38,95 - 11,86}$$

$$X_m = 131,50 \Omega$$

Dari persamaan (2-57) dan (2-59) diperoleh :

$$R = R_{BR} - R_1$$

$$= 7,22 - 6,125 = 1,095 \Omega$$

$$R_2^1 = R_x \left(\frac{X_2^1 + X_m}{X_m} \right)^2$$

$$= 1,095 \times \left(\frac{11,86 + 131,50}{131,50} \right)^2 = 1,3 \Omega$$

Dengan demikian parameter dari motor induksi 1 fasa rotor sangkar pada kumparan bantu :

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

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

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

5.3.3. Perhitungan Daya, Rugi - Rugi dan Torsi dari Motor

Putaran motor pada saat beban penuh yaitu, $n_r = 687$ rpm dan kecepatan sinkron, $n_s = 750$ rpm, maka slip motor dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2-21) :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

$$= \frac{750 - 687}{750} = 0,084$$

Dengan menggunakan persamaan (2-30) I_2^1 pada kumparan utama :

$$I_2^1 = \frac{220}{\sqrt{(6,125 + 1,3/0,084)^2 + (23,73)^2}}$$

$$= 6,85 \text{ A}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-27) daya mekanik pada kumparan utama :

$$P_{mek} \text{ kumparan utama} = 6,85^2 \times \frac{1,3 - (1,3 \times 0,084)}{0,084}$$

$$= 655,5 \text{ watt}$$

$$V_1 \text{ kumparan bantu} = \frac{Z_{BR}}{Z_{BR} + Z_c} \times V_s$$

$$= \frac{24,81}{24,81 - j66,35} \times 220$$

$$= 26,98 + j72,17 = 77,05 \angle 69,49^\circ \text{ V}$$

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

$$I_2^1 = \frac{77,05}{\sqrt{(6,125 + 1,3/0,084)^2 + (23,73)^2}}$$

$$= 2,41 \text{ A}$$

$$P_{\text{mek kumparan bantu}} = I_2^1 x \frac{R_2^1(1-s)}{s}$$

$$= 2,41^2 x \frac{1,3 - (1,3x0,084)}{0,084}$$

$$= 82,33 \text{ watt}$$

jadi daya mekanik pada motor induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp hasil modifikasi,

$$P_{\text{mek}} = P_{\text{mek kumparan utama}} + P_{\text{mek kumparan bantu}}$$

$$= 655,5 + 82,33$$

$$= 737,83 \text{ watt}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-29) Torsi mekanik (τ_{mek}) dapat ditentukan dengan :

$$\tau_{\text{mek}} = \frac{P_{\text{mek}}}{\omega_s}$$

dimana,

$$\omega_s = 2 \times \pi \times (750/60)$$

$$= 78,5 \text{ rad/sec}$$

$$\tau_{\text{mek}} = \frac{P_{\text{mek}}}{\omega_s}$$

$$\tau_{\text{mek}} = \frac{737,83}{78,5}$$

$$= 9,39 \text{ N-m}$$

Dari persamaan (2-26), dapat di hitung rugi tahanan rotor (P_{cu2}) pada kumparan utama :

$$\begin{aligned} P_{cu2} &= (I_2^1)^2 \times R_2^1 \\ &= (7,21)^2 \times 1,3 = 67,57 \text{ watt.} \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.15 arus nominal pada kumparan utama $I_u = 3,4$ A, maka rugi tembaga stator (P_{cu1}) pada kumparan utama :

$$P_{cu1} = (I_u)^2 \times R_1 = (3,4)^2 \times 6,125 = 70,80 \text{ watt}$$

Dari persamaan (2-26), dapat di hitung rugi tahanan rotor (P_{cu2}) pada kumparan bantu :

$$\begin{aligned} P_{cu2} &= (I_2^1)^2 \times R_2^1 \\ &= (2,5)^2 \times 1,3 = 8,125 \text{ watt.} \end{aligned}$$

Dari Tabel 5.15 arus nominal pada kumparan bantu $I_b = 3,9$ A, maka rugi tembaga stator (P_{cu1}) pada kumparan bantu :

$$P_{cu1} = (I_b)^2 \times R_1 = (3,9)^2 \times 6,125 = 93,16 \text{ watt}$$

Total rugi daya motor :

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi-rugi}$$

$$\begin{aligned} P_{rugi-rugi} &= P_{in} - P_{out} \\ &= 1050 - 737,83 \\ &= 312,17 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$P_{rugi-rugi} = P_{cu1 \text{ kumparan utama}} + P_{cu2 \text{ kumparan utama}} + P_{cu1 \text{ kumparan bantu}} + P_{cu2 \text{ kumparan bantu}} + P_c + P_{f+w}$$

$$312,17 = 70,80 + 67,57 + 93,16 + 8,125 + P_c + P_{f+w}$$

Dari persamaan (2-34), dapat dihitung rugi inti besi, gesekan dan angin :

$$\begin{aligned} P_c + P_{f+w} &= 312,17 - (70,80 + 67,57 + 93,16 + 8,125) \\ &= 72,515 \text{ watt} \end{aligned}$$

Tabel 5.17. Tabulasi data motor induksi (ALDO) 1 fasa 2 Hp sebelum belitan stator di modifikasi, hasil perhitungan / perancangan dan hasil pengujian dari motor induksi 1 fasa 2 Hp hasil perancangan

No.	Data Motor	Data motor 1 fasa sebelum belitan stator di modifikasi	Hasil Perhitungan Modifikasi	Hasil Pengujian	Koreksi \pm (%)
1.	Daya keluaran, P_{out}	1492 Watt	737,83 W	563,023 W	23,69
2.	Torsi, τ	-	9,39 Nm	7,83 Nm	16,61
3.	Effisiensi, η	-	68 %	53,6 %	21,17
4.	Tegangan, V	110/220 Volt	220 Volt	220Volt	-
5.	Arus nominal, I	27/13,5A	7,91 A	5 A	36,78
6.	Frekuensi, f	50 Hz	50 Hz	50 Hz	-
7.	Putaran, n	1500 rpm	750 rpm	687 rpm	8,4
8.	Jumlah kutub, p	4 kutub	8 kutub	8 kutub	-

Dari Tabel 5.17, dapat diketahui perbandingan antara hasil dari perhitungan dan hasil pengujian motor (ALDO) hasil modifikasi dari 4 kutub menjadi 8 kutub, dengan tegangan kerja yang sama 220 V, dimana pada daya keluaran (P_{out}), torsi motor (τ), dan efisiensi (η) pada perhitungan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan didapatkan 737,83 watt sedangkan pada pengujian sebesar 563,023 watt, nilai pada torsi motor pada hasil perhitungan didapatkan sebesar 9,39 Nm sedangkan pada hasil pengujian didapatkan torsi sebesar 7,83 Nm, dan pada nilai effisiensinya dari hasil perhitungan didapatkan sebesar 68 % sedangkan pada hasil pengujian sebesar 53,6 %.

Tabel 5.18. Data hasil pengujian berbeban motor standart 746 watt 1500 rpm

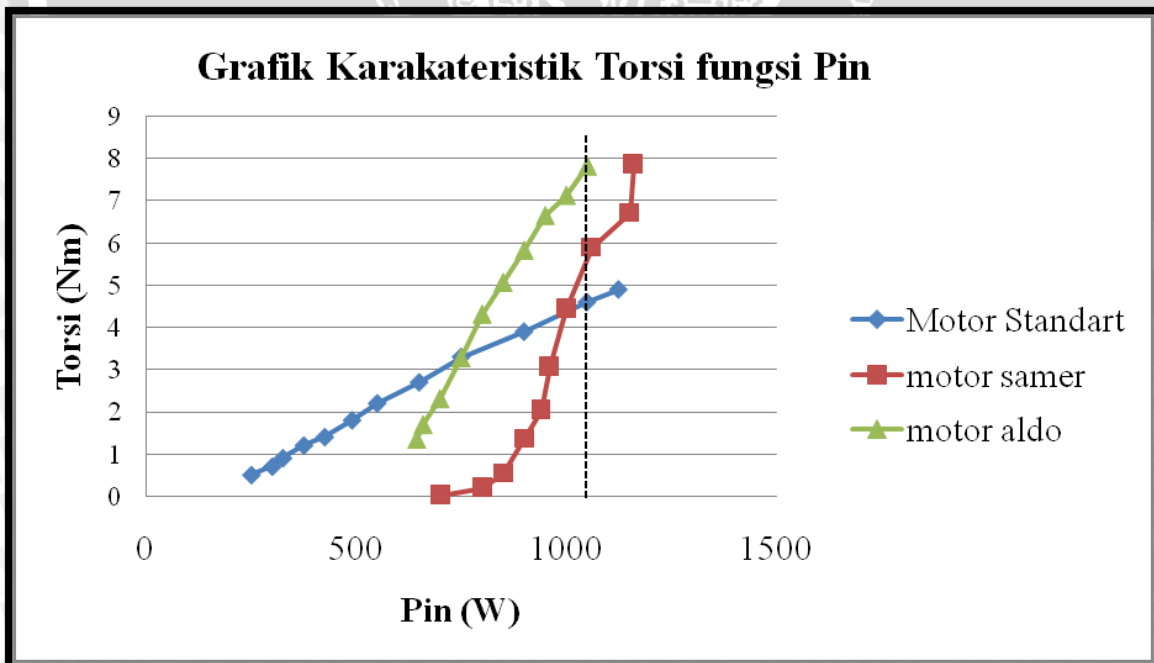
No.	V (V)	I (A)	P (W)	n (rpm)	τ (Nm)	Pout (W)	Vb (V)	Ib (A)
1	220	4	250	1490	0,5	77,98	0	0,2
2	220	4	300	1491	0,7	109,24	30	1,15
3	220	4	325	1490	0,9	140,36	40	1,45
4	220	4	375	1480	1,2	185,89	50	1,85
5	220	4,1	425	1485	1,4	217,60	60	2,25
6	220	4,2	490	1480	1,8	278,83	70	2,65
7	220	4,3	550	1468	2,2	338,03	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 5.6, 5.15, dan 5.18 dapat diketahui nilai daya *input*, daya *output*, dan torsi motor. Pada Tabel 5.6 dan 5.15 adalah data pengujian berbeban dari motor induksi yang telah dimodifikasi dan pada Tabel 5.18 adalah data pengujian berbeban dari motor induksi standart tanpa dimodifikasi dengan jumlah kutub lebih sedikit dan daya *input* yang relatif sama.

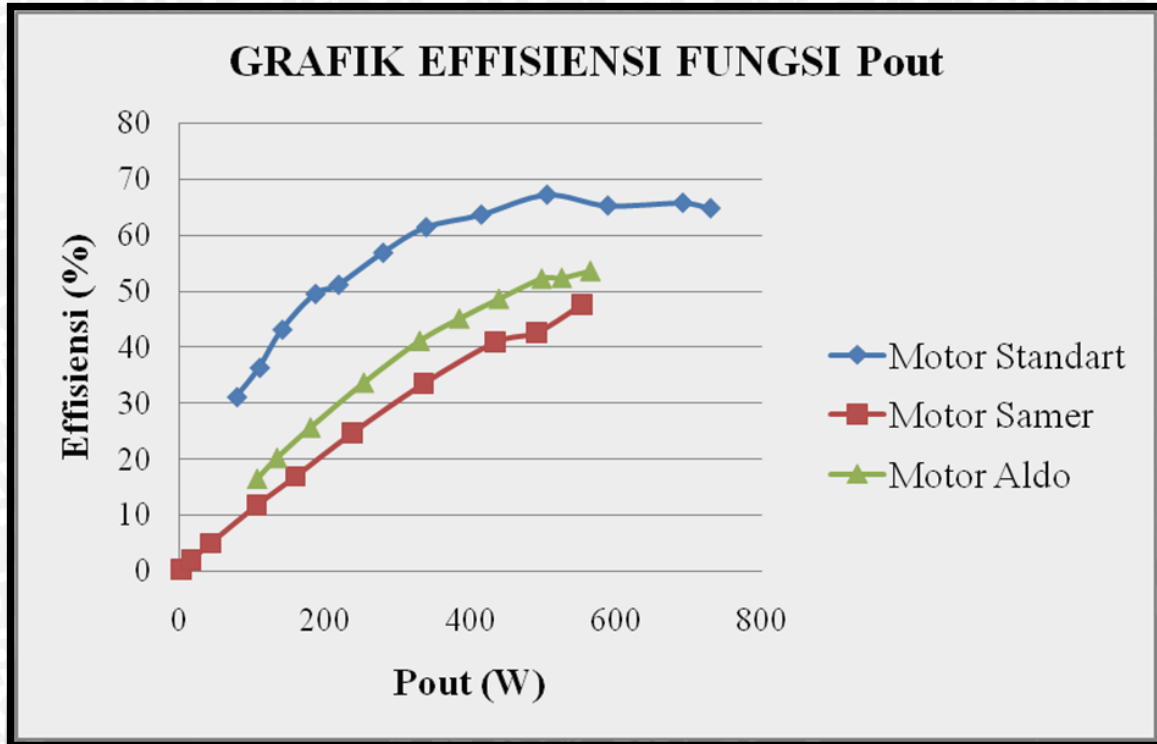
Tabel 5.19. Tabulasi data pengujian berbeban motor induksi standart dan yang dimodifikasi pada keadaan nominal.

Data Motor	Motor (standart) 746 watt, 1500 rpm	Motor hasil modifkisasi (SAMMER), 750 rpm	Motor hasil modifkisasi (ALDO), 750 rpm
Daya <i>input</i> (watt)	1125	1160	1050
Daya <i>outout</i> (watt)	729,30	552,34	563,023
Torsi motor (Nm)	4,9	7,9	7,83
Efisiensi	64 %	47,6 %	53,6 %

Dari Tabel 5.19 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 *input* yang relatif sama.



Gambar 5.8. Grafik Torsi terhadap Daya *input*



Gambar 5.9. Grafik Efisiensi terhadap Daya *output*

Berdasarkan Gambar 5.8, semakin besar daya *input* yang diterapkan pada motor induksi yang diuji semakin besar pula nilai torsi yang dihasilkan oleh motor, jika membandingkan motor induksi standart dengan motor induksi yang telah dimodifikasi jumlah kutubnya ketika pada keadaan nominal motor induksi yang telah dimodifikasi mempunyai torsi motor yang lebih besar hal ini sesuai dengan semakin rendah kecepatan sinkron suatu motor semakin besar pula nilai torsi yang dihasilkan. Pada keadaan nominal torsi motor standart sebesar 4,9 Nm sedangkan motor induksi yang telah dimodifikasi SAMMER dan ALDO besar torsi nominalnya masing – masing 7,9 Nm dan 7,83 Nm.

Motor hasil modifikasi mempunyai efisiensi lebih rendah dari motor induksi standart seperti yang terlihat pada Gambar 5.9 dimana pada keadaan nominal motor induksi standart mempunyai efisiensi 64 % sedangkan motor hasil modifikasi SAMMER dan ALDO masing – masing 47,6 % dan 53,6 %.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

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 menjadi 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 menjadi 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.

6.2. Saran

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.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Fitzgerald A.E. et al, 1990. *Mesin-Mesin Listrik. Edisi ke empat*, Jakarta, Erlangga.
- Sawhney A.K, 1990. *Electrical Machine Design*. New Delhi : Dhanfat Rai & Sons.
- Santoso Hari, 2001. *Dasar Perancangan Mesin Elektrik*. Malang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Soemarwanto, Purnomo Hery, 2000. *Mesin Elektrik I*. Malang : Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Wilkinson Karl, 1991. *Menggulung Ulang Motor Kecil*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Zuhal, 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kadir Abdul, 1981. *Mesin Tak Serempak*. Jakarta, Djambatan
- Mismail Budiono 2011. *Dasar Teknik Elektro*. Malang : Universitas Brawijawa Press.
- Sujud Abdul 1953. *Mesin Arus Searah* : Jakarta : Tehnik H. Stam.

LAMPIRAN





Foto Stator Motor Induksi Tiga Fasa 4kW 8 kutub



Foto Stator Motor Induksi Satu Fasa 2 Hp 8 kutub



Foto Generator sebagai Beban Stator Motor Induksi untuk pengujian Berbeban



Foto Kopelan Motor Induksi dengan Beban (Generator) untuk Pengujian Berbeban

