



PERENCANAAN LILITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 220/380 V

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik



Oleh
Ari Kristianto
NIM. 11506134042

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016

PERSETUJUAN

**PROYEK AKHIR
PERENCANAAN LILITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 220/380V**

Disusun Oleh :

Ari Kristianto

11506134042

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Ahli Madya Program Studi Teknik Elektro



Yogyakarta, Maret 2016
Dosen Pembimbing,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Nurhering Yuniarti".

Nurhering Yuniarti, M.T.
NIP. 19750609 200212 2 002

PENGESAHAN
PERENCANAAN LILITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 220/380V

Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

Ari Kristianto

11506134042

Telah Dipertahankan Didepan Dewan Penguji Tugas Akhir

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Pada Tanggal 26 Februari 2016

dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Guna Memperoleh

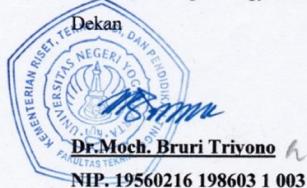
Gelar Ahli Madya Teknik Program Studi Teknik Elektro

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1. Ketua Penguji	Nurhening Yuniarti, M.T.		29/3 - 2016
2. Sekretaris	Ariadie Chandra N., M.T.		31/3 2016
3. Penguji Utama	Drs. Sukir, M.T.		30/3 2016

Yogyakarta, Maret 2016

Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Moch. Bruri Trivono

NIP. 19560216 198603 1 003

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Proyek Akhir ini terdapat alat yang saya perbaiki adalah asli dari motor induksi dalam keadaan kosong akibat lilitan terbakar. Sepanjang pengetahuan saya, tidak berisi materi yang ditulis oleh orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas Negeri Yogyakarta, kecuali bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah yang benar, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 29 maret 2016.....
Yang menyatakan,



Ari Kristianto
NIM. 11506134042

MOTTO

- Jangan takut dalam melangkah karena jarak 1000 mil dimulai dari satu langkah.
- “*Man Jadda wajada*” . Barang siapa yang bersungguh-sungguh maka dia akan berhasil.
- Jangan biarkan rasa nyaman membawa pada rasa ketidaknyamanan.
- Hari ini, esok dan seterusnya lebih baik dari hari kemarin.

PERSEMPAHAN

- Rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas limpahan segala rahmat dan hidayah-Nya.
- Terima kasih banyak teruntuk Bapak, Ibu atas dorongan, motivasi, kasih sayang dan do'a yang telah dicurahkan selama ini serta segenap keluarga atas dukungan dan semangatnya.
- Teman-teman satu angkatan 2011 dan lintas angkatan yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih atas do'a, dukungan, loyalitas dan keceriaan yang diberikan selama ini.
- Seluruh mahasiswa jurusan Pendidikan Teknik Elektro, semoga karya ini dan karya teman-teman sekalian dapat bermanfaat.
- Almamaterku Universitas Negeri Yogyakarta Fakultas Teknik Jurusan Pendidikan Teknik Elektro.

PERENCANAAN LILITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 220/380 V

Oleh:
Ari Kristianto
11506134042

ABSTRAK

Tujuan dari pembuatan proyek akhir ini adalah untuk menghasilkan sebuah unit Motor induksi 3 fasa yang sebelumnya rusak terbengkalai menjadi sebuah unit motor yang dapat berputar kembali dengan menggunakan perancangan dan perencanaan lilitan baru.

Perencanaan melilit motor induksi 3 fasa ini dibuat dengan menggunakan motor induksi yang terbengkalai rusak akibat terbakar dan dilengkapi dengan terminal *banana plug* sehingga mudah dalam penggunaan dan perawatan. Proses perencanaan melilit motor induksi 3 fasa ini melalui beberapa tahap yaitu: 1) menganalisis kebutuhan, 2) mengidentifikasi kebutuhan alat dan bahan yang akan digunakan, 3) merancang dan menghitung desain lilitan dan rangkaian sistem, 4) Mengimplementasi motor 3 induksi fasa, 5) merancang bangun pengujian, 6) Pengujian.

Hasil dari proyek akhir ini yaitu sebuah motor 3 induksi fasa 220/380 volt yang baik dari segi teknis dan unjuk kerja. Dengan spesifikasi motor tegangan, arus, $\cos\phi$, RPM, tahanan isolasi berdasarkan pengujian yang telah dilakukan motor ini dapat berfungsi sebagai mana mestinya sesuai dengan perencanaan dan perhitungan yang telah dilakukan.

Kata Kunci: *motor induksi 3 fasa, melilit kembali motor induksi*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan akan kehadirat Allah SWT Yang Maha Kuasa lagi Maha Mengetahui yang telah melimpahkan Rahmat, Nikmat dan Anugerah-Nya sehingga dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “*Perencanaan Lilitan Motor Induksi 3 Fasa 220/380V*” ini dengan baik.

Terselesaikannya proyek akhir beserta laporannya tidaklah lepas dari bantuan-bantuan pihak lain. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis atas dukungan baik moril maupun materil selama pelaksanaan Proyek Akhir.
2. Ibu Nurhening Yuniarti, M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam pembuatan Proyek Akhir.
3. Bapak Sunyoto, M.Pd selaku Penasehat Akademik kelas C 2011
4. Bapak Totok Heru Tri Maryadi, M.Pd selaku Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Bapak Moh Khairudin, Ph.D selaku koordinator prodi D3 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Bapak Toto Sukisno,M.Pd selaku Kordinator Proyek Akhir D3 tahun 2015 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
7. Bapak Drs Nyoman Astra selaku Kordinator Proyek Akhir D3 tahun 2016 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

9. Para Dosen, Teknisi dan Staf Jurusan Pendidikan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman dan bantuannya selama ini sehingga dapat terselesaikannya pembuatan proyek akhir ini.
10. Teman-teman kelas C dan B angkatan 2011 yang senantiasa memberikan kebersamaan.
11. Semua pihak terkait yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan baik materi maupun semangat. Semoga kebaikan kalian menjadi amal ibadah.

Penulis berharap semoga laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi diri sendiri dan semua pihak. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Yogyakarta, Februari 2016

Hormat saya,

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
 BAB 1 PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan	4
F. Manfaat	4
G. Keaslian Gagasan	5
H. Konsep Perancangan	5
 BAB II PENDEKATAN DAN PEMECAHAN MASALAH	
A. Gambaran Umum Motor Induksi	6
B. Konstruksi Motor induksi	7
1. Stator	7
2. Rotor	11
3. Cela udara	14
C. Keuntungan dan kerugian menggunakan motor induksi 3 fasa	16
1. Keuntungan motor induksi 3 fasa	16

2. Kerugian motor induksi 3 fasa	16
D. Prinsip medan magnit putar	16
E. Prinsip kerja motor induksi	19
F. Prinsip terjadinya slip	22
G. Efisiensi motor induksi 3 fasa	24
H. Aliran daya pada motor induksi 3 fasa	27
I. Kerugian pada motor induksi 3 fasa	28
1. Kerugian Pada Motor Listrik	28
2. Kenaikan Suhu Pada Kumparan.....	30
J. Isolasi motor listrik	31
K. Desain kelas motor induksi	31
L. Karakteristik motor induksi 3 fasa	33
M. Torsi motor	33
N. Lilitan motor induksi 3 fasa	35
O. Perawatan motor induksi 3 fasa	37
P. Komponen pendukung	39
1. Kawat tembaga	39
2. Prespan	40
3. Serlak	40
Q. Melilit motor induksi 3 fasa	40

BAB III KONSEP DAN PERENCANAAN

A. Analisis kebutuhan	42
B. Implementasi	43
1. Menghitung jumlah slot stator	44
2. Menghitung langkah lilitan tiap grup perfasa/alur	44
3. Langkah menghitung jumlah kutub perfasa	45
4. Menghitung langkah pergeseran fasa	46
5. Menghitung jumlah kawat tiap slot	47
6. Menghitung luas penampang kawat yang digunakan	48
7. Menggambar atau mendesain bentuk belitan(alur)	49
C. Rancang Bangun Pengujian.....	51
D. Rencana Pengujian.....	55
1. Uji teknis.....	55
2. Uji fungsi	56

BAB IV HASIL PEMBAHASAN

A. Identifikasi (pendataan)	56
B. Perencanaan lilitan	58

C. Rencana Pengujian.....	68
1. Uji Teknis.....	68
2. Uji Fungsi.....	69
D. Proses Pengujian.....	69
E. Hasil Pengujian.....	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN	78
B. KETERBATASAN	79
C. SARAN	79

DAFTAR PUSTAKA xvii

LAMPIRAN-LAMPIRAN xix

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tabel Jenis Kehilangan Pada Motor	25
Tabel 2. Tabel Isolasi Motor Induksi.....	31
Tabel 3. Tabel daftar dan Bentangan Lilitan Motor	63
Tabel 4. Tabel Pengujian	70
Tabel 5. Data Pengujian Hambatan Kumparan Stator Motor	72
Tabel 6. Data Pengujian Induktansi Motor	73
Tabel 7. Data pengujian sambungan Y dengan beban generator + lampu pijar 15 wat.....	74
Tabel 8. Data pengujian sambungan Y dengan tanpa beban	75
Tabel 9. Data pengujian sambungan Δ dengan beban generator + lampu pijar 15 watt.....	25
Tabel 10 Data pengujian sambungan Δ dengan Tanpa beban.....	77

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Motor Induksi Stator Kosong.....	9
Gambar 2. Stator/alur Lempengan Besi.....	9
Gambar 3. Kawat Kumparan Tembaga	10
Gambar 4. Rotor Sangkar (<i>Squirrel Cage Rotor</i>)	12
Gambar 5. Skematik Motor Induksi Rotor Belitan.....	13
Gambar 6. Rotor Lilit dan Konstruksi Motor Induksi Rotor Lilit.....	14
Gambar 7. Gambar Nyata Celah Udara	14
Gambar 8. Skema Celah Udara	15
Gambar 9. Kumparan Tembaga (Belitan).....	15
Gambar 10. a). Diagram Phasor Fluksi Tiga Fasa b). Arus Tiga Fasa	18
Gambar 11. Arah Fluks.....	18
Gambar 12. Diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t1,t2,t3,t4	19
Gambar 13. Medan Putar Pada Motor 3 Fasa	21
Gambar 14. Blok Diagram Terjadinya Slip Motor.....	23
Gambar 15. Perbandingan Antara Motor Yang Berefisiensi Tinggi Dengan Motor Standar	26
Gambar 16. Diagram alir daya	27
Gambar 17. Grafik Torsi.....	33
Gambar 18. Jenis bentuk kumparan/bentangan.....	36
Gambar 19. Name Plate Yang Tertera Pada Motor Induksi 3 Fasa	42

Gambar 20. Slot Stator	44
Gambar 21. Banyaknya Langkah Lilitan Tiap Grup Perfasa/alur.....	45
Gambar 22. Peletakan Pergeseran Fasa 1 ke Fasa 2.....	47
Gambar 23. Jumlah Gulungan Lilitan Pergang/slot	48
Gambar 24. Besar Kawat Tembaga Yang Digunakan.....	49
Gambar 25. Langkah Bentangan/kumparan.....	50
Gambar 26. Langkah Bentangan/kumparan Penuh Melingkar.....	51
Gambar 27 Skema Plat Bentuk L	52
Gambar 28. Skema Plat Biasa	53
Gambar 29. Skema Sederhana	53
Gambar 30. Skema Rancang Bangun Tampak Atas.....	53
Gambar 31. Skema Rancang Bangun Tampak Samping	54
Gambar 32. Gambar Nyata Bangun Dudukan Motor dan Generator	55
Gambar 33. Gambar Nyata Lengkap Dudukan Generator Motor, Pully dan Strength Dinamo	55
Gambar 34. <i>Name plate</i> Pada Motor	57
Gambar 35. Motor Induksi 3 Fasa Setelah Dibongkar	58
Gambar 36. Panjang Alur Untuk Mengetahui Panjang Belitan Gelungan	60
Gambar 37. Bentangan Lilitan Sesuai Tabel Perhitungan	64
Gambar 38. Bentangan Lilitan Lingkaran Penuh Sesuai Tabel Perhitungan...	64
Gambar 39. Sistem sambungan akhir-akhir, awal-awal.	65

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerja yang baik. Motor induksi terdiri dari dua bagian: stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar, dimana kedua bagian ini dipisahkan oleh suatu celah udara. Bagian stator dihubungkan ke catu tegangan bolak-balik (AC), sedangkan bagian rotor tidak dihubungkan secara listrik ke pencatu tetapi memiliki arus yang dihasilkan oleh adanya arus induksi yang ditimbulkan dari arus stator, mirip dengan kerja suatu transformator. Bekerjanya motor induksi bergantung pada medan magnetik putar yang ditimbulkan dalam celah udara motor oleh adanya arus stator. Lilitan stator tiga fase dililitkan dengan lilitan fasenya berjarak 120 derajat listrik. Jika lilitan diberi energi dari catu tiga fase maka akan timbul fluksi pada masing-masing fase. Ketiga fluksi tersebut bergabung membentuk fluksi yang bergerak mengelilingi permukaan stator pada kecepatan konstan. Fluksi ini disebut medan magnetik berputar. Dengan adanya medan putar ini akan menyebabkan rotor berputar dengan arah yang sama dengan fluks putar.

Dari jurusan Pendidikan Teknik Elektro banyak terdapat motor induksi 3 fasa yang banyak terbakar kumparan/lilitannya hanya terbengkalai dan didiamkan saja, hal tersebut dikarenakan motor itu sendiri sudah sangat

lama ataupun ada kendala dalam sambungan fasa maupun konsleting sambungan kumparan dikarenakan timbulnya panas didalam stator jika motor tersebut beruputar terus-menerus. Karena untuk memperbaiki motor yang rusak/terbakar lilitannya memerlukan biaya yang tidak sedikit maupun konsep perencanaan yang sangat matang, maka hal tersebut akan saya angkat pada untuk proyek akhir ini sebagai kasus yang sering terjadi di lingkungan bengkel.

Dalam pembahasan yang akan dibahas adalah motor listrik induksi rotor sangkar, banyak digunakan karena motor dengan menggunakan rotor sangkar sangat mudah dalam perawatannya. Sebelum melilit motor, ada beberapa tahapan yang dilakukan seperti untuk hal yang pokok dan sangat penting yaitu harus dapat menentukan perhitungan kumparan serta langkah-langkah yang akan dilakukan selanjutnya.

Setelah semuanya dilakukan maka akan menghasilkan unit motor induksi 3 fasa dengan lilitan baru, maka akan dilakukan beberapa tahapan pengujian diantaranya yaitu resistansi, rpm, tegangan, arus, $\cos \phi$, tahanan isolasi dan pembebanan. Sehingga dapat mengetahui hasil unit motor induksi 3 fasa dengan lilitan baru dapat bekerja normal sesuai perhitungan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yang ditemui sebagai berikut:

1. Masih banyaknya lilitan motor induksi 3 fasa yang rusak akibat terbakar yang hanya didiamkan rusak dan terbengkalai.
2. Menentukan perhitungan serta langkah-langkah dalam melilit motor induksi 3 fasa.
3. Melakukan pengujian hasil dari konsep yang telah direncanakan.

C. Batasan Masalah

Proses dalam merencanakan lilitan motor induksi 3 fasa supaya lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasannya, maka batasan masalah yang dibahas dalam pembuatan proyek akhir adalah sebagai berikut:

1. Sumber tegangan masukan adalah 3 fasa 220/380 V
2. Desain bentangan kumparan stator
3. Rencana perhitungan sesuai name plate
4. Hasil rancangan

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan batasan masalah pada proyek akhir ini maka diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah cara merencanakan lilitan motor induksi 3 fasa ini, motor yang akan dililit dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diinginkan?
2. Bagaimanakah unjuk kerja motor induksi 3 fasa hasil dari konsep dan rancangan dengan lilitan baru?

E. Tujuan

Tujuan dari proyek ini adalah :

1. Merencanakan lilitan motor induksi 3 fasa.
2. Motor induksi 3 fasa hasil dari konsep dan rancangan dengan lilitan baru yang telah dibuat dapat bekerja sesuai perencanaan.

F. Manfaat

Proyek ini diharapkan dapat memberi manfaat, antara lain:

1. Menambah pengetahuan akademik untuk mahasiswa setelah membaca pembuatan proyek akhir ini sebagai referensi .
2. Dapat di praktikan untuk mata kuliah praktik mesin listrik dan pemeliharaan dan perbaikan listrik.

3. Jika terjadi kebakaran lilitan pada motor 3 fasa, dapat digunakan untuk melilit ulang kembali lilitan yang terbakar.

G. Keaslian Gagasan

Penyusunan proyek akhir ini diusulkan oleh koordinator Proyek Akhir mahasiswa dengan judul “Perencanaan Lilitan Motor Induksi 3 Fasa 220/380 V”, adalah asli dari penulis dan didapat motor induksi rusak/terbakar dapat digunakan untuk memberdayakan alat untuk diperbaiki dan dapat memunculkan ide perbaikan motor induksi untuk lebih dikembangkan lagi.

BAB II

PENDEKATAN DAN PEMECAHAN MASALAH

A. Gambaran Umum Motor Induksi

Secara umum, motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik.

Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan didalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar.

Motor induksi 1 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 1 fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin,

lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1 fasa mempunyai daya keluaran yang rendah.

Ditinjau dari tegangannya yang menyulainya, motor induksi dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Motor induksi satu fasa
2. Motor induksi tiga fasa

Secara teoritis motor induksi satu phasa dapat kita bedakan menjadi:

1. Motor phasa belah
2. Motor kapasitor
3. Motor kutub bayangan

Sedangkan motor induksi tiga fasa (*Three phase induction motor*) juga disebut dengan *poly phase induction motor* adalah suatu motor listrik yang mempunyai 3 buah kumparan stator yang dipasang pada keliling stator yang letaknya masing-masing bergeser 120° listrik maupun mekanik. Sesuai dengan namanya, maka motor jenis ini memerlukan sumber tegangan bolak-balik tiga fasa.

B. Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

1. Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan

rotornya. Secara prinsip stator motor induksi adalah sama dengan stator motor sinkron maupun generator. Pada stator terdapat susunan kawat yang dimasukkan kedalam alur untuk menerima belitan stator dari motor akan membawa belitan menurut jenis motornya misalkan motor satu fasa, maka statornya akan membawa belitan satu fasa, di mana diumpan dari penyedia tegangan satu fasa sedangkan untuk motor jenis tiga fasa, maka statornya akan membawa belitan tiga fasa yang diumpan dengan penyedia tegangan tiga fasa. Jumlah kutub dari suatu motor akan menentukan lambat cepatnya putaran suatu motor. Makin banyak jumlah kutub yang terpasang maka makin lambat putaran yang dihasilkan sedangkan apabila jumlah kutubnya makin sedikit maka putaran yang dihasilkan makin cepat.

Hal semacam ini dapat dihitung dari:

Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas/mika (Gambar 2).

Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (Gambar 1). Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang

disebut belitan phasa dimana untuk motor tiga phasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120 derajat.

Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 3). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga phasa.



Gambar 1. Motor Induksi Stator Kosong



Gambar 2. Stator/alur Lempengan Besi



Gambar 3. Kawat Kumparan Tembaga

Keterangan gambar:

- a. Gambar 1 adalah stator dalam keadaan kosong/element laminasi inti yang terbuat dari lempengan besi.
- b. Gambar 2 adalah stator dalam keadaan isi/element laminasi inti yang berbentuk alur dimana akan ditempatkan lilitan yang sudah diberi isolasi berbentuk mika.
- c. Gambar 3 adalah stator dalam keadaan isi/element laminasi inti yang berbentuk alur dimana akan ditempatkan lilitan yang sudah diberi isolasi berbentuk mika dan sudah di penuhi oleh lilitan kawat.

Rangka stator motor induksi ini didesain dengan baik dengan tujuan diantaranya sebagai berikut:

- a. Menutupi inti dan kumparannya.
- b. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).

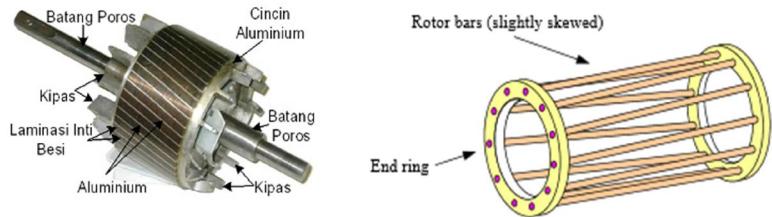
- c. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didesain untuk tahan terhadap gaya putar dan goncangan.
- d. Berguna sebagai sarana rumahan ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor. Rotor dari motor induksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Rotor Sangkar (*squirrel cage rotor*)

Hampir 90% dari motor induksi banyak menggunakan rotor dengan jenis ini. Rotor jenis ini banyak digunakan pada motor induksi 3 fasa yang berdaya relatif kecil, Karena rotor jenis ini, pada motor induksi adalah paling sederhana dan kuat rotor jenis ini dibuat dari baja silicon dan terdiri dari inti yang berbentuk silinder yang sejajar dengan alur/slot dan diisi dengan tembaga atau alumunium yang berbentuk batangan. Berikut ini adalah gambar dari rotor sangkar (*squirrel cage rotor*) yang di tunjukkan oleh Gambar 4.

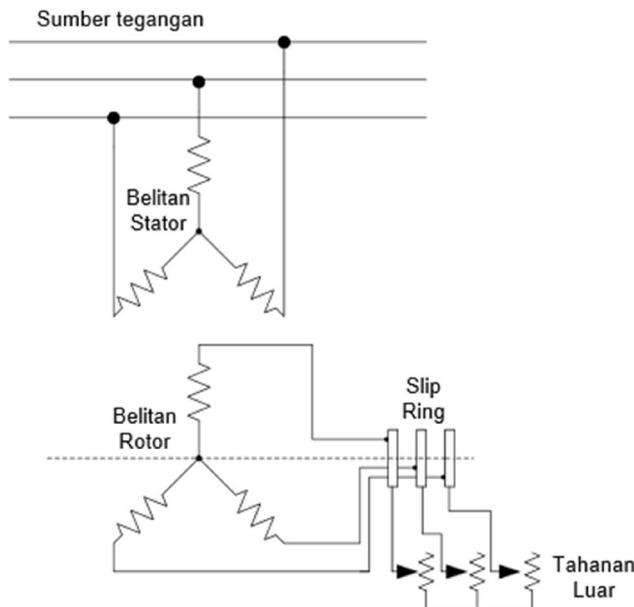


Gambar 4. Rotor Sangkar (*Squirrel Cage Rotor*)
 (Sumber: <https://www.google.com/search?q=bab+III+motor+induksi&ie=utf-8&oe=utf-8>)

2. Rotor Belit

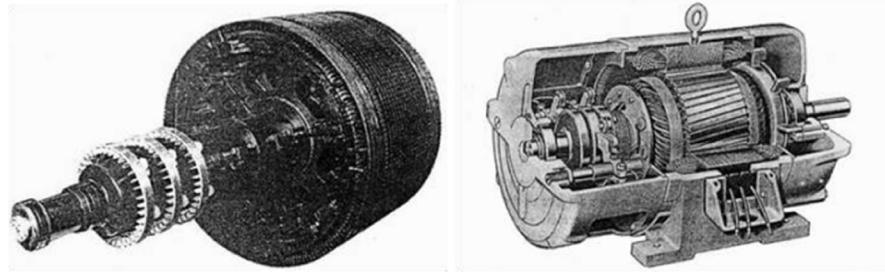
Rotor ini memiliki belitan–belitan kawat jadi jika di distribusikan maka motor jenis ini juga dapat kita fungsikan sebagai alternator (generator) dengan demikian pada rotor ini akan memiliki kutub–kutub pada stator belitan internal rotor dari motor ini dihubungkan secara bintang (tiga fasa) kemudian terminal belitan tersebut dikeluarkan dan disambungkan ke tiga buah slip ring terisolasi yang diletakkan pada poros motor dengan sikat diatasnya. Ketiga sikat ini secara eksternal dihubungkan ke suatu reostat yang membentuk bintang. Reostat pada motor ini berfungsi untuk meningkatkan torsi asut motor pada saat periode pengusutan. Apabila motor ini bekerja pada kondisi normal, maka slip ring secara otomatis terhubung pendek. Sehingga ring diatas tangkai terhubung bersama oleh suatu logam yang tertekan selanjutnya secara otomatis sikat tersebut terangkat dari slip ring yang berfungsi untuk mengurangi rugi–rugi gesekan. Selain dua bagian utama tersebut

motor induksi juga mempunyai konstruksi tambahan antara lain rumah stator, tutup stator, kipas dan terminal hubung.



Gambar 5. Skematik Motor Induksi Rotor Belitan
(Sumber:<https://www.google.com/search?q=motor+induksi+tiga+fasa&ie=utf-8&oe=utf-8>)

Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar. Konstruksi motor tiga phasa rotor belitan ditunjukkan pada Gambar 6.



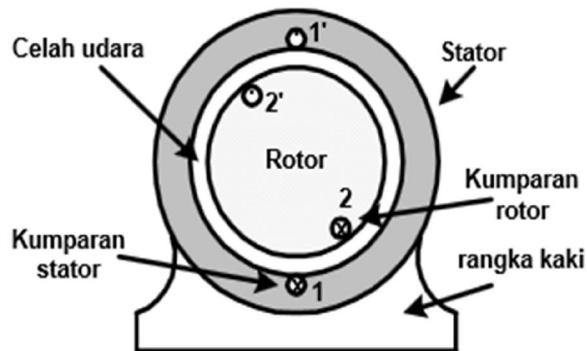
Gambar 6. Rotor Lilit dan Konstruksi Motor Induksi Rotor Lilit
(Sumber: Charles a. Gross "Electric Machines" 2006)

3. Celah Udara

Celah udara merupakan tempat berpindahnya energi dari startor ke rotor. Ditinjau dari konstruksi rotornya ada dua macam lilitan yaitu rotor sangkar dan rotor belit, pada motor tiga fasa biasanya digunakan rotor sangkar. Berikut ini adalah gambar dari celah udara:



Gambar 7. Gambar Nyata Cela Udara



Gambar 8. Skema Celah Udara
 (Sumber:<http://electro-creations.blogspot.co.id/2014/04/motor-induksi-asinkron.html>)

Celah udara tidak bisa dipisahkan dengan belitan, sedangkan belitan (kumparan) yang terbuat dari tembaga yang sudah disusun sedemikian rupa dengan hitungan tertentu. Celah udara itulah terletak diantara rotor dan stator diatas belitan (kumparan) tersebut.

Berikut ini adalah gambar belitan:



Gambar 9. Kumparan Tembaga (Belitan)

C. Keuntungan dan Kerugian Menggunakan Motor Induksi 3 Fasa

1. Keuntungan motor induksi tiga fasa:

- a. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe *squirrel cage*).
- b. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
- c. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang diakibatkannya dapat dikurangi.
- d. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.
- e. Biaya perawatannya murah bahkan hampir tidak perlu biaya perawatan

2. Kerugian motor induksi 3 fasa

- a. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi(tidak mudah dikontrol)
- b. Kecepatannya menurun seiring dengan pertambahan beban.
- c. Kopel awal mutunya rendah dibanding dengan motor DC shunt
- d. Arus start biasanya 5 sampai 7 kali dari arus nominal

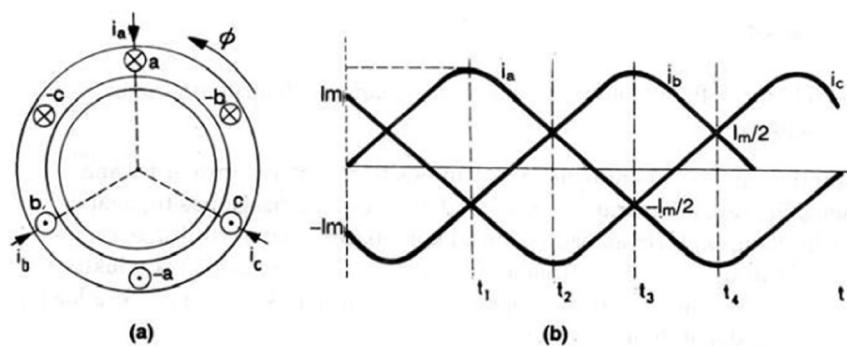
D. Prinsip Medan Magnit Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan oleh kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan pada

fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa delta (Δ) atau bintang (Y).

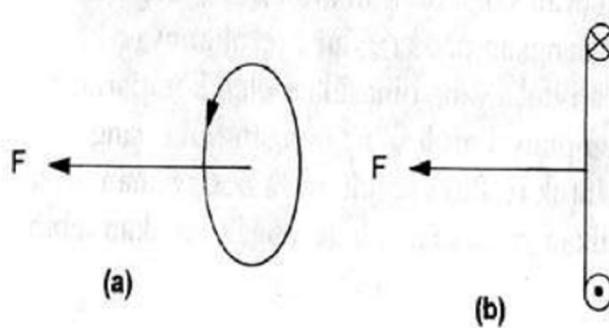
Misalkan kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan tiga fasa, dengan beda masing-masing 120° (Gambar 10.a) dan dialiri arus sinus, distribusi arus i_a i_b i_c sebagai fungsi waktu adalah gambar (Gambar 10.b) pada keadaan t_1 t_2 t_3 dan t_4 fluks reslutan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah gambar c.

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



Gambar 10. a). Diagram Phasor Fluksi Tiga Fasa b). Arus Tiga Fasa
(Sumber: Khotari = I J Nagrath "Electric Machines" 2004)

Analisis secara vector didapatkan atas dasar arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkar sesuai dengan perputaran sekrup

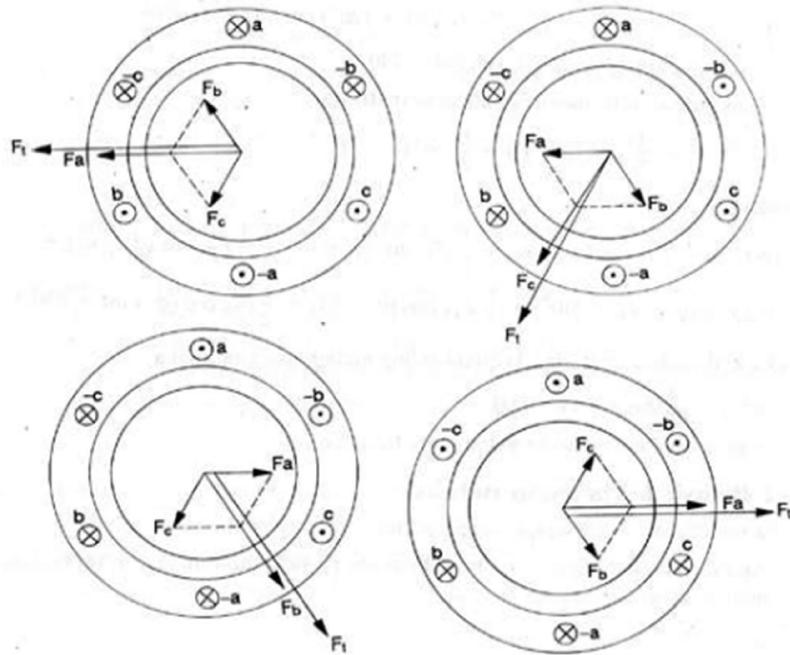


Gambar 11. Arah Fluks

(Sumber:<http://ariestarlight.blogspot.co.id/2011/04/perinsip-medan-putar.html>)

Gambar Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkar ke besaran fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir.

Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif atau negatifnya arus yang mengalir pada kumparan a-a, b-b, c-c yaitu; harga positif, apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik a,b,c), sedangkan negatif pada titik(.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (Gambar 11.) Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t_1, t_2, t_3, t_4 dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t_1, t_2, t_3, t_4

(sumber: Stephen J. Chapman "Electric Machines Fundamentals" 2004)

Dari semua diagram vektor di gambar 12 dapat pula dilihat bahwa fluks reslutan berjalan berputar.

E. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan gaya gerak magnet yang berputar. Garis-garis gaya magnet yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena

penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor.

Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya magnet yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami *gaya Lorentz* yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

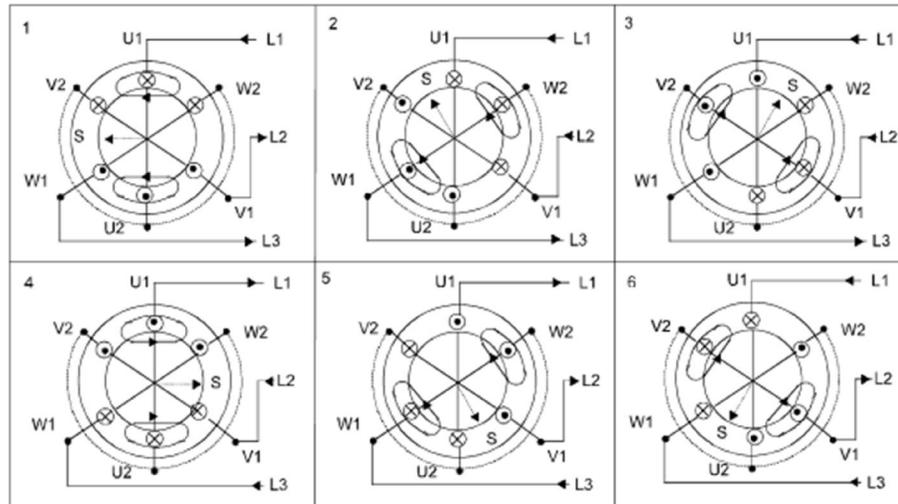
Medan magnet putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan *Hukum Lenz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan 66 rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun.

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutup tertentu. Jumlah kutup ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya.

Makin besar jumlah kutup akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron ini adalah sebagai berikut.

Bila pada ke-3 fasa belitan stator diberikan tegangan 3-fasa seimbang maka pada inti stator akan terjadi medan putar, yang berputar sesuai dengan kecepatan sinkron.

Fluksi yang berputar disepanjang inti stator itu akan memotong batang-batang konduktor rotor, sehingga terimas suatu tegangan imbas di rotor. Karena batang rotor terhubung singkat maka akan mengalir arus rotor pada batang-batang rotor tersebut, yang merupakan gaya putar rotor. Motor berputar dengan kopel putar sebesar gaya tersebut kali jari-jari (jarak batang konduktor - as).



Gambar 13. Medan Putar Pada Motor 3 Fasa
(Sumber:<http://slideplayer.info/slide/2421866/>)

Jumlah putaran stator motor Asinkron permenit dapat dihitung dengan rumus :

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

n = Jumlah putaran / menit

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah pasang kutub

Bila salah satu fasa masukan terputus, jadi motor hanya mendapat masukan 2-fasa maka tak akan terjadi medan putar sehingga kopel motor tidak terbangkitkan dan motor gagal *start*. Pada kondisi motor tanpa beban maka putaran motor mendekati N_s .

F. Prinsip Terjadinya Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya hal ini terjadi, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang di induksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor, dan karenanya tidak akan menghasilkan kopel. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kecepatan sinkron agar adanya tegangan induksi pada rotor, dan akan menghasilkan arus di rotor, arus induksi ini akan berinteraksi dengan fluks listrik sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kecepatan rotor dengan kecepatan sinkron disebut slip(s). Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, tetapi lebih umum dinyatakan sebagai persen dari kecepatan sinkron

$$\text{Slip (s)} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Dimana :

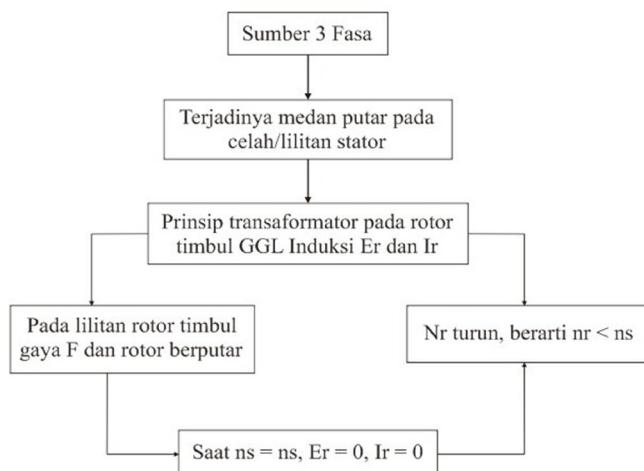
ns = kecepatan sinkron

nr = kecepatan rotor

Dari persamaan rumus slip, dapat memberikan informasi yaitu:

1. Saat $s=1$ di mana $nr=0$, ini berarti rotor masih dalam keadaan diam atau akan berputar. $s=0$ menyatakan bahwa $ns=nr$, ini berarti rotor berputar sampai kecepatan sinkron. Hal ini dapat terjadi jika arus dc yang diinjeksikan ke belitan rotor, atau rotor digerakkan secara mekanik.
2. $0 < s < 1$ ini berarti kecepatan rotor di antara keadaan diam dengan kecepatan sinkron. Kecepatan rotor dalam keadaan inilah dikatakan kecepatan tidak sinkron

Secara singkat prinsip kerja terjadinya slip motor adalah seperti yang digambarkan dalam blok diagram berikut ini:



Gambar 14. Blok Diagram Terjadinya Slip Motor
(sumber : sunyoto,1995 : 10)

G. Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan daya keluaran motor yang digunakan terhadap daya masukan pada terminalnya”, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

Dengan :

η = Efisiensi Motor (%)

Pout = Daya Keluaran Motor (watt)

Pin = Daya Masukan Motor (watt)

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

1. Usia. Motor baru lebih efisien
2. Kapastas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya
3. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis rotor. Sebagai contoh, bahwa motor dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien dari pada motor dengan rotor belitan / cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *screen protected drip-proof* (SPDP).
6. Peng gulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.

7. Beban, seperti yang dijelaskan dibawah

Efisiensi motor ditentukan oleh rugi-rugi atau kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan dasar motor dan kondisi sistem operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. Tabel 1 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Tabel 1. Tabel jenis kehilangan pada motor (BEE India, 2004)

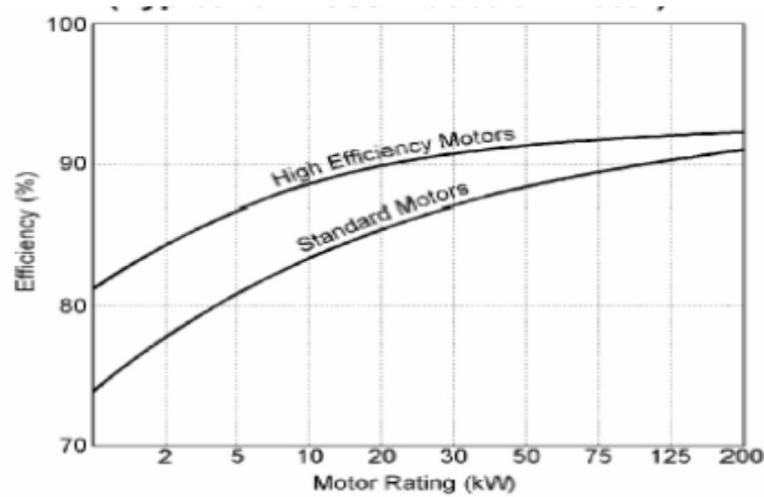
Jenis kehilangan	Percentase kehilangan total (100%)
Kehilangan tetap atau kehilangan inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan stator I^2R	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Kehilangan gesekan dan penggulungan ulang	15
Kehilangan beban yang menyimpang	5

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban antara 75% sampai dengan 80%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat.

Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.

Bentuk perbandingan karakteristik antara motor induksi yang berefisiensi tinggi dengan motor standar dipelihatkan pada gambar 16. Untuk

alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label/plat nama motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab plat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya. Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari tabel khusus untuk nilai efisiensi motor.



Gambar 15. Perbandingan Antara Motor Yang Berefisiensi Tinggi Dengan Motor Standar

(Sumber:<http://elektronika-dasar.web.id/motor-listrik-dengan-efisiensi-energi/>)

H. Aliran Daya Pada Motor Induksi 3 Fasa

Pada motor induksi, tidak ada sumber listrik yang langsung terhubung ke rotor, sehingga daya yang melewati celah udara sama dengan daya yang diinputkan ke rotor. Daya total yang dimasukkan pada kumparan stator (P_{in}) dirumuskan dengan:

Dimana :

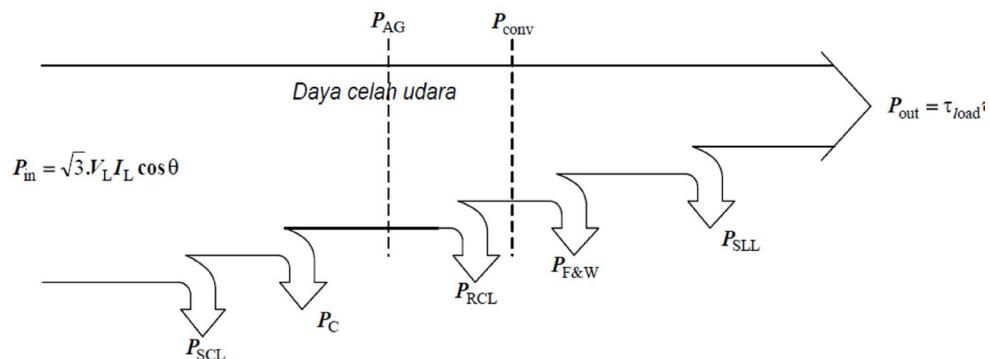
Pin = Daya Total Masukan Pada Kumparan Stator (Watt)

V₁ = Tegangan Sumber (Volt)

I1 = Arus Masukan (Ampere)

$\cos \phi$ = Perbedaan Sudut Phasa antara arus masukan dengan tegangan sumber.

Berikut ini adalah diagram aliran daya:



Gambar 16. Diagram alir daya
(Sumber: Stephen J. Chapman "Electric Machines Fundamentals" 2004)

Dimana :

1. $SCL P$ = rugi – rugi tembaga pada kumparan stator (Watt)
2. $C P$ = rugi – rugi inti pada stator (Watt)
3. $AG P$ = daya yang ditransfer melalui celah udara (Watt)
4. $RCL P$ = rugi – rugi tembaga pada kumparan rotor (Watt)
5. $F WP q$ = rugi – rugi gesek + angin (Watt)
6. $SLL P$ = stray losses (Watt)
7. $CONV P$ = daya mekanis keluaran (output) (Watt)

I. Kerugian Pada Motor Induksi 3 Fasa

1. Kerugian Pada Motor Listrik

Kerugian panas internal motor listrik Pada dasarnya setiap motor listrik yang beroperasi cenderung mengeluarkan panas. Panas ini timbul oleh karena adanya kerugian-kerugian daya yang dihasilkan motor listrik.

Kerugian ini antara lain:

- a. Rugi-rugi inti, yaitu energi yang diperlukan untuk memagnetisasikan beban inti (*histerisis*) dan kerugian-kerugian karena timbulnya arus listrik yang kecil yang mengalir pada inti (*arus eddy*).
- b. Rugi-rugi tembaga, yaitu rugi-rugi panas (I^2R) pada lilitan stator karena arus listrik (I) mengalir melalui pengantar kumparan dengan tahanan (R).
- c. Kerugian fluks bocor, yaitu akibat dari fluks bocor yang diinduksikan oleh arus beban bervariasi sebagai kuadrat arus beban.

- d. Kerugian angin dan gesekan, kerugian ini diakibatkan oleh gesekan angin dan bantalan terhadap putaran motor.
- e. Panas eksternal motor listrik Dalam melakukan tugas operasinya, motor listrik sebagai sumber tenaga mekanik untuk penggerak haruslah dilindungi terhadap gangguan-gangguan eksternal, yang dapat menimbulkan panas pada motor listrik saat beroperasi.

Gangguan-gangguan eksternal itu antara lain:

- a. Gangguan mekanik, meliputi:
 - 1) Bantalan (*bearing*) yang sudah aus.
 - 2) Salah satu tegangan fasa terbuka akibat kontaktor yang rusak.
 - 3) Kumparan stator yang terhubung singkat.
- b. Gangguan fisik sekeliling, meliputi:
 - 1) Terjadi kerusakan akibat terbentur sesuatu sehingga terjadi perubahan fisik pada motor listrik.
 - 2) Suhu kamar dimana motor listrik tersebut dioperasikan.
 - 3) Pendinginan (kipas) motor yang tidak baik.
- c. Gangguan dalam operasi dari sistem keseluruhan
 - 1) Akibat pembebangan lebih.
 - 2) Akibat pengasutan motor listrik.
 - 3) Kenaikan suhu pada kumparan.

2. Kenaikan Suhu Pada Kumparan

Bila arus listrik (I) mengalir dalam rangkaian dengan tahanan (R) selama t detik, nilai kalorifik J (Joule) adalah:

$$J = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (Joule)} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

Dengan:

J = Nilai Kalorifik (Joule)

$$I = \text{Arus}(A)$$

R = Hambatan (ohm)

Oleh karena itu, bila motor listrik dijalankan, suhu motor akan naik sebanding dengan waktu kerjanya sehingga jika motor beroperasi, kenaikan suhunya dapat diketahui dengan mengukur tahanan kumparan sebelum dan sesudah dioperasikan selama waktu tertentu dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{Rc}{Rh} = \frac{1 + \alpha(t1)}{1 + \alpha(t2)} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

Rc = Tahanan kumparan sebelum dioperasikan (Ohm)

Rh = Tahanan kumparan setelah dioperasikan (Ohm)

α = Koefisien temperatur tahanan dari tembaga (0,00428 Ohm/°C)

t1 = Temperatur ruang awal (°C)

t₂ = Temperatur setelah beroperasi (°C)

J. Isolasi Motor Listrik

Isolasi motor listrik diklasifikasikan dengan huruf sesuai dengan kemampuannya masing-masing terhadap suhu untuk bertahan tanpa penurunan yang serius dari alat isolasinya. Ukuran suhu kerja isolasi didasarkan pada suhu kamar 40° Celcius. Tabel 2. menunjukkan kenaikan suhu diatas suhu kamar untuk klas-klas isolasi. Dengan mempertimbangkan bahwa air mendidih pada 100° Celcius dan suhu di bawahnya dimana motor yang bekerja dapat mentolerir, meskipun sebagian besar tidak akan terbakar atau meleleh jika batas ini dilampaui, maka umur pemakaian isolasi akan sangat berkurang. Jenis isolasi motor yang paling umum digunakan adalah klas B.

Tabel 2. Tabel isolasi motor induksi

Jenis Motor	Isolasi		
	Klas B	Klas F	Klas H
Motor tanpa SF. Kenaikan suhu pada beban yang dirancang.	80°C	105°C	125°C
Motor dengan SF 1,15. Kenaikan suhu pada 115% beban.	90°C	115°C	135°C

K. Desain Kelas Motor Induksi

Motor asinkron yang sering kita temukan sehari-hari misalnya adalah : kipas angin, mesin pendingin, kereta api listrik gantung, dan lain sebagainya. Untuk itu perlu diketahui kelas-kelas dari motor tersebut untuk mengetahui unjuk kerja dari motor tersebut. Adapun kelas-kelas tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kelas A : Torsi start normal, arus start normal dan slip kecil

Tipe ini umumnya memiliki tahanan rotor sangkar yang rendah. Slip pada beban penuh kecil atau rendah namun efisiensinya tinggi. Torsi maksimum biasanya sekitar 21% dari torsi beban penuh dan slipnya kurang dari 21%. Motor kelas ini berkisar hingga 20 Hp

2. Kelas B : Torsi start normal, arus start kecil dan slip rendah

Torsi start kelas ini hampir sama dengan kelas A tetapi arus startnya berkisar 75% I_{fl} . Slip dan efisiensi pada beban penuh juga baik. Kelas ini umumnya berkisar antara 7,5 Hp sampai dengan 200 Hp. Penggunaan motor ini antara lain : kipas angin, boiler, pompa dan lainnya.

3. Kelas C : Torsi start tinggi dan arus start kecil

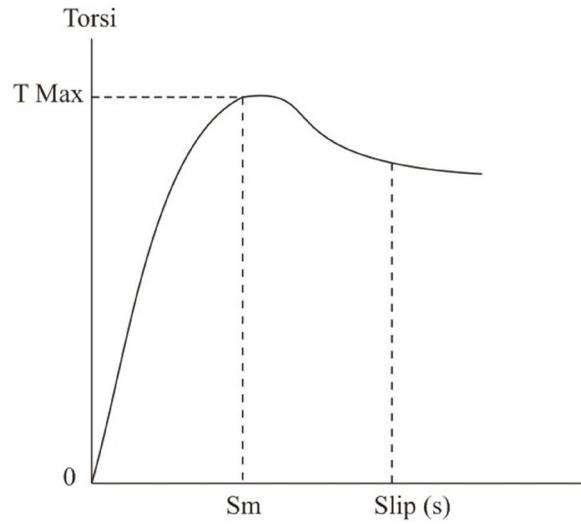
Kelas ini memiliki resistansi rotor sangkar yang ganda yang lebih besar dibandingkan dengan kelas B. Oleh sebab itu dihasilkan torsi start yang lebih tinggi pada arus start yang rendah, namun bekerja pada efisiensi dan slip yang rendah dibandingkan kelas A dan B.

4. Kelas D : Torsi start tinggi, slip tinggi

Kelas ini biasanya memiliki resistansi rotor sangkar tunggal yang tinggi sehingga dihasilkan torsi start yang tinggi pada arus start yang rendah. Sebagai tambahan pada keempat kelas tersebut diatas, NEMA juga memperkenalkan desain kelas E dan F, yang sering disebut motor induksi soft-start, namun desain kelas ini sekarang sudah ditinggalkan.

L. Karakteristik Motor Induksi 3 Fasa

Untuk karakteristik motor induksi 3 fasa baik motor induksi rotor sangkar maupun rotor lilit adalah sebagai berikut,gambar di bawah menunjukkan karakteristik motor induksi 3 fasa



Gambar 17. Grafik Torsi
(Sunyoto, 1995 : 25)

A. Pada gambar diatas,pada saat $T = \text{maksimum}$ dan saat slip motor = sm, yang besarnya

M. Torsi Motor

Untuk menentukan torsi pada motor 3 fasa,dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

Ket-

T = Torsi motor (Nm)

P= Daya motor (Watt)

N= Jumlah putaran motor (rpm)

Dalam motor induksi terdapat 3 macam daya, yaitu daya celah udara (P_{12}), daya rotor (P_2) dan daya poros (daya keluaran= P_0). Oleh karena itu torsi pada motor induksi 3 fasa dapat dibedakan menjadi : torsi pada celah udara (T_{12}) torsi pada rotor (T_2) dan torsi pada poros motor (torsi keluaran = T_0), besarnya sebagai berikut :

$$\text{Torsi pada rotor} = T_2 = P_2 / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

$$\text{Torsi pada poros} = T_{\text{out}} = P_0 / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

Jika terjadi perubahan beban, maka putaran motor akan berubah pula. Demikian pula slip motor juga akan berubah yang hal ini akan membuat harga reaktansi lilitan rotor (X_r) juga berubah. Dengan perubahan beban, suatu saat akan terjadi harga reaktansi rotor (X_{rr}) = hambatan lilitan rotor (R_r). Dalam keadaan yang demikian, torsi motor yang terjadi adalah maksimum.

$$X_{rr} = R_r$$

$$S \cdot X_{R0} = Rr$$

$$S = Rr/Xr0$$

Dengan kata lain bahwa torsi motor = maksimum pada saat harga reaktansi lilitan rotor saat jalan = Hambatan lilitan rotor atau pada saat slip motor (s) = S_m yang besarnya

$$Sm = Rr/Xr0$$

Pengaruh perubahan tegangan terhadap torsi motor

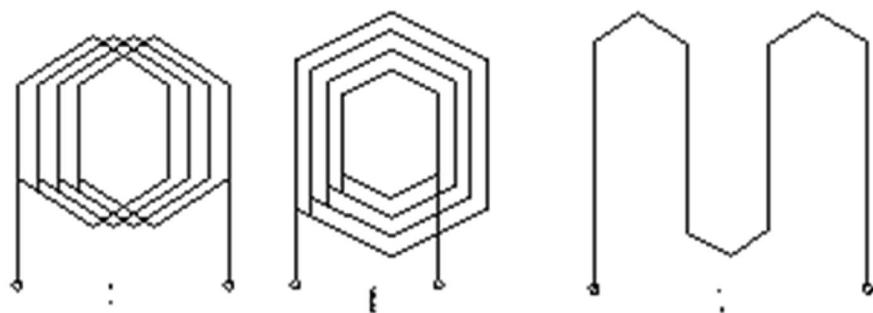
$$T = (3/\omega s) E_r 0 (R_r/s) / \{(R_r/s) + X_r 0\} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

Rumus tersebut dapat dituliskan bahwa karena E_0 sebanding dengan V , maka: T sebanding dengan V . sehingga jika terjadi penurunan tegangan, maka torsi motor akan berubah pula. Akan diperoleh suatu perbandingan:

N. Lilitan Motor Induksi 3 Fasa

Bentuk kumparan stator dari motor induksi 1 fasa dapat dibagi menjadi 3 macam, hal semacam ini adalah tergantung dari cara melilitkannya kedalam alur-alur stator. Bentuk kumparan-kumparan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Kumparan jerat atau lilitan bertumpuk (*Lap winding*) juga dapat dinamakan dengan lilitan spiral (seperti gambar a).
2. Kumparan terpusat (*concentric winding*) seperti gambar b.
3. Kumparan gelombang (*wave winding*) seperti gambar c.



Gambar 18. Jenis bentuk kumparan/bentangan

Dari gambar kumparan diperoleh macam-macam bentangan/kumparan yaitu:

1. Bentuk kumparan jerat
2. Bentuk kumparan sepusat
3. Bentuk kumparan gelombang.

Fungsi dari ketiga jenis kumparan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kumparan jerat (*spiral*) banyak digunakan untuk motor–motor (generator) dengan kapasitas yang relatif besar. Umumnya untuk kelas menengah keatas, walaupun secara khusus ada mesin listrik dengan kapasitas yang lebih besar, kumparan statornya menggunakan sistem kosentris.
2. Kumparan sepusat (*concentric*) pada umumnya sistem ini banyak digunakan untuk motor dan generator dengan kapasitas kecil. Walaupun ada juga secara khusus motor–motor dengan kapasitas kecil menggunakan kumparan dengan tipe spesial.
3. Kumparan gelombang/*wave winding* untuk motor dengan belitan sistem ini banyak digunakan kapasitor besar.

O. Perawatan Motor Induksi 3 Fasa

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silikon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal. Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi

pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu. Kondisi ambien dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor. Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfir yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi; tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan. Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktik perawatan yang baik akan meliputi sebagai berikut:

1. Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian *bearings* dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor)
2. Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakkan, penyebabnya yang harus diketahui.
3. Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya memberi rekomendasi untuk cara dan waktu pelumasan motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya 90 minyak atau gemuk yang berlebihan dari *bearing* motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.

4. Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan *bearings* lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan.
5. Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar. Sambungan-sambungan pada motor dan *starter* harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangnya.
6. Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilangan panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama: untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10°C di atas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu pegulungan ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.

P. Komponen Pendukung

1. Kawat Tembaga

Tembaga dan paduannya banyak sekali dipergunakan dalam aplikasi industri, karena daya hantar panas dan listriknya yang tinggi, daya tahan korosinya yang tinggi pada daerah yang lebar, mudah dibuat dan mudah didapat. Pembuatan tembaga murni kelas perdagangan sangat mudah dikerjakan dengan mesin liat dan dapat diperkeras dengan penggerjaan dingin ataupun dengan cara menambahkan unsur-unsur pemanas (pencampur). Unsur

pemadu yang sering digunakan adalah seng, aluminium, timah putih dan silikon.

Tembaga kasar yang baru keluar dari konverter yang disebut *blister copper* kemudian dimurnikan dalam *reverberatory furnace* dan untuk penggunaannya dalam bidang teknik listrik tembaga dapat diproduksi sampai kemurnian 99,9%. Paduan tembaga yang paling banyak digunakan adalah kuningan (tembaga seng) dan perunggu (tembaga timah putih).

Tembaga merupakan bahan tambang yang dicampur beberapa macam unsur lain. Setelah melalui beberapa proses pemurnian terdapatlah tembaga, warnanya merah, tembaga termasuk bahan yang tidak mengandung besi dan sangat penting, tembaga memiliki sifat-sifat yang sangat berharga dalam segi fisis, kimia, mekanis, dan kelistrikan. Sifat fisis tembaga dapat lebih tahan pada suhu tinggi dan udara lembab dibandingkan dengan baja, titik cair tembaga 1083°C dan titik didihnya mencapai 2595°C , sifat mekanis tembaga termasuk salah satu logam murni yang kuat. Bahan ini agak keras tetapi sangat kenyal, kekal dan dapat regang, karena memiliki sifat-sifat tersebut maka tembaga banyak digunakan, seperti halnya untuk lilitan motor listrik.

2. Prespan

Prespan juga sebenarnya kertas, bahan dasar pembuatannya sama dengan kertas hanya berbeda sifatnya saja. Dibandingkan dengan kertas, prespan lebih padat sehingga kurang menyerap air. Padat karena pembuatannya ditekan dengan tegangan tinggi sehingga lebih keras dan lebih kuat, tetapi

dapat dibengkokkan dengan tidak menjadikannya retak atau sobek sehingga baik sekali untuk penyekat alur stator atau rotor mesin listrik, juga pada transformator sebagai penyekat lilitan dan kawatnya.

Prespan ini di pasaran berbentuk lembaran atau gulungan dengan ukuran tebal antara 0,1 sampai 5 mm. Tegangan tembus mulai dari 25 sampai 30 kV/mm², kemampuan tahan terhadap panas mencapai 120°C. Karena daya menyerap air masih ada, maka dalam pelaksanaannya selalu masih perlu dilapisi penyekat.

3. Sirlak

Panas yang timbul pada bahan akibat arus listrik atau arus gaya magnet berpengaruh kepada penyekat termasuk pengaruh panas dari luar sekitarnya. Apabila panas cukup tinggi, maka diperlukan pemakaian penyekat yang tepat agar panas tersebut tidak merusak penyekatnya. Maka, pada kumparan motor diolesi sirlak yaitu bahan bukan organik yang direkatkan menjadi satu dengan pernis atau kompon dan memiliki sifat tahan terhadap panas.
(purisucisugesti.blogspot.com/.../ilmu-bahan-listrik.htm)

Q. Melilit Motor Induksi 3 Fasa

Prosedur dalam melilit motor induksi 3 fasa adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi motor yang sudah rusak (*name plate*)
2. Memerlukan sebuah konsep untuk melilit motor induksi 3 Fasa
3. Menghitung jumlah slot stator
4. Menghitung langkah lilitan tiap grup perfasa

5. Menghitung jumlah grup
6. Menghitung langkah pergeseran fasa
7. Menghitung jumlah kawat tiap slot
8. Menghitung luas penampang kawat yang digunakan
9. Menggambar atau mendesain bentuk belitan(alur)
10. Menguji hasil dari perencanaan

BAB III

KONSEP DAN PERENCANAAN

A. Analisis Kebutuhan

Dalam melilit motor induksi 3 fasa memerlukan sebuah konsep dan perencanaan, ada beberapa hal yang perlu dilakukan, berikut ini adalah prosedur dalam melilit motor induksi 3 fasa:

1. Mengidentifikasi motor yang sudah rusak (*name plate*)

Identifikasi merupakan tahapan pertama dalam perencanaan untuk membuat lilitan pada motor induksi 3 fasa, untuk yang pertama diidentifikasi adalah *name plate* yang tertera pada badan (*body*) motor induksi 3 fasa tersebut. Hal itu bertujuan untuk mengetahui batasan-batasan atau perhitungan yang akan direncanakan seperti halnya rpm, tegangan, arus, banyaknya kutub.



Gambar 19. Name Plate Yang Tertera Pada Motor Induksi 3 Fasa

Pada Gambar 19 bisa dilihat disana tertera plat dengan banyak tulisan sesuai kemampuan dari motor induksi 3 fasa tersebut, dengan

membaca *pada name plate* tersebut dapat memperkirakan perhitungan lilitannya.

2. Memerlukan sebuah konsep untuk melilit motor induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fase yang lilitannya sudah terbakar/rusak untuk merencanakan melilit lagi memerlukan banyak konsep, dari konsep tersebut sehingga dapat memperkirakan kemampuan motor induksi 3 fasa yang akan dililit kembali, konsep tersebut meliputi prosedur/tahapan-tahapan langkah yang akan kita ambil sebelum melakukan eksekusi.

Tahapan-tahapan tersebut diantaranya meliputi :

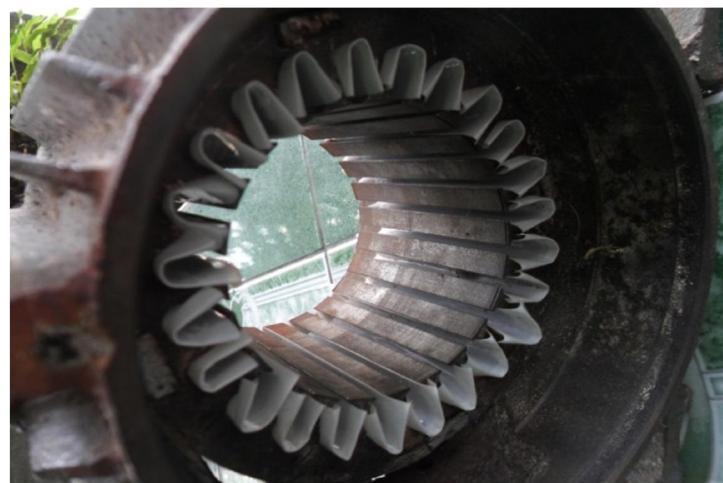
- a. Menghitung jumlah slot stator
- b. Menghitung langkah lilitan tiap grup perfasa/alur
- c. Langkah menghitung jumlah kutub perfasa
- d. Menghitung langkah pergeseran fasa
- e. Menghitung jumlah kawat tiap slot
- f. Menghitung luas penampang kawat yang digunakan
- g. Menggambar atau mendesain bentuk belitan(alur)
- h. Menguji hasil dari perencanaan

B. Implementasi

Berikut ini akan menjelaskan tahapan-tahapan konsep dalam merencanakan melilit kembali sesuai konsep tahapan yang sudah dijelaskan:

1. Menghitung jumlah slot stator

Slot pada stator merupakan tempat untuk menaruh gulungan lilitan, slot tersebut berbentuk lobang yang memanjang yang terdapat pada stator, slot stator terbuat dari lempengan baja yang sudah ditata sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk meletakkan 1 gulungan lilitan yang terdiri dari beberapa kawat tembaga, berikut ini adalah gambar dari slot stator tersebut.



Gambar 20. Slot Stator

2. Menghitung langkah lilitan tiap grup perfasa/alur

Sebelumnya sudah melakukan identifikasi dan menghitung jumlah slot/ alur jadi sudah mengetahui berapa banyaknya alur/ slot dalam stator tersebut, juga dapat mengetahui jumlah kutub dari motor yang rusak untuk dililit. Dari pengetahuan tersebut dapat menghitung langkah lilitan tiap grup perfasa/alur dengan rumus sebagai berikut:

Langkah menghitung langkah alur:

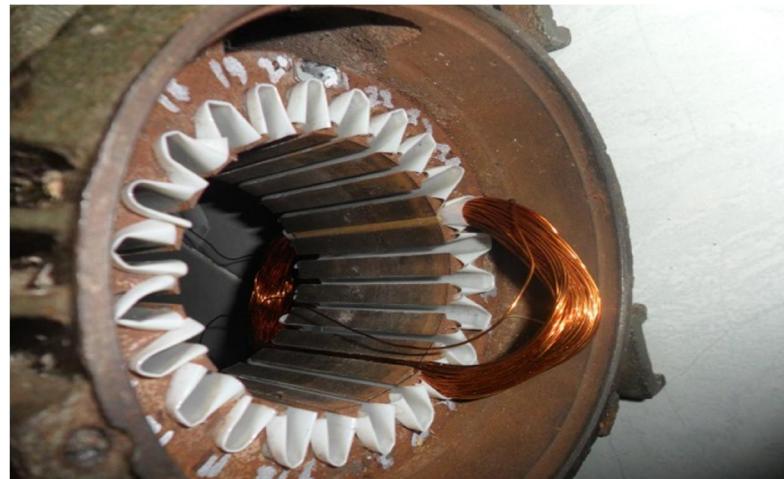
Ket:

Yg = Langkah Alur

G = Jumlah alur

P = Jumlah kutub

(Sumber: Is Setiawan 2006)



Gambar 21. Banyaknya Langkah Lilitan Tiap Grup Perfasa/alur

3. Langkah menghitung jumlah kutub perfasa:

Setelah mengetahui banyaknya jumlah alur, jumlah kutub dan besar phasenya dapat menghitung jumlah kutub perfase dengan rumus sebagai berikut:

Ket:

q = Jumlah alur/kutub perfasa

G = Jumlah alur

p = Jumlah kutub

m = Jumlah phase

(Sumber: PT. Mega Andalan Kalasan 2014)

4. Menghitung langkah pergeseran fasa :

Langkah untuk mengetahui pergeseran fasanya:

Ket :

α = Kisar alur dalam derajat listrik

q = Jumlah kutub perfasa

G = Jumlah gang

β = Derajat pergeseran fasa, langkah alur dari kumparan 1 ke kumparan 2

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui pergeseran fasa pada

alur, pergeseran fasa = fasa awal + β .

(Sumber: Is Setiawan 2006)



Gambar 22. Peletakan Pergeseran Fasa 1 ke Fasa 2

5. Menghitung jumlah kawat tiap slot

Untuk dapat menghitung jumlah kawat tiap slot/alur harus dapat memperkirakan kemampuan motor sesuai *name plate* yang tertera pada body motor tersebut, dapat menghitung jumlah lilitan baru dengan jumlah lilitan total dengan nilai asumsi, atau misalnya motor yang akan kita lilit diasumsikan lilitan total semuanya ada 1900 lilitan, dengan tegangan yang dipakai adalah tegangan 220 volt, maka dapat kita hitung banyaknya lilitan tiap slot/alur dengan rumus berikut ini :

Jadi harus mencari besarnya N tersebut dengan rumus dibawah:

Ket:

N = Jumlah lilitan

P = Jumlah kutub

1900 = perbandingan jumlah lilitan dengan motor 1 fasa

(Sumber: Is Setiawan 2006)



Gambar 23. Jumlah Gulungan Lilitan Pergang/slot

6. Menghitung luas penampang kawat yang digunakan

Untuk yang pertama, kita harus mengetahui diameter kawat yang kita gunakan, dan berapa panjang kawat gelungan sesuai alur yang ada pada motor induksi 3 fasa yang telah kita bongkar,dengan demikian kita dapat menghitung dengan rumus berikut :

$$L = \pi r^2 \text{ atau } q = \pi r^2$$

$$q = \pi(\frac{1}{2}d)^2$$

$$q = \pi/4d^2$$

Ket:

q : Perkiraan luas penampang kawat

I : Arus (sesuai name plate)

d : diameter kawat yang akan digunakan

(Sumber: Is Setiawan 2006)

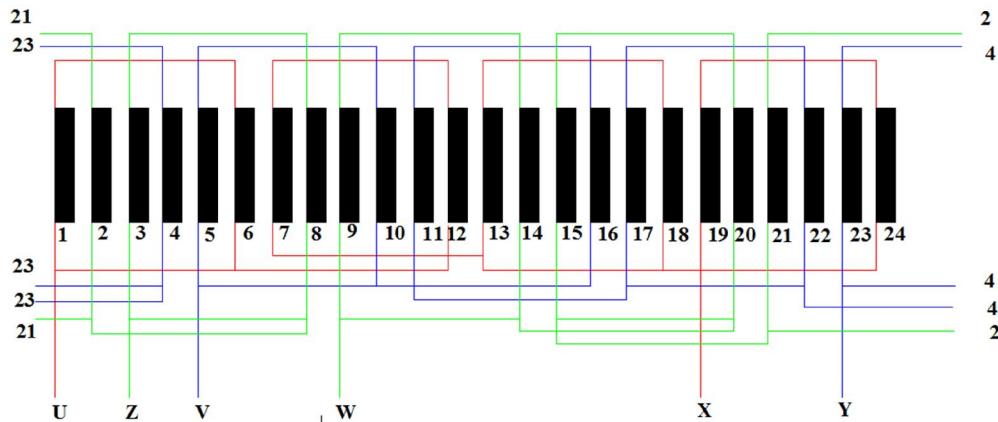


Gambar 24. Besar Kawat Tembaga Yang Digunakan

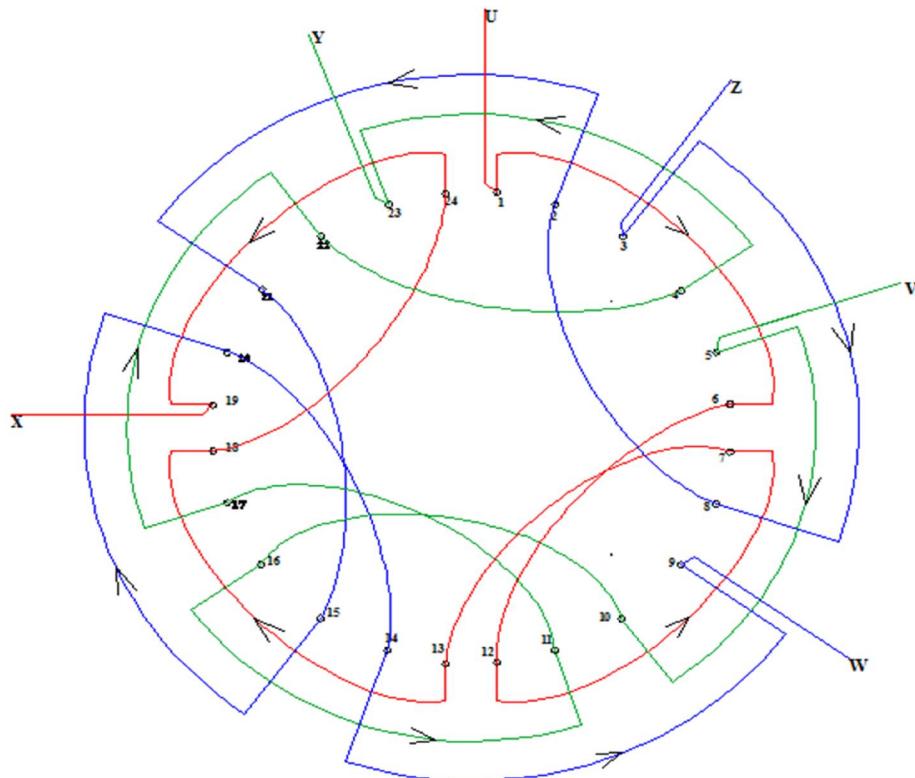
7. Menggambar atau mendesain bentuk belitan(alur)

Untuk menggambar atau mendesain bentuk belitan(alur) kita harus mengetahui berbagai macam desain tentang bentangan kumparan tersebut, ada berbagai macam bentuk b

Bentangan dari hasil identifikasi tentang motor induksi 3 fasa tersebut kita dapat mengetahui tipe kumparan yang akan kita gunakan, sementara itu dari hasil perhitungan tahapan-tahapan perencanaan sebelumnya pasti kita dapat memperoleh hasil tabel sesuai dengan urutan belitan dari fasa pertama,kedua,ketiga dan dari alur no 1-24.



Gambar 25. Langkah Bentangan/kumparan
(Sumber: PT. Mega Andalan Kalasan 2014)



Gambar 26. Langkah Bentangan/kumparan Penuh Melingkar
 (Sumber: PT. Mega Andalan Kalasan 2014)

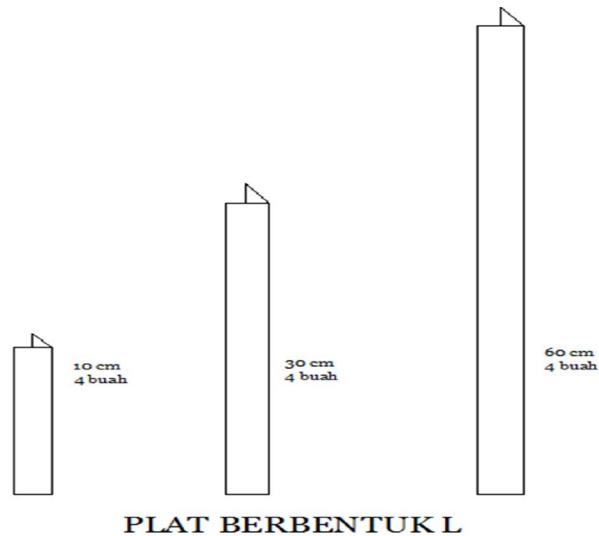
C. RANCANG BANGUN PENGUJIAN

Dalam melakukan pengujian diperlukan beban untuk membebani motor induksi yang telah selesai direncanakan lilitannya, dalam hal tersebut dapat digunakan generator sebagai bebanya, berikut ini adalah skema rancang bangun dari rencana pengujian motor tersebut.

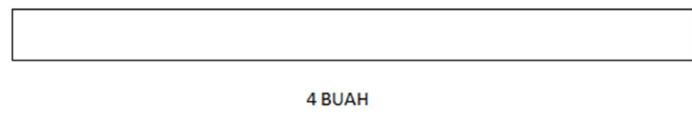
Bahan yang digunakan:

1. Plat besi bentuk L
2. Plat besi lurus biasa

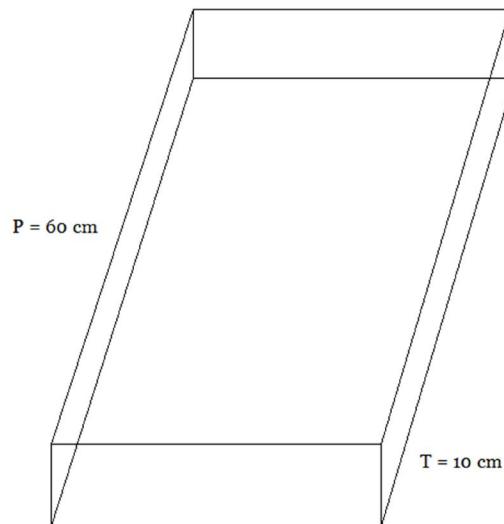
3. Pully dengan ukuran tertentu
4. Streng dinamo dengan ukuran tertentu
5. Mur dan baut secukupnya



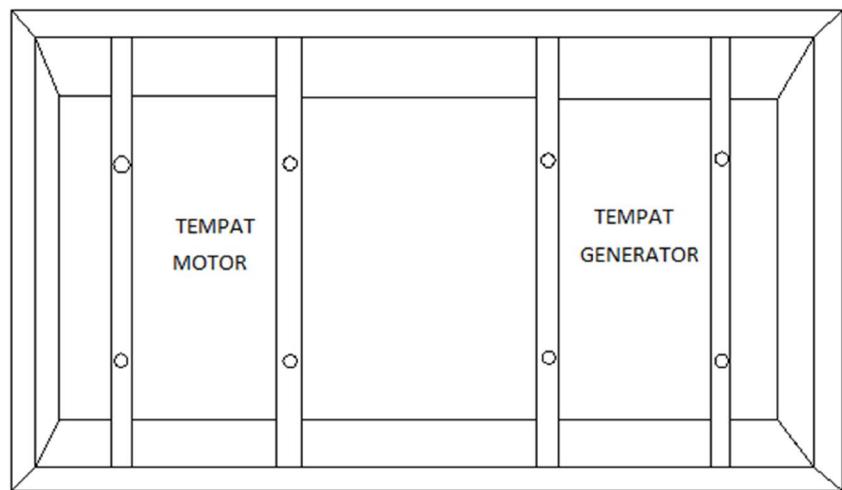
Gambar 27. Skema Plat Bentuk L



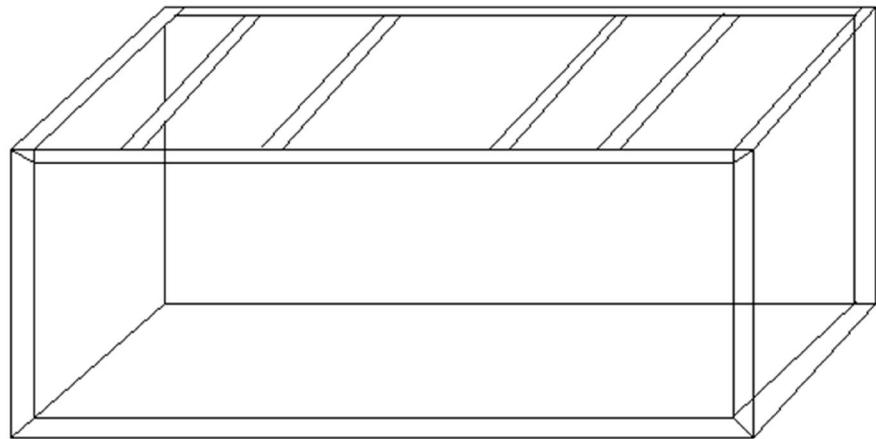
Gambar 28. Skema Plat Biasa



Gambar 29. Skema Sederhana



Gambar 30. Skema Rancang Bangun Tampak Atas



Gambar 31. Skema Rancang Bangun Tampak Samping



Gambar 32. Gambar Nyata Bangun Dudukan Motor dan Generator.



Gambar 33. Gambar Nyata Lengkap Dudukan Generator Motor, Pully dan Strength Dinamo.

D. Rencana Pengujian

1. Uji Teknis

Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui unjuk kerja dan spesifikasi sesuai dengan standar papan nama (*name plate*) motor.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam uji teknis adalah:

- a. Resistansi
- b. Tahanan isolasi
- c. Kecepatan(rpm)
- d. Pengujian arus
- e. Tegangan
- f. Pembebanan

Alat-alat yang digunakan untuk proses pengujian antara lain;

1. Amperemeter arus bolak-balik,
2. Voltmeter arus bolak-balik,
3. Insulitator tester
4. Megaohm meter,
5. Multimeter
6. RPM meter.
7. Cos q meter
8. Generator (beban)

2. Uji Fungsi

Tujuan uji Fungsi adalah untuk mengetahui apakah motor dapat berputar sesuai dengan yang diinginkan dengan berbeban dan tanpa beban.

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN

A. Identifikasi (pendataan)

Sebelum melakukan perencanaan melilit motor induksi, ada beberapa tahapan-tahapan yang mesti kita lakukan, tahapan itu diantaranya:

1. Mencatat data-data motor (*identifikasi name plate*)
2. Membongkar motor untuk mengetahui banyaknya jumlah alur
3. Setelah itu, dapat direncanakan rancangan belitan sesuai perhitungan
4. Tahap pengujian lilitan

Identifikasi merupakan salah satu langkah awal dalam perencanaan terutama untuk bisa mengetahui gambaran yang pasti sehingga nantinya mempermudah untuk membuat konsep dan cara menghitungnya, pendataan ini sesuai yang tertera pada name plate motor induksi yang digunakan, Motor yang akan direncanakan lilitannya dalam tugas akhir ini berupa motor bekas yang sudah terbakar, oleh karena itu spesifikasi akurat motor dapat diketahui karena pada badan motor terdapat *name plate*, berikut ini adalah gambar name plate motor induksi 3 fasa yang akan direncanakan pengelilitannya:

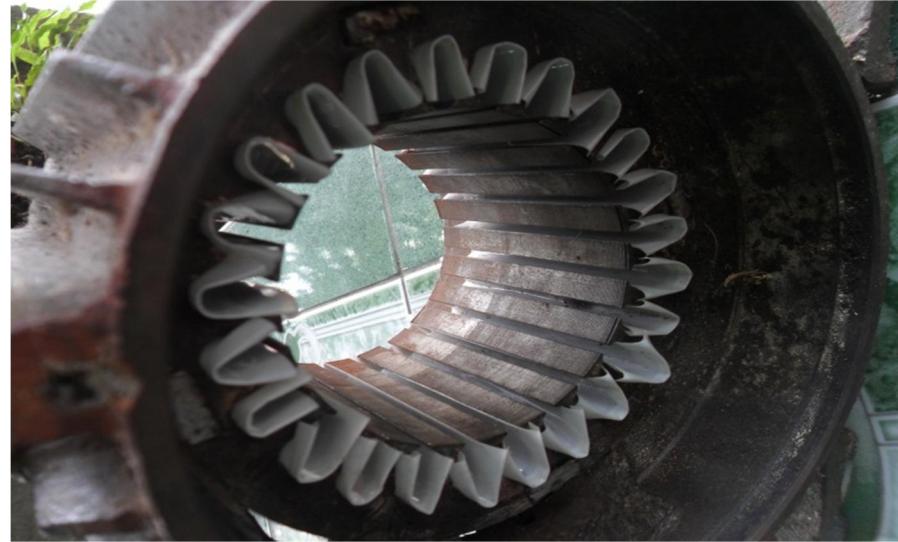


Gambar 34. *Name plate* Pada Motor

Dari name plate motor induksi diatas, dapat diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Data motor:

- a. Merk : SEM
- b. Jenis : Y801-4
- c. Type : Motor induksi 3 phase asynchronus
- d. Voltage : 220/380v
- e. Speed : 1390rpm
- f. Connection : Δ/Y
- g. Motor : 1 HP
- h. Current : 1/2,1 A
- i. Insulation : B
- j. Frequency : 50Hz
- k. Output : 0,75 kw



Gambar 35. Motor Induksi 3 Fasa Setelah Dibongkar

Setelah dibongkar dapat diperoleh spesifikasi motor:

- a. Jumlah alur : 24 alur
- b. Jumlah kutub : 4 kutub
- c. Jumlah phase : 3 phase

B. Perencanaan lilitan

Dari hasil identifikasi jumlah alur dari motor tersebut adalah 24 alur, dan dalam perencanaan akan dicatut tegangan 3 fasa sedangkan jumlah kutubnya adalah 4 kutub. Jumlah kutub sangat penting untuk bisa menentukan langkah fasa dalam setiap alurnya.

Diketahui :

1. Jumlah alur : 24 alur
2. Jumlah kutub : 4 kutub

- 3. Jumlah phase : 3 phase
- 4. Voltage : 220/380 V
- 5. Current : 1 /2,1 A
- 6. P : 0,75 Kw

Perhitungan diameternya adalah sebagai berikut. Untuk yang pertama, harus mengetahui diameter kawat yang akan digunakan, dan berapa panjang kawat gelungan sesuai alur yang ada pada motor induksi 3 fasa yang telah dibongkar dan didata,

$$q = \frac{I}{fasa} = \frac{2,1}{3} = 0,7$$

$$L = \pi r^2$$

$$q = \pi (\frac{1}{2}d)^2$$

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

$$d = \sqrt{\frac{q \cdot 4}{\pi \cdot 1}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 4}{3,14}}$$

$$d = \sqrt{0,89}$$

$$d = 0,94 \text{ mm}^2$$

Ket:

q : Perkiraan luas penampang kawat

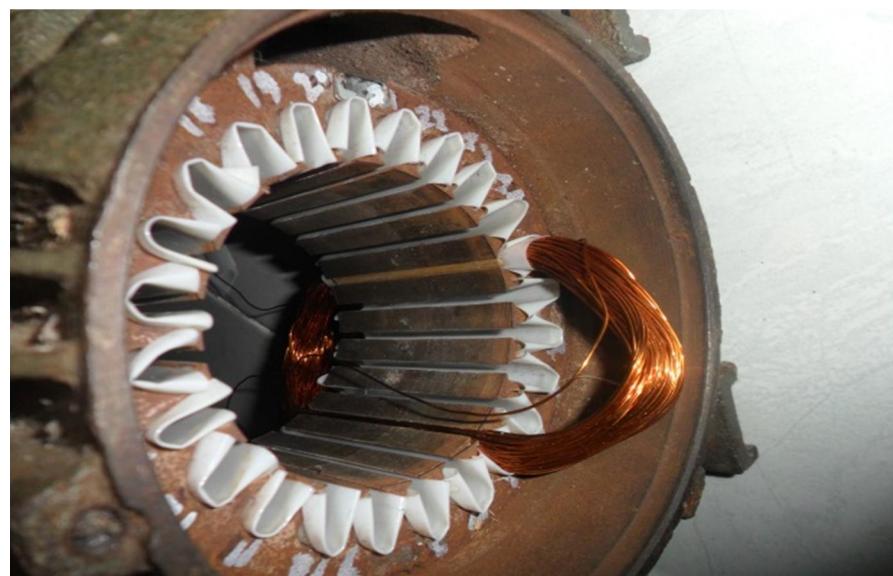
I : Arus (sesuai name plate)

d : Diameter kawat yang akan digunakan

Jadi diameter penampang kawat yang akan digunakan = $0,9 \text{ mm}^2$

Dipilih pembulatan $0,9 \text{ mm}^2$ sudah dirasakan mampu untuk penghantar.

Dengan perbandingan jika lilitan semakin kecil ukuran dan semakin banyak jumlah lilitan tiap slot maka hasil arus akan semakin baik akan tetapi berbanding terbalik dengan hambatan (R).



Gambar 36. Panjang Alur Untuk Mengetahui Panjang Belitan Gelungan

Dari Gambar 36 dapat diketahui perkiraan diameter kawat yang digunakan yaitu $0,9 \text{ mm}^2$ sedangkan panjang kawat tiap gelungan yaitu kurang lebih 30 cm. Dipilih 30cm karena sudah diperkirakan dengan lebar dan luas slot motor tersebut.

Menghitung langkah alur:

$$Yg = \frac{G(\text{jumlah alur})}{p(\text{jumlah kutub})} = \frac{24}{4} = 6 \text{ alur}$$

Ket:

Yg = Langkah Alur

G = Jumlah alur

P = Jumlah kutub

Langkah menghitung jumlah kutub perfasa:

$$q = \frac{G}{p \cdot m} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Ket:

q = Jumlah alur/kutub perfasa

G = Jumlah alur

p = Jumlah kutub

m = Jumlah phase

Langkah perhitungan jumlah lilitan baru dengan jumlah lilitan total diasumsikan 1900 lilitan, tegangan 220 volt. Digunakan 1900 lilitan kita gunakan sistem perbandingan dengan motor 1 fasa.

$$N = \frac{45}{220} \times 1900 = 360 \text{ lilitan}$$

$$\frac{N}{p} = \frac{360}{4} = 95 \text{ lilitan}$$

Ket:

N = Jumlah lilitan

P = Jumlah kutub

Langkah untuk mengetahui pergeseran fasanya:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot q}{G} = \frac{2 \cdot 180^\circ L \cdot 2}{24} = \frac{720^\circ L}{24} = 30^\circ L$$

$$\beta = \frac{120^\circ L}{\alpha} = \frac{120^\circ L}{30^\circ L} = 4$$

Ket :

α = Kisar alur dalam derajat listrik

q = Jumlah kutub perfasa

G = Jumlah gang

β = Derajat pergeseran fasa, langkah alur dari kumparan 1 ke kumparan 2

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui pergeseran fasa pada alur, pergeseran fasa = fasa awal + β .

Jika fasa pertama yaitu alur no 1, maka fasa kedua adalah $1+4=5$ yaitu fasa kedua jatuh pada alur no 5, untuk fasa ketiganya $5+4=9$ jadi fasa ketiga jatuh pada no alur 9. Sehingga di dapat urutan fasanya yaitu:

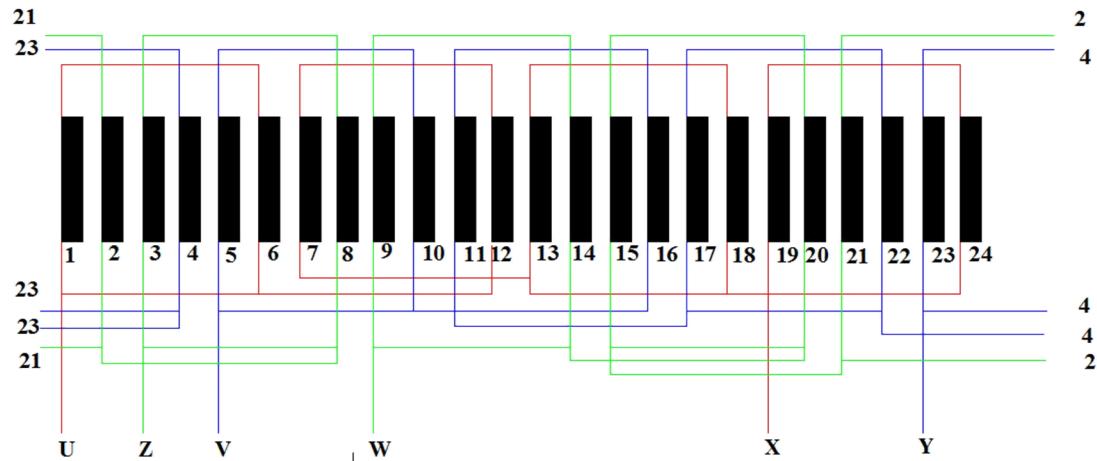
1. Fase ke 1, alur no 1
2. Fase ke 2, alur no 5
3. Fase ke 3, alur no 9

Dari hasil perencanaan yang telah dibuat, dapat diperoleh tabel sesuai dengan urutan belitan dari fasa pertama,kedua,ketiga dan dari alur no 1-24.

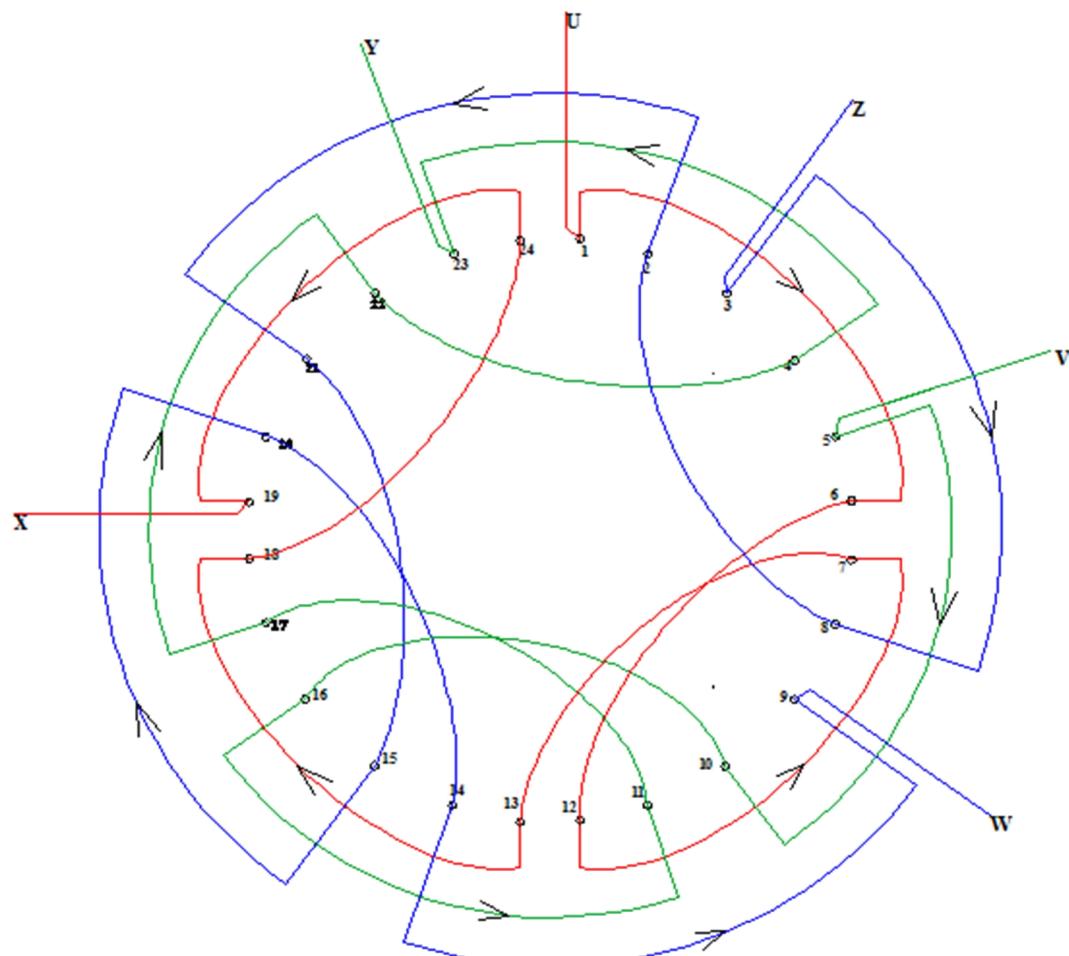
Tabel.3 Daftar dan Bentangan Lilitan Motor

FASA I (U-X)		FASA II (V-Y)		FASA III (W-Z)	
Sisi kumparan (nomor alur)		Sisi kumparan (nomor alur)		Sisi kumparan (nomor alur)	
Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
U-1	6	V-5	10	9-W	14
12	7	16	11	20	15
13	18	17	22	21	2
24	19-X	4	23-Y	8	3-Z

Dari Tabel. 3 maka kita dapat menggambarkan alur bentangan dari lilitan tersebut, untuk menggambar bentangan tersebut diperoleh berdasarkan dari referensi buku maupun labsheet, berikut ini adalah gambar bentangan yang telah dibuat sesuai tabel:



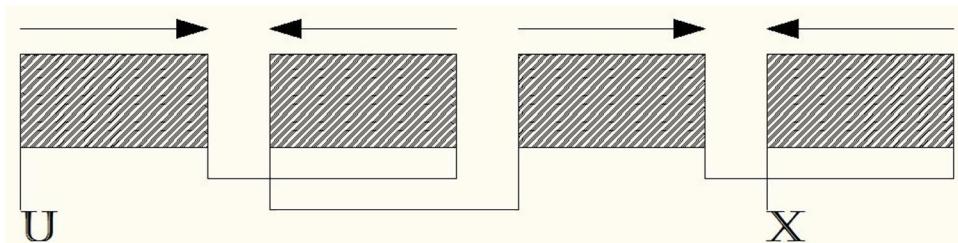
Gambar 37. Bentangan Lilitan Sesuai Tabel Perhitungan



Gambar 38. Bentangan Lilitan Lingkaran Penuh Sesuai Tabel Perhitungan

Setelah ditentukan jumlah lilitan per kumparan, menghitung jumlah alur/kutub/fasa dan menghitung langkah alur maka dapat ditentukan langkah alur lilitan kawat. Lilitan stator motor 3 fasa 220/380 volt menggunakan bentuk lilitan setengah penuh (*half coil*) atau disebut juga *single layer winding*, karena pada tiap alur stator hanya terdapat satu buah kumparan (satu kumparan terdiri beberapa kawat penghantar).

Beda fasa lilitan stator 3 fasa adalah 120° listrik. Hal ini berarti ujung-ujung awal atau ujung akhir antara fasa yang satu dengan yang lain adalah 120° listrik. Pada lilitan stator motor 3 fasa terdapat 6 ujung lilitan yaitu; ujung-ujung lilitan fasa I : U-X, fasa II: V-Y, fasa III: W-Z. dengan sistem sambungan akhir-akhir; awal-awal.



Gambar 39. Sistem sambungan akhir-akhir, awal-awal.

Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melilit motor induksi 3 fasa diantaranya sebagai berikut:

1. Alat

a. Gergaji tangan	1 buah
b. Mistar	1 buah
c. Alat tulis	1 buah
d. Tang kombinasi/tang potong	1 buah
e. Micrometer	1 buah
f. Sikat kawat halus	1 buah
g. Pisau	1 buah
h. Palu plastik	1 buah
i. Palu besi	1 buah
j. Penggaris	1 buah
k. Baja/Mika	1 buah
l. Gunting	1 buah
m. Mesin Penggulung	1 buah
n. Solder listrik	1 buah
o. Stick pendorong kawat kumparan (kayu / bambu)	1 buah
p. Motor induksi 3 phasa	1 buah

2. Bahan

a.	Bambu tebal	Secukupnya
b.	Kertas prespan/fiber glass	Secukupnya
c.	Stator motor induksi 3 phasa	1 buah
d.	Kawat Email	Secukupnya
e.	Pasak dari bambu	Secukupnya
f.	Tali rami	Secukupnya
g.	Timah patri	Secukupnya
h.	Selongsong kabel 3 mm	Secukupnya
i.	Bensin	Secukupnya
j.	Sirlak	Secukupnya
k.	Banana flug	6 buah
l.	Akrilik bening	secukupnya
m.	Kayu	secukupnya

C. Rencana pengujian

1. Uji Teknis

Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui unjuk kerja dan spesifikasi sesuai dengan standar papan nama (*name plate*) motor.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam uji teknis adalah:

- a. Resistansi
- b. Tahanan isolasi
- c. Kecepatan(rpm)
- d. Pengujian arus
- e. Tegangan
- f. Pembebanan

Alat-alat yang digunakan untuk proses pengujian antara lain;

- 1. Amperemeter arus bolak-balik,
- 2. Voltmeter arus bolak-balik,
- 3. Insulitation tester
- 4. Megaohm meter,
- 5. Multimeter
- 6. RPM meter.
- 7. Generator (beban)
- 8. Lampu pijar
- 9. Rangkaian penyearah

2. Uji Fungsi

Tujuan uji Fungsi adalah untuk mengetahui apakah motor dapat berputar sesuai dengan yang diinginkan dengan berbeban dan tanpa beban.

D. Proses Pengujian

Proses pengujian dilakukan dengan cara mengamati, memeriksa dan menguji setiap komponen yang digunakan pada motor 3 fasa 220/380 volt.

Uji Fungsi.

Proses uji fungsi dilakukan dengan cara menggunakan hasil melilit ulang yaitu motor induksi 3 fasa diberi beban generator dan lampu pijar 15 watt.

Uji Teknis

Adapun langkah-langkah sebelum proses pengujian sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan motor pada modul trainer praktek.
- 2) Menyiapkan alat ukur yang akan digunakan.
- 3) Merangkai dan menghubungkan masing-masing alat sesuai aturan pemasangan alat dengan menggunakan kabel penghubung.
- 4) Langkah selanjutnya lakukan pengambilan data mengacu pada tabel pengujian.

a. Hambatan kumparan stator induksi motor 3 fasa.

Pengukuran hambatan kumparan stator ini digunakan sebagai pembanding nilai hambatan antara masing-masing kumparan satu dengan yang lainnya.

b. Pengukuran tahanan isolasi antar stator dan bodi motor.

Pengukuran tahanan isolasi ini digunakan untuk menentukan antara kumparan dengan bodi motor berhubungan atau tidak.

c. Pengukuran rotasi motor.

Pengukuran rotasi motor ini digunakan untuk mengetahui kecepatan rotasi (perputaran) stator motor.

E. Hasil pengujian

Tabel 4. Tabel Pengujian

No	Pengujian data	Hasil uji
1	Hubung singkat	Pengujian menggunakan multimeter pada masing-masing <i>banana plug</i> terminal <i>input</i> pada tiap bagian kumparan dengan masing-masing <i>banana plug</i> (R,S,T) dengan <i>banana plug</i> N (nol). Pengujian ini disimpulkan bahwa semua kumparan telah terhubung ke masing-masing <i>banana plug</i>

		dan terhubung dengan terminal N
2	Resistansi	Pengujian menggunakan LCRmeter, masing-masing terminal (R,S,T) hubung dengan terminal nol. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui hambatan pada masing-masing kumparan, dengan harapan bernilai sama atau relatif sama disimpulkan bahwa resistansi lilitan motor relatif sama, $R= 6\Omega$; $S=6,6\Omega$; $T=6,5\Omega$.
3	Tahanan Isolasi	Pengujian dilakukan dengan menggunakan <i>insulation tester</i> model 1010-T. dengan cara menghubungkan satu kabel input <i>insulation tester</i> pada <i>banana plug</i> dan kabel yang lain ke bodi motor, putar tuas <i>insulation tester</i> maka jarum akan menunjukan nilai tahanan isolasi motor. Disimpulkan nilai tahanan isolasi sebesar $80 M\Omega$.
4	Rotasi motor	Pengujian kecepatan motor ini digunakan untuk mengetahui kecepatan rotasi (perputaran) rotor motor. Pengujian dilakukan dengan menggunakan RPM meter manual, poros pada rotor ditempelkan

		dengan ujung RPM meter akan menunjukkan nilai kecepatan putaran motor. Disimpulkan kecepatan putaran rotor motor sebesar 1400 Rpm sesuai penunjukan.
5	Pengujian arus	Pengujian dilakukan dengan menggunakan amperemeter analog yang dipasang seri pada masing-masing <i>input</i> motor (R, S, T).
6	Tegangan	Pengujian tegangan dilakukan dengan menggunakan voltmeter yang dipasang paralel pada masing-masing <i>input</i> motor (R-N; S-N; T-N).

Tabel 5. Data Pengujian Hambatan Kumparan Stator Motor

No	Ujung Kumparan	Nilai Resistansi Dengan pada LCR meter
1	R	6Ω
2	S	$6,6\Omega$
3	T	$6,5 \Omega$

Tabel 6. Data Pengujian Induktansi Motor

No	Ujung Kumparan	Nilai Induktansi Dengan pada LCR meter
1	R	30,7 mH
2	S	33,5 mH
3	T	31,3 mH

- a. Hasil pengujian isolasi motor 3 fasa menggunakan “*insulation tester*” model 1010-T : $80 \text{ M}\Omega$
- b. Hasil pengujian kecepatan rotasi rotor pada motor 3 fasa tanpa beban dengan menggunakan RPM meter adalah 1400 Rpm

Tabel 7. Data pengujian sambungan Y dengan beban generator + lampu pijar 15 watt

Menit	V Line (V)	V phase (V)	I phase			I line			RPM
			R	S	T	R	S	T	
2	75	38	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	1300
4		38	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	1300
6		40	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	1300
8		40	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	1300
10		40	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2	1300
2	110	45	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	1375
4		45	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	1375
6		45	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	1380
8		45	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	1380
10		45	0,4	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	1380
2	220	48	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	0,8	1400
4		48	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	0,8	1400
6		49	1,1	1,2	0,8	1,1	1,2	0,8	1400
8		49	1,1	1,2	0,9	1,1	1,2	0,9	1400
10		49	1,1	1,2	0,9	1,1	1,2	0,9	1400

Tabel 8. Data pengujian sambungan Y dengan tanpa beban

Menit	V Line (V)	V phase (V)	I Phase (A)			I Line (A)			RPM
			R	S	T	R	S	T	
2	75	38	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	1300
4		38	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	1300
6		40	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	1300
8		40	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	1300
10		40	0,3	0,3	0,5	0,2	0,4	0,2	1300
2	110	60	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	1375
4		60	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	1375
6		60	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	1380
8		60	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	1380
10		60	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	1380
2	220	110	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	0,8	1400
4		110	1,0	1,0	0,8	1,0	1,2	0,8	1400
6		110	1,1	1,1	0,8	1,1	1,2	0,8	1400
8		110	1,1	1,1	0,9	1,1	1,2	0,9	1400
10		110	1,1	1,1	0,9	1,1	1,2	0,9	1400

Tabel 9. Data pengujian sambungan Δ dengan beban generator + lampu pijar 15 watt

Menit	V Line (V)	V phase (V)	I Phase (A)			I Line (A)			RPM
			R	S	T	R	S	T	
2	75	40	0,9	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	1250
4		40	0,9	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	1250
6		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1250
8		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1250
10		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1250
2	110	45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1390
4		45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1390
6		45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
8		45	1,5	1,5	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
10		45	1,5	1,5	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
2	220	49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
4		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
6		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
8		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
10		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400

Tabel 10. Data pengujian sambungan Δ dengan Tanpa beban

Menit	V Line (V)	V phase (V)	I Phase (A)			I Line (A)			RPM
			R	S	T	R	S	T	
2	75	40	0,6	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	1400
4		40	0,9	0,9	0,9	0,1	0,1	0,1	1400
6		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1400
8		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1400
10		40	1	1	1	0,1	0,1	0,1	1400
2	110	45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
4		45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
6		45	1,4	1,4	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
8		45	1,5	1,5	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
10		45	1,5	1,5	1,2	0,3	0,3	0,8	1400
2	220	49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
4		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
6		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
8		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400
10		49	4,8	4,8	4,4	2,4	2,3	3,1	1400

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Motor induksi 3 fasa hasil dari perencanaan lilitan baru, diperoleh jumlah alur sebanyak 24 alur, dan 4 kutub diperoleh jumlah lilitan per alurnya sebanyak 95 lilitan kumparan dengan luas penampang sebesar 0,9 mm, sehingga total lilitan keseluruhan didapat (95×24 alur = 2280 lilitan), dengan jumlah tembaga yang diperlukan kurang lebih 120ns/1,2Kg dengan langkah belitan penuh (*full pitch winding*). Sistem sambungan akhir-akhir; awal-awal sangat berpengaruh pada lilitan, jika arah gelungan kumparan terbalik maka akan sangat mempengaruhi tingkat kemagnetan dari motor tersebut.
2. Unjuk kerja dari motor induksi 3 fasa yang telah direncanakan ulang lilitan kumparanya dilakukan melalui pengujian dengan cara dihubungkan dengan powerpack tegangan 3 fasa 220/380V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, motor induksi 3 fasa dapat berputar sesuai dengan yang diinginkan sesuai perancangan yang telah dibuat dalam kondisi berbeban dan tanpa beban dengan rpm maksimal dengan tegangan 3 fasa 220V yaitu 1250 Rpm dengan berbeban dan 1400 Rpm tanpa beban.

B. KETERBATASAN

Beberapa keterbatasan dari motor 3 Fasa 220/380 volt adalah sebagai berikut:

1. Tidak memperhatikan volume alur pada saat melilit motor dengan lilitan baru.
2. Tidak memperhitungkan masa jenis dan hambatan dari tembaga yang digunakan.
3. Nilai torsi tidak dapat diukur dengan torsi meter karena tidak memungkinkan, sehingga apabila akan mengetahui nilai torsi dilakukan dengan secara perhitungan.

C. SARAN

1. Agar dapat mengetahui seberapa panas kumparan motor/ untuk membatasi panas pada kumparan motor alangkah baiknya kita modifikasi sedikit dengan menaruh thermostat, apabila terjadi overheating maka akan mencegah terjadinya kebakaran pada kumparan.
2. Lebih memperhatikan dalam langkah melilit motor secara teliti, dengan pemilihan motor 3 fasa yang utama, rumus-rumus yang digunakan, dan cara menguji motor 3 fasa hasil rancangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bayu Aji Nugroho. (2014). Makalah Mesin Induksi 3 Fasa. Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta. http://www.academia.edu/8900519/makalah_mesin_induksi_3-PHASA diunduh pada tanggal 04 Mei 2015, 6:23

Charles a. Gross. (2006) . Electric Machines . CRC Press . New York

Didit. (2014). Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa
<http://diditnote.blogspot.co.id/2013/01/prinsip-kerja-motor-induksi-3-fasa.html>
diunduh pada tanggal 11 Feb 2015 10:45

Is Setiawan. NIM 025113749. (2006). Modifikasi motor listrik satu fasa menjadi motor induksi tiga fasa . Universitas Negeri Yogyakarta

Ismail Muchsin. ST., MT (2002) . Elektronika dan Motor Listrik .

Labsheet Praktik Mesin Listrik. (2008). Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unuversitas Negeri Yogyakarta

Rewinding (Melilit Kembali) Mesin Listrik. (2014). PT. Mega Andalan Kalasan . Sleman

Khotari = I J Nagrath . (2004) . Electric Machines . Tata McGraw- Hill Publishing Company Limited NEW DELHI

Sthepphen j. Chapman .(2004) Electric Machinery Fundamentals . BAE SYSTEM Australia .

Sumanto. (1989) . Mesin Arus bolak-balik . Andi Offset .Yogyakarta

..... Starting Motor. Diakses dari
<https://www.google.com/search?q=analisis+starting+motor+induksitiga+phasa+pada+pt.+berlian+unggas+jati&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 03 Mei 2015, 9:55:02

.....Motor Asinkron. Diakses dari
<https://www.google.com/search?q=Motor+AC+Asinkron+3+fasa&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 22 April 2014, 9:56:59

<https://www.google.com/search?q=13045-12-482468644196.pdf&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 03 Mei 2015, 9:55:01

<https://www.google.com/search?q=bab+III+motor+induksi&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 03 Mei 2015, 9:55:10

<https://www.google.com/search?q=motor+induksi+tiga+fasa&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 03 Mei 2015, 9:55:11

<https://www.google.com/search?q=melilit+dan+membongkar+kumparan&ie=utf-8&oe=utf-8> diunduh pada tanggal 24 April 2014, 21:31:29

LAMPIRAN

FOTO PROYEK AKHIR MOTOR INDUKSI 3 FASA



Bambu sebagai pengganjal kumparan



1 Gelungan lilitan



Gelungan lilitan RST



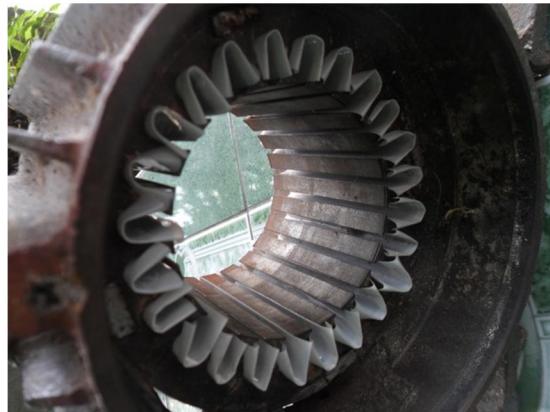
Name plate motor



Body motor



Slot stator



Slot stator



Body motor dan kumparan siap eksekusi



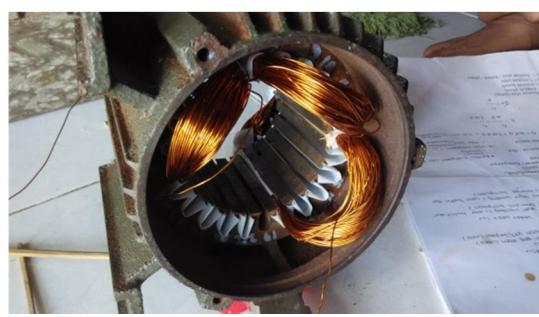
Memasukkan sebuah gelungan R ke slot stator



Hasil kumparan R gelungan pertama masuk slot stator



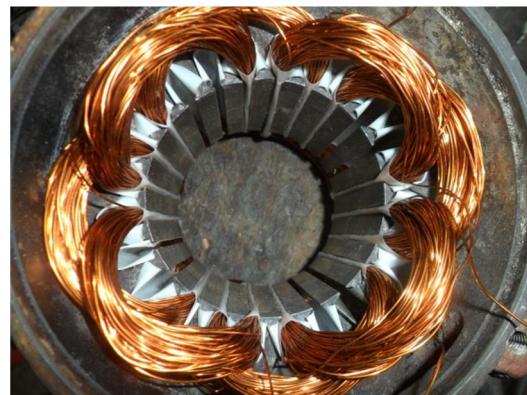
Hasil kumparan R gelungan kedua masuk slot stator



Hasil kumparan R gelungan ketiga masuk slot stator



Hasil kumparan R gelungan keempat masuk slot stator



Hasil kumparan R dan S masuk slot stator



Hasil kumparan RST masuk ujungnya dikeluarkan dan ditali



Cara menali sambungan ujung kumparan



Hasil jadi kumparan yang sudah ditali



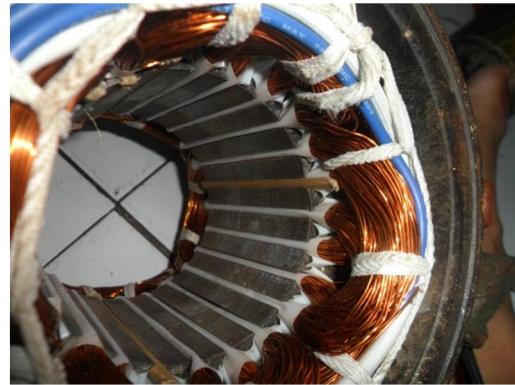
Menganjal kumparan slot dengan bambu



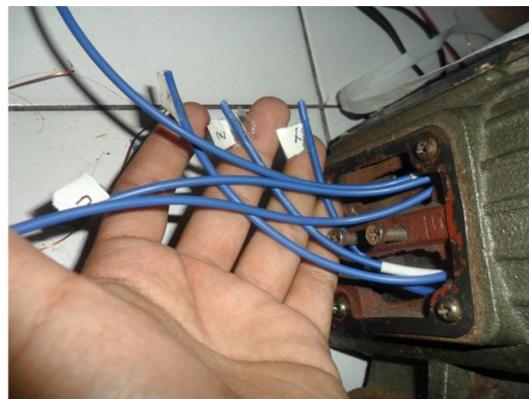
Memasukkan bambu



Hasil jadi body,kumparan, dan pengganjal



Hasil jadi motr dengal lilitan baru



Pengeluaran sambungan UVWXYZ



Motor dengan lilitan baru siap rakit



Hasil pengujian motor dengan generator



Hasil jadi unit motor



Motor dengan generator baru

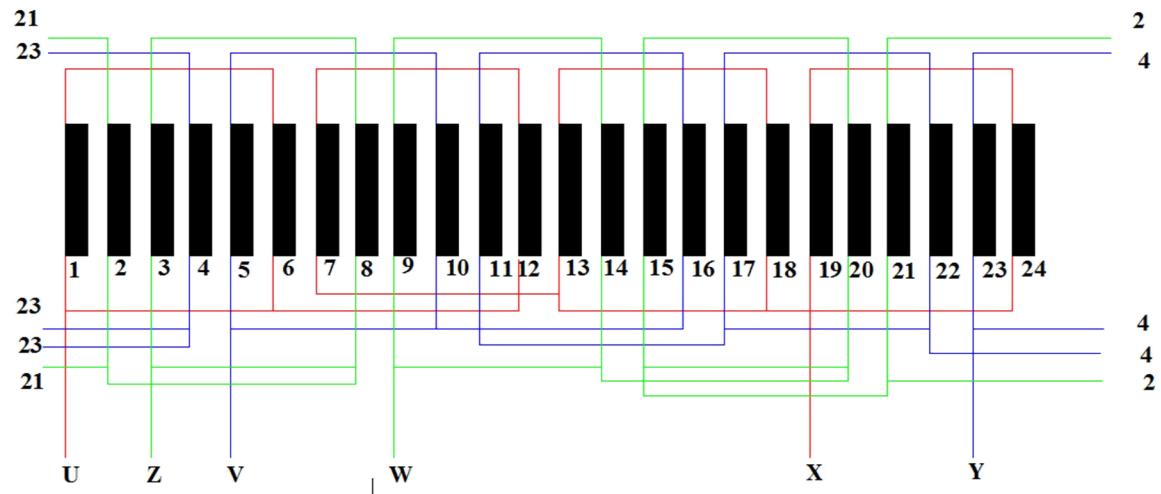


Praktik pengujian motor

TABEL BENTANGAN SESUAI PERHITUNGAN

FASA I (U-X)		FASA II (V-Y)		FASA III (W-Z)	
Sisi kumparan (nomor alur)		Sisi kumparan (nomor alur)		Sisi kumparan (nomor alur)	
Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
U-1	6	V-5	10	9-W	14
12	7	16	11	20	15
13	18	17	22	21	2
24	19-X	4	23-Y	8	3-Z

GAMBAR BENTANGAN



GAMBAR BENTANGAN PENUH MELINGKAR

