

## TUGAS AKHIR

### “ANALISA REWENDING SPECIAL MOTOR INDUKSI BEIQI 1.6 KW 2 POLE 3 FASA”

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**EBY RAMADANA SAHPUTRA PANJAITAN**

**1707220089**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Eby Ramadana Sahputra Panjaitan

NPM : 1707220089

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Rewinding Special Motor Induksi BeiQi 1.6 Kw 2 Pole 3 Fasa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Juni 2023

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing

Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Dosen Pembanding I

Dosen Pembanding II

Muhammad Adam, ST., MT.

Faisal Irsan Pasaribu, ST.,MT

Program Studi Teknik Elektro

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAAN TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama lengkap : Eby Ramadana Sahputra Panjaitan

Tempat/Tanggal Lahir : Bulu Cina/ 08 Desember 1999

NPM : 1707220089

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

### **Analisa Rewinding Special Motor Induksi BeiQi 1.6 Kw 2 Pole 3**

#### **Fasa.**

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/keseajaranaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 Juni 2023

Saya yang menyatakan,

Materai Rp10000

Eby Ramadana Sahputra Panjaitan

## ABSTRAK

Rewinding merupakan salah satu proses perbaikan kumparan pada stator motor induksi. Hal ini bertujuan guna terciptanya sebuah motor induksi 3-fasa yang mulanya rusak menjadi suatu unit yang baru. Rewinding dilakukan umumnya mengacu pada data-data nameplate, dimana metode perencanaan lilitan yang dilakukan harus mempertimbangkan beberapa hal berupa : diameter kawat, jumlah belitan, jumlah alur perkutub perfasa, langkah alur, langkah fasa, serta connection winding sebagai penentu akhir kinerja motor induksi. Dalam pengujian motor induksi akan menggunakan connection star atau delta hal ini tergantung pada name plate, tentu saja ada perbedaan di connection star atau delta. Motor induksi merupakan salah satu motor listrik yang banyak digunakan dalam dunia industri. Menurunnya kinerja motor induksi dapat disebabkan oleh beberapa factor seperti thermal stresses, mechanical stresses, dan environmental stresses. Oleh karena itu, perlu dilakukan perawatan guna menjaga kinerja motor tetap baik. Salah satu perbaikan yang ada pada motor induksi adalah rewinding motor. Rewinding adalah proses penggantian winding stator motor induksi secara total maupun parsial. Motor induksi 1.6 kw 2 pole 3 fasa adalah motor special yang digunakan sebagai blower untuk membuang sisa sisa produksi berupa abu-abu. Metode penelitian ini menggunakan tahapan pembongkaran, perancangan, pengujian, dan Analisa data arus. Hasil dari proses rewinding yang dihasilkan yaitu arus motor induksi yang normal dengan perbandingan dari arus maksimal dari name plate.

***Kata Kunci*** : *Motor Induksi 3-fasa, Rewinding, Analisa Rewinding Motor BeiQi 1.6 kw 2 pole 3 fasa, kinerja motor*

## **ABSTRACT**

*Rewinding is one of the processes of repairing the coils on the stator of an induction motor. This aims to create a 3-phase induction motor that was originally damaged into a new unit. Rewinding is carried out generally referring to nameplate data, where the winding planning method used must take into account several things in the form of: wire diameter, number of windings, number of grooves per phase per phase, groove step, phase step, and connection winding as the final determinant of induction motor performance. When testing an induction motor, a star or delta connection will be used, this depends on the name plate, of course there are differences in the star or delta connection. Induction motors are one of the electric motors that are widely used in the industrial world. Decreased performance of induction motors can be caused by several factors such as thermal stresses, mechanical stresses, and environmental stresses. Therefore, maintenance needs to be carried out to maintain good motor performance. One of the improvements available in induction motors is motor rewinding. Rewinding is the process of completely or partially replacing the winding stator of an induction motor. The 1.6 kw 2 pole 3 phase induction motor is a special motor that is used as a blower to remove production waste in the form of gray. This research method uses the stages of disassembly, design, testing and analysis of flow data. The result of the rewinding process is a normal induction motor current compared to the maximum current from the name plate.*

*Keywords : 3-phase induction motor, Rewinding, Analisa Rewending Motor BeiQi 1.6 kw 2 pole 3 fasa.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul Analisa Rewinding Special Motor Induksi BeiQi 1.6 Kw 2 Pole 3 Fasa. Sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir Ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua penulis: Edy Sahputra Panjaitan dan Ibu Zubaidah Siregar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang membimbing saya dengan kesabaran.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro serta Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd selaku Sekertaris Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-elektroan

Medan, 15 Juni 2023

( EBY RAMADANA SAHPUTRA PANJAITAN )

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	..1
1.2 Rumusan Masalah .....	..2
1.3 Ruang Lingkup .....	..2
1.4 Tujuan ..	2
1.5 .....	..2
1.6 Sistematika Penulisan ..	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	4
2.2 Motor Induksi .....	.....8
2.2.1 Klasifikasi Motor Induksi .....	..9
2.2.2 Kelas Motor Induksi .....	.....10
2.3 Jenis Motor Induksi 3 Fasa....	...12
2.4 Jenis Motor Induksi 1 Fasa .....	.....12
2.5 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa.....	..14
2.6 .....	.....15
2.7 ... .....	16
2.7.1 C .....	...18
2.7.2 Prinsip Kerja Motor Induksi .....	19
2.7.3 Membalik Arah Putaran Motor Induksi .....	..19
2.7.4 Pengaturan Kecepatan Pada Motor Induksi 3 Fasa .....	.....20
2.7.5 Pengertian Pole.....	.....21

2.7.6	Temperatur Motor Induksi.....	22
2.7.7	Ukuran Motor Untuk Beban Yang Bervariasi.....	..23
2.7.8	Memperbaiki Kualitas Daya.....	.....24
2.7.9	Penyebab Kerusakan Pada Motor Induksi	... ..24
2.8	Winding Motor 1 Fasa	... ..25
2.8.1	Winding Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar.....	26
2.8.2	Sambungan Ujung-Ujung Kumputan 3 Fasa.....	26
2.8.3	Meningkatkan Nilai Tahanan.....	28
2.9	Komponen Pendukung.....	29
2.9.1	Kawat Email.....	29
2.9.2	Sirlak.....	31
2.9.3	Vitter Ban.....	32
2.9.4	Nomex.....	33
2.9.5	Presspan.....	34
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>		<b>35</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	.... 35
3.1.1	Tempat	... 35
3.1.2	Waktu	... ..35
3.2	Alat dan Bahan	... ..36
3.2.1	Alat	... ..36
3.2.2	Bahan	... ..36
3.3	Data Spesifikasi Motor Rewinding	... 37
3.4	Analisis Kebutuhan	... ..37
3.5	Menentukan Konsep Lilitan Stator Motor Induksi 2-F	...38
3.6		... ..42
3.7 D	A	... ..43
<b>BAB 4 HASIL PEMBAHASAN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Identifikasi.....	44
4.2	Pembongkaran Motor Induksi 3 Fasa.....	45
4.3	Perencanaan Lilitan.....	49

4.4 Proses <i>Rewending</i> .....	53
4.5 Pengujian.....	61
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

H	2.1 H	H	I	.....	23
H	3.1		...	.....	35
	Tabel 3.2 Tabel RPM Motor.....				39
	Tabel 4.1 Langkah Pemasangan Kumparan.....				57
	Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Resistansi Dan Arus.....				60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor Kapasitor.....	12
Gambar 2.2 Motor Shaded Pole.....	13
Gambar 2.3 Motor Universal.....	14
Gambar 2.4 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa.....	14
Gambar 2.5 Stator Frame.....	15
Gambar 2.6 Rotor Belitan ( <i>Wound Rotor</i> ).....	17
Gambar 2.7 Rotor Sangkar.....	18
Gambar 2.8 Celah Udara.....	18
Gambar 2.9 Cara Membalik Arah Putaran Motor Induksi 3 Fasa.....	20
Gambar 2.10 Lilitan Motor Induksi 3 Fasa.....	26
Gambar 2.11 Terminal Sambungan Bintang ( <i>Star</i> ) .. ...	27
Gambar 2.12 Terminal Sambungan Segetiga ( <i>Delta</i> ) ...	28
Gambar 2.13 Kumparan Kawat Email.....	31
Gambar 2.14 <i>Dr. Beck Insulating Varnish</i> .....	32
Gambar 2.15 Vitter Ban.....	32
Gambar 2.16 Presspan Lapis.....	33
Gambar 2.17 Presspan.....	34
Gambar 3.1 Skema Belitan Lingkaran Penuh Motor Induksi 3 Fasa 24 A ..	41
Gambar 3.2 Skema Serian Motor Induksi 3 Fasa 24 A ..	42
☞ 3.3 I ..	42
Gambar 4.1 Name Plate Motor Induksi.....	45
Gambar 4.2 Cover Impeler Motor.....	46
Gambar 4.3 Cover Fan.....	46
Gambar 4.4 Impeler Motor.....	47
Gambar 4.5 Fan Motor.....	47
Gambar 4.6 Frame Stator.....	48
Gambar 4.7 Box Terminal.....	48
Gambar 4.8 Skema Bentangan Kumparan Motor Induksi 3 Fasa 24 Alur.....	51
Gambar 4.9 Proses Pemasangan Presspan.....	54
Gambar 4.10 Proses Pengemalan Kumparan.....	55

Gambar 4.11 Pemasangan Kumputan Sesuai Dengan Belitan Peralur.....	56
Gambar 4.12 Proses Pemasangan Presspan Penutup.....	57
Gambar 4.13 Proses Pemasangan Presspan Lapis.....	58
Gambar 4.14 Sambungan Belitan Stator.....	59
Gambar 4.15 Pengikatan <i>Winding</i> Stator.....	60
Gambar 4.16 Proses <i>Varnishing</i> .....	61
Gambar 4.17 Pengecekan Arus Dengan Tampilan Digital.....	63
Gambar 4.18 Pengujian Fasa R.....	53
Gambar 4.19 Pengujian Fasa S.....	53
Gambar 4.20 Pengujian Fasa T.....	54
Gambar 4.21 Pengujian RPM menggunakan Tachometer.....	65
Gambar 4.22 Pengecekan Resistan.....	66

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Motor listrik termasuk ke dalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, mengangkat beban dan digunakan juga pada peralatan listrik rumah tangga (seperti mixer, bor listrik dan kipas angin).

Terdapat dua jenis utama motor listrik yaitu motor DC dan motor AC. Motor DC/ arus searah menggunakan arus langsung yang tidak langsung (direct-undirectional). Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas, sedangkan motor AC/ arus bolak balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik yaitu stator dan rotor.

Motor listrik tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan secara luas baik dalam industri besar maupun kecil dibandingkan dengan motor jenis lainnya. Hal ini dimungkinkan karena motor jenis ini memiliki keunggulan baik dari segi teknis maupun ekonomis. Motor listrik tiga fasa memiliki karakteristik arus awal yang besar namun hal ini dapat diatasi dengan beberapa metode pengaturan, salah satunya adalah dengan sistem pengasutan bintang (Y)-

( ),

jenis motor listrik tiga fasa.

Motor induksi 3-fasa umumnya tidak selalu dioperasikan pada beban yang konstan. Besar kecilnya beban akan mempengaruhi kumparan motor, sehingga tidak jarang motor induksi mengalami kerusakan. Kerusakan pada motor induksi tersebut umumnya dapat disebabkan oleh tiga faktor yaitu faktor lingkungan, mekanikal, dan elektrikal. Kerusakan dari segi elektrikal sebagian besar terletak pada lilitan (*winding*). Dimana pada lilitan tersebut bila suatu motor yang kelebihan

beban (overload) dan dioperasikan terus menerus akan menyebabkan lilitan tersebut terbakar. Apabila motor induksi harus diganti dengan yang baru, tentu saja memakan biaya yang cukup mahal dan sifatnya tidak efisien.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu :

1. Bagaimana perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa yang akan *direwinding*?
2. Bagaimana merencanakan winding stator motor induksi agar dapat bekerja secara optimal?

## **1.3 Ruang Lingkup**

Proses penulisan tugas akhir ini agar lebih terarah, tidak meluas dan mudah dalam pembahasannya, peneliti tidak mengupas mengenai sistem Rewinding pada motor induksi 3-fasa. Maka ruang lingkup yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Membahas mengenai metode perhitungan lilitan stator berdasarkan name plate pada motor induksi 3-fasa.
2. Motor yang direncanakan lilitan statornya ialah motor induksi 3-fasa jenis rotor sangkar, 1.6 KW, 2900 rpm, dengan 24 Slot.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis metode perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa yang akan di rewinding.
2. Melakukan perencanaan winding stator motor induksi agar dapat bekerja secara optimal.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat, antara lain:

1. Dapat memberikan gambaran mengenai metode perhitungan dalam menentukan lilitan stator pada motor induksi 3-fasa dari nol.

2. Dapat merancang winding motor induksi 3-fasa secara optimal.
3. Dengan melihat hasil dari peningkatan resistansi stator, diharapkan pembaca dapat memahami kinerja motor yang lebih efisien diantara keduanya.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran umum dari keseluruhan penelitian ini yang disusun berdasarkan sistematika penulisan yang terdiri dari:

#### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Bab ini mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian, serta sistematika penulisan.

#### **BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang pokok pembahasan teori-teori yang merupakan penunjang dalam pelaksanaan penulisan tugas akhir.

#### **BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dipaparkan tentang tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, bagan alir penelitian, serta metode perencanaan lilitan dan pengujian penelitian

#### **BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini akan dibahas tentang perancangan dan hasil perancangan dari alat tersebut, serta hasil pengujian yang telah penulis lakukan.

#### **BAB 5 : PENUTUP**

Dalam bagian ini akan dibahas penjelasan atau kesimpulan dan saran akhir dari perancangan dan pengujian alat yang telah dirancang.

#### **LAMPIRAN**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Mesin-mesin listrik menempati peranan penting dalam sebuah industri atau pabrik, karena dengan mesin-mesin listrik ini dapat memudahkan pelaksanaan produksi dan waktu yang digunakan dalam proses industri menjadi lebih singkat. Adapun mesin listrik itu seperti motor induksi yang prinsip kerjanya dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanik), yang mana bekerja secara terus menerus di dalam proses di suatu industri tentunya akan mengalami penurunan efisiensi bahkan tidak jarang mengalami kerusakan. (Amalia et al., 2017)

Pada sebuah industri, motor listrik dioperasikan cukup lama dikarenakan proses produksi dilakukan selama kurang lebih 8 – 10 jam dalam satu hari, sehingga motor listrik mempunyai batas pemakaian tertentu. Jika suatu saat motor listrik telah mencapai batas waktu pemakaiannya, maka perlu dilakukan pergantian motor listrik dan overhaul. *Overhaul* dilakukan agar motor listrik memiliki jangka waktu pemakaian yang lebih lama untuk menjaga keandalan motor listrik. Kerusakan motor listrik disebabkan karena beberapa factor, diantaranya karena *overvoltage* atau *undervoltage*, *overload*, *phaseloss*, kegagalan isolasi, kebersihan motor dan lain-lain. Hal itu menyebabkan terjadinya *ground fault*, *phase to phase fault*, *vibrasi*, *overheating*, timbulnya percikan api, terbakarnya belitan stator atau rotor dari kerusakan mekanik atau lainnya.

Motor listrik tiga fasa memiliki karakteristik arus awal yang besar namun hal ini dapat diatasi dengan beberapa metode pengaturan, salah satunya adalah dengan sistem pengasutan bintang (Y) - ( ), dan dapat diterapkan untuk semua jenis motor listrik tiga fasa. Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah pembuatan sistem kendali hubungan bintang (Y)-segitiga motor listrik tiga fasa secara manual. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah metode survei, wawancara dan metode studi pustaka. Hasil penelitian menunjukkan rangkaian kontrol pengasutan dan proteksi bintang (Y)- ( ) C

dengan baik. Arus pengasutan motor listrik menggunakan metode pengasutan bintang (Y)- ( ) h 2.89 ampere. Hal ini menunjukkan bahwa pengasutan motor induksi dapat mengurangi tingginya arus pengasutan saat motor induksi mulai beroperasi.

Dalam penelitian studi perancangan kumparanstator motor listrik terhadap peningkatan efisiensi daya, mengevaluasi dengan melakukan perubahan desain pada komponen motor listrik pada rangkaian lilitan maupun diameter kabel agar konsumsi daya bisa menurun. Daya dan Arus listrik pada mesin cuci kapasitas 6 kg yang semula mempunyai daya 344 Watt, dengan arus 1,606 Amper. Setelah adanya perubahan lilitan stator daya listrik menjadi lebih efisien 221 Watt dengan arus 1,033 Amper dengan kecepatan yang masih memenuhi standar pabrikan.(Daya, 2020) .

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

Motor listrik merupakan penggerak yang umum digunakan pada dunia industry pada saat ini. Motor listrik yang bekerja dalam jangka waktu yang lama dan dengan beban yang berat akan mengakibatkan panas dan penurunan kualitas lilitannya. Beberapa dampak penggunaan tersebut akan mengakibatkan kerusakan pada lilitan motor listrik. Apabila motor listrik sudah tidak memiliki lilitan yang sesuai dengan spesifikasi kerjanya, maka mutlak dilakukan penggulungan ulang

pada lilitan tersebut. Saat ini umumnya alat yang digunakan untuk menggulung ulang lilitan motor listrik terutama untuk motor listrik satu fasa dan tiga fasa adalah dengan menggunakan alat yang sederhana dengan menggunakan alat penggulung yang diputar dengan tangan. Hal ini tentu tidak efisien dan keakuratan hasil gulungan tersebut diragukan karena jumlah lilitan motor listrik yang berjumlah ratusan. Selain itu dengan penggerak dengan menggunakan tangan manusia maka hal ini tidak efisien karena jumlah lilitan dalam satu alur yang dibuat tidak satu lilitan saja, namun setidaknya ada delapan lilitan. Hal ini tergantung dengan jumlah alur motor listrik yang akan dilakukan penggulangan ulang lilitannya. Selain itu beberapa usaha untuk meringankan kerja manusia dalam melilit ulang motor listrik tiga fasa dengan bantuan motor listrik DC, namun pada penerapannya belum menggunakan alat penghitung jumlah lilitan yang diputar motor listrik DC tersebut.

Penggulangan Ulang kumparan Penggulangan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Pegulangan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dengan sebelumnya. Pegulangan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor: desain slot dan gulungan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi diantara laminasinya dapat rusak, sehingga meningkatkan kehilangan arus eddy. Perubahan dalam celah udara dapat mempengaruhi faktor daya dan keluaran torque. Walau begitu, jika dilakukan dengan benar, efisiensi motor dapat terjaga setelah dilakukan pegulangan ulang, dan dalam beberapa kasus, efisiensi bahkan dapat ditingkatkan dengan cara mengubah desain pegulangan. Dengan menggunakan kawat yang memiliki penampang lintang yang lebih besar, ukuran slot yang diperbolehkan, akan mengurangi kehilangan stator sehingga akan meningkatkan efisiensi. Walau demikian, direkomendasikan untuk menjaga desain motor orisinil selama pegulangan ulang, kecuali jika ada alasan yang berhubungan dengan beban spesifik untuk mendesain ulang. Dampak dari pegulangan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika kehilangan motor

tanpa beban diketahui pada sebelum dan sesudah pegulungan ulang. Informasi kehilangan tanpa beban dan kecepatan tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan pegulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fase motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama.

Untuk Pengoperasian pada industri saat ini, banyak sekali mengandalkan yang namanya dengan Motor Induksi, dan motor induksi juga memiliki beberapa macam, salah satunya motor induksi 3 phasa. Jadi motor induksi 3 fasa ini dapat diartikan, yaitu merupakan alat penggerak yang banyak digunakan dalam perindustrian. Hal tersebut dikarenakan motor ini mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya murah. Namun dalam pemakaiannya terdapat permasalahan awal. Yaitu lonjakan arus starting yang diterima lilitan atau rotor pada motor induksi tiga fasa secara terus menerus dan dalam waktu yang akan lama merusak belitan motor. Kebanyakan pada motor induksi terutama motor induksi tiga fasa, arus starting bisa mencapai empat sampai tujuh kali besar arus nominalnya. Sehingga apabila hal ini terajadi di dunia perindustrian yang mayoritas menggunakan motor-motor dengan kapasitas daya yang besar, memungkinkan dapat terjadi lonjakan arus starting yang lebih besar dan ini tidak dapat diijinkan, karena dapat mengganggu jaringan dan dapat merusak motor itu sendiri. Untuk saat pengoperasian pada motor dapat dilakukan pada sewaktu start, running, dan stop. Adapun keberhasilan suatu pengoperasian pada sebuah motor listrik ini bukan saja ditentukan pada waktu running performance motornya, namun dapat ditentukan oleh starting performance. Belitan motor 3 phasa star-delta adalah sebuah sistem starting dengan menjalankan motor dengan konfigurasi start terlebih dahulu kemudian dirubah menjadi konfigurasi delta untuk meminimalisir lonjakan arus. Perubahan konfigurasi biasanya dapat dilakukan dengan menggunakan timer, ketika timer sudah mencapai setting maka konfigurasi akan berubah.

Teori Motor Listrik Terdapat dua jenis utama motor listrik yaitu motor DC dan motor AC. Motor DC/ arus searah menggunakan arus langsung yang tidak langsung (direct-undirectional). Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk

kisaran kecepatan yang luas, sedangkan motor AC/ arus bolak balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik yaitu stator dan rotor. Klasifikasi Motor Induksi Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama: 1) Motor Induksi Satu Fasa Motor induksi satu fasa memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan menggunakan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin dan mesin cuci. 2) Motor Induksi Tiga Fasa Motor induksi tiga fasa menghasilkan medan magnet yang berputar seimbang. Motor induksi tiga fasa memiliki kemampuan daya yang tinggi, memiliki gulungan rotor dan penyalaan sendiri. Motor ini merupakan jenis motor yang digunakan oleh industri seperti pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik dan grinder. Motor Listrik Motor listrik termasuk ke dalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, mengangkat beban dan digunakan juga pada peralatan listrik rumah tangga (seperti mixer, bor listrik dan kipas angin).

## **2.2 Motor Induksi**

Motor Induksi dapat dikatakan dalam artian sebuah motor arus bolak balik (ac). Arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar ( rotating magnetic field) yang dihasilkan oleh arus stator.(Simangunsong et al., n.d.)

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik ( AC ) yang paling luas digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri maupun rumah tangga (Chapman, 1985). Begitu pula dengan mobil listrik yang sering kali menggunakan motor DC. Selama ini jenis yang sering digunakan oleh banyak kendaraan listrik adalah motor DC karena karakteristik kecepatan torkanya sesuai dengan kebutuhan daya cengkram kendaraan dan pengaturan kecepatannya sederhana (VTU learning). Namun, motor DC memiliki kelemahan yaitu adanya komutator yang

membutuhkan pemeliharaan rutin (Aglan, 2012). Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (rotating magnetic field) yang dihasilkan arus stator.(Nurseha et al., 2015)

Terdapat dua jenis utama motor listrik yaitu motor DC dan motor AC. Motor DC/ arus searah menggunakan arus langsung yang tidak langsung (direct-undirectional). Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas, sedangkan motor AC/ arus bolak balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik yaitu stator dan rotor.

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 statornya, 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. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fase dan motor induksi 1-fase. Motor induksi 3-fase dioperasikan pada sistem tenaga 3-fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fase dioperasikan pada sistem tenaga 1-fase dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fase mempunyai daya keluaran yang rendah. B

### **2.2.1 Klasifikasi Motor Induksi**

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama:

1. Motor Induksi Satu Phasa

Motor induksi satu phasa memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan menggunakan daya satu phasa, memiliki sebuah rotor kandang tupai dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin dan mesin cuci.

## 2. Motor Induksi Tiga Phasa

Motor induksi tiga phasa menghasilkan medan magnet yang berputar seimbang. Motor induksi tiga phasa memiliki kemampuan daya yang tinggi, memiliki gulungan rotor dan penyalaan sendiri. Motor ini merupakan jenis motor yang digunakan oleh industry seperti pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik dan grinder.

Adapun kelebihan motor induksi 3-fasa :

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana dan daya tahan yang kuat.
2. Relatif lebih murah harganya bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya.
3. Menghasilkan putaran yang konstan.
4. Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula
5. Tidak membutuhkan sikat-sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi

Kekurangan motor induksi 3-fasa:

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 s/d 7 kali arus nominal motor.
3. Power factor rendah pada beban ringan.

### 2.2.2 Kelas Motor Induksi

#### 1. Motor Kelas A.

Karakteristik dari motor kelas A adalah torsi starting yang normal, arus start yang tinggi, slip kerja yang rendah. Motor kelas A memiliki tahanan rangkaian rotor yang rendah dengan persentase slip rendah berkisar  $0.5 < s < 1.5$  pada beban penuh. Mesin jenis ini sesuai diaplikasikan untuk beban yang memerlukan torsi rendah saat awal (seperti kipas angin atau pompa) sehingga

kecepatan penuh dapat dicapai dengan cepat, dan overheating akibat arus start yang tinggi pada saat awal dapat diatasi. Pada motor besar, rangkaian wye delta dibutuhkan untuk membatasi arus start.

## 2. Motor Kelas B.

Adapun karakteristik dari motor kelas B yakni memiliki torsi start yang normal, arus start rendah, dan slip yang rendah. Torsi awal motor kelas B hampir sama dengan motor kelas A, namun arus start 75 persen lebih rendah dari motor kelas A. Arus start dapat dikurangi akibat desain rotor bar yang dalam sehingga kebocoran reaktansi semakin besar. Kebocoran reaktansi yang besar mengakibatkan torsi yang rendah. Sedangkan slip saat beban penuh dan efisiensi sama bagusnya dengan motor kelas A.

## 3. Motor Kelas C.

Karakteristik motor kelas C memiliki torsi awal yang besar, dan arus start yang kecil. rotor dengan double-cage bar digunakan, sehingga tahanan rotor lebih besar dari motor kelas B. Slip saat beban penuh lebih tinggi dan efisiensi lebih rendah daripada motor kelas A maupun B. Motor kelas C cocok digunakan sebagai kompresor, konveyor, penghancur, dan sebagainya.

## 4. Motor Kelas D.

Karakteristik motor kelas D yakni memiliki torsi awal yang besar, arus start yang kecil, dan nilai slip yang besar. Batang konduktor rotor terbuat dari bahan yang memiliki tahanan dalam tinggi seperti kuningan atau tembaga. Karakteristik torsi-kecepatan sama dengan motor induksi dengan rotor belitan yang diberi tahanan luar. Slip saat beban penuh mencapai 8 hingga 15 persen, namun efisiensi motor rendah. Motor ini cocok untuk menggerakkan beban yang terputus-putus seperti hoist, akselerasi yang cepat, beban yang besar seperti menekan, memukul, atau memotong.

### 2.3 Jenis Motor Induksi 3 Fasa

- a. Motor tiga Fasa rotor belitan, yaitu motor dengan belitan kumparan pada rotornya. Kelebihan rotor dengan kumpran adalah mempunyai arus awal yang rendah dan torsi awal yang tinggi.
- b. Motor tiga fasa rotor sangkar, Jenis motor induksi ini terdiri dari tumpukan lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor di sekelilingnya dan kemudian disatukan untuk membentuk inti rotor. Dengan rotor sangkar, motor dapat menghasilkan arus awal yang tinggi , torsi awal rendah dan Kapasitas Overload tinggi serta Efisiensi dan faktor kerja yang lebih tinggi dibanding rotor belitan.

### 2.4 Jenis Motor Induksi 1 fasa

Motor jenis ini adalah motor fasa tunggal yang tidak bisa dioperasikan secara langsung karena fluks yang dihasilkan dari arus pada stator dan pada rotor besarnya sama namun berlawanan arah, sehingga total fluks yang dialami oleh rotor adalah 0. Agar motor dapat berputar, perlu perbedaan fasa yang dibuat dengan konfigurasi sesuai jenis motornya.

- a. Motor Kapasitor, adalah motor satu fasa yang menggunakan kapasitor sebagai pembeda fasa antara rotor dan stator sehingga motor dapat berputar. digunakan pada perangkat skala kecil dan rumah tangga seperti pompa air, mesin cuci, Air Conditioner (AC) dan beberapa jenis kipas angin.



**Motor Kapasitor**

Gambar 2.1 Motor Kapasitor

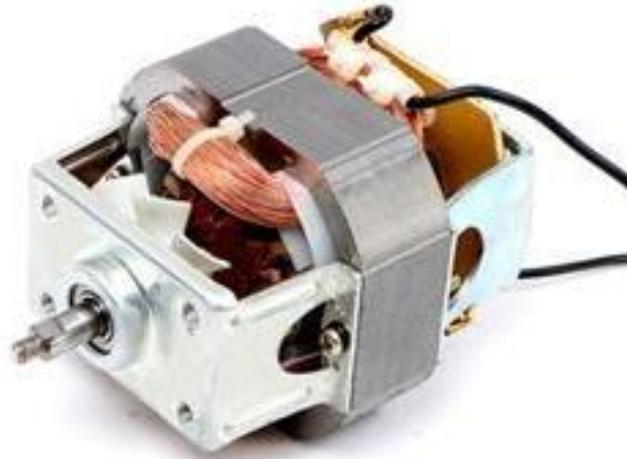
- b. Motor Shaded Pole, adalah motor dengan rotor sangkar tupai yang biasanya ditemui pada kipas angin dan blender. Konstruksinya sangat sederhana, pada kedua ujung stator ada dua kawat yang terpasang dan dihubung singkatkan fungsinya sebagai pembelah fasa.



**Motor Shaded Pole**

Gambar 2.2 Motor Shaded Pole

- c. Motor Universal, adalah motor satu fasa dengan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit maupun motor bor tangan. Kontruksinya sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, dan torsinya yang cukup besar.

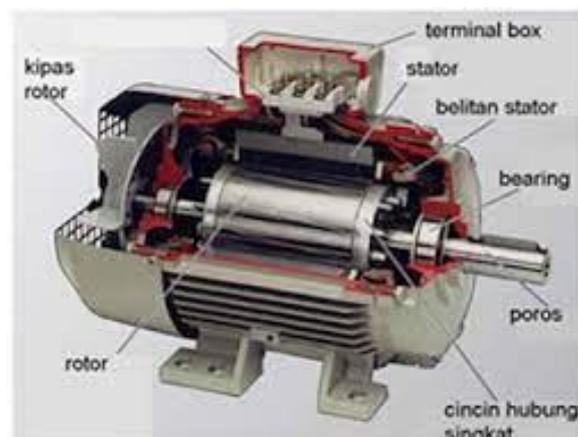


## Motor Universal

Gambar 2.3 Motor Universal

### 2.5 Konstruksi Motor Induksi 3- Fasa

Secara umum, konstruksi motor induksi tiga fasa (gambar 2.1) terdiri dari frame untuk melindungi bagian dalam motor, stator yang merupakan bagian diam, rotor yang merupakan bagian bergerak, bearing sebagai poros motor, terminal sebagai suplai motor, sistem pendingin untuk mendinginkan rotor dan isolasi untuk melindungi kebocoran listrik antar fasa atau fasa dengan tanah.



Gambar 2.4 Konstruksi motor induksi 3-fasa.

## 2.6 Stator

Stator adalah bagian statis pada motor yang menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotor. Stator tersusun dari kumparan stator dan tumpukan laminasi inti. Inti stator dibuat dari tumpukan lempengan besi (*core iron*) yang dilaminasi dan diasatukan. Inti berfungsi sebagai dukungan mekanis sekaligus kanalisasi magnet yang akan dihasilkan. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa, dimana belitan tersebut terpisah secara elektrik sejauh 120°. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang telah dilapisi dengan isolasi tipis kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris.

Stator juga merupakan tempat dihubungkannya motor dengan sumber listrik AC tiga fasa. Saat tegangan AC disuplai ke stator, maka arus akan mengalir melalui kumparan. Medan magnet akan dihasilkan oleh kumparan fasa yang tergantung arah arus yang melewati kawat tersebut.

Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (*stator frames*) yang di desain secara khusus.



Gambar 2.5 Stator Frame

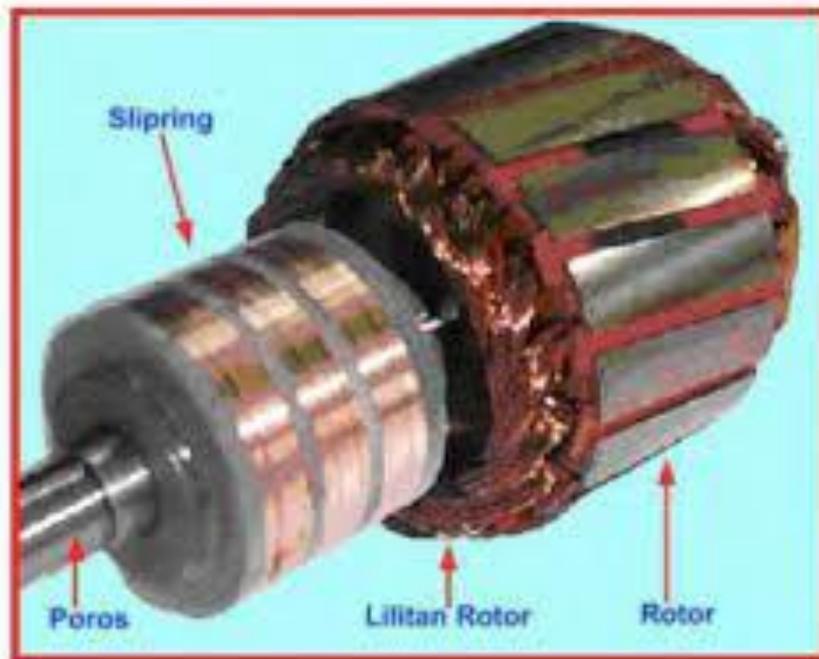
Frame seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 merupakan penutup (enclosure) sebuah motor listrik. Frame terdiri dari suatu rangka dan dua ujung bearing housing. Stator ditempatkan didalam frame, sedangkan rotor diletakkan didalam stator dan dipisahkan oleh rongga udara. Frame berfungsi sebagai pelindung dari bahaya listrik bagian motor yang bertegangan maupun berputar dari efek yang membahayakan lingkungan selama motor beroperasi. Bearing ditempelkan di shaft guna mendukung secara mekanis agar motor dapat berputar. Sebuah fan juga ditempatkan di shaft yang berfungsi sebagai pendingin motor.

## **2.7 Rotor**

Rotor merupakan bagian dinamis dari suatu motor. Rotor terdiri dari lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya. Lempengan besi tipis yang dilaminasi tersebut dibuat agar mengurangi panas jika telah dipasang kumparan dan saat diberi arus. Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk inti rotor. Rotor pada motor induksi dibagi menjadi dua, yaitu :

### **1. Rotor Belitan (*Wound Rotor*)**

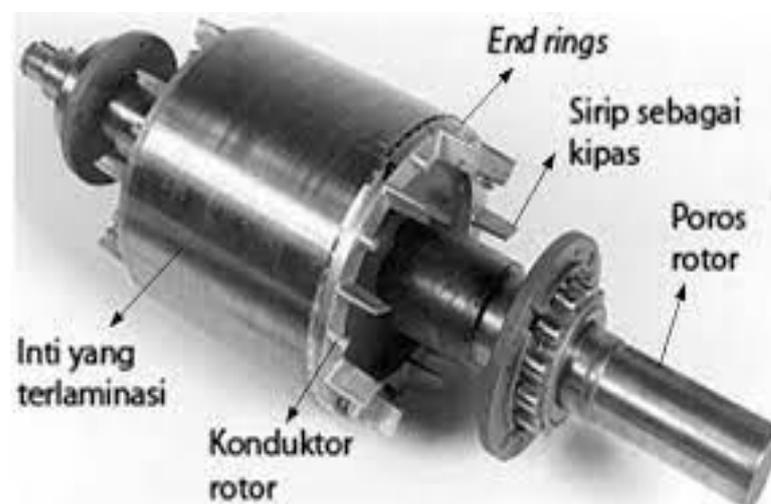
Rotor Belitan merupakan salah satu jenis rotor yang dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan dengan hubung Y dan masing-masing ujung fasa dikeluarkan ke slip ring yang terpasang pada poros rotor. Slip ring terhubung ke sebuah tahanan variable eksternal yang berfungsi membatasi arus penghasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama penghasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil disbanding dengan rotor sangkar. Inti rotor diletakkan menempel ke shaft dari besi yang membentuk kontruksi rotor secara penuh.



Gambar 2.6 Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

## 2. Rotor Sangkar (*Squirrel Cage Rotor*)

Rotor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai terbuat dari lapisan- lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan- lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubung *delta* (  $\Delta$  ) maupun bintang (Y).

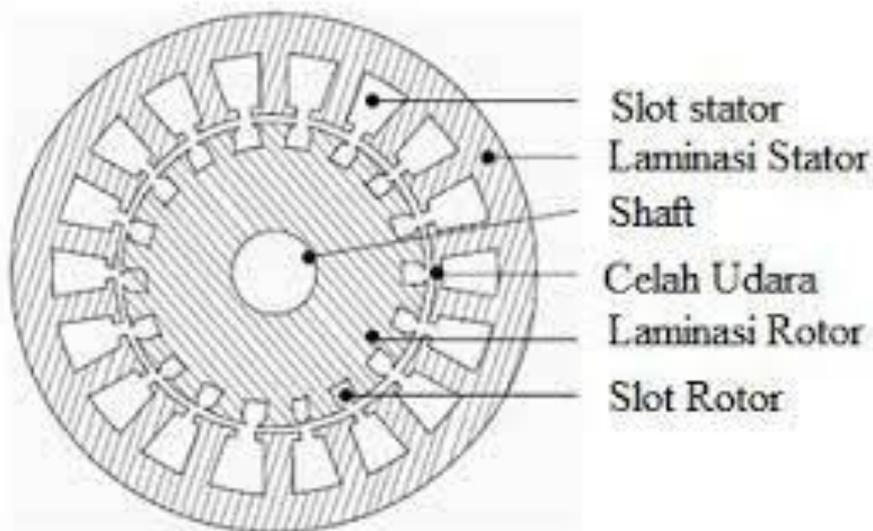


Gambar 2.7 Rotor Sangkar (*Squirrel cage rotor*)

Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan parallel terhadap poros motor tetapi seringkali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau megnetik sewaktu motor berputar. Pada ujung rotor, seluruh lilitan dishortkan dengan busbar yang terbuat dari tembaga atau alumunium. Cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin.

### 2.7.1 Celah Udara

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga meyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar, akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah. Sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit, dikhawatirkan akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Bentuk gambaran sederhana celah udara pada motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.8 Celah Udara

### 2.7.2 Prinsip Kerja Motor Induksi

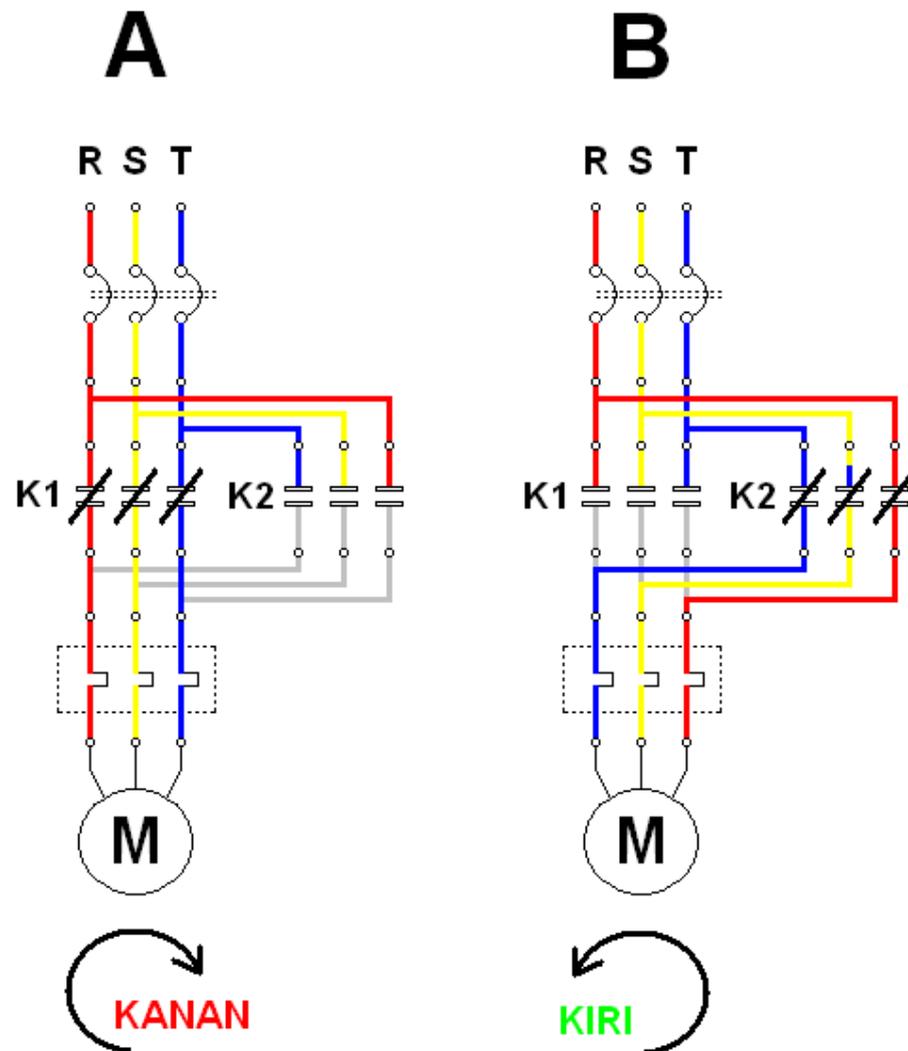
Pada dasarnya motor induksi berputar apabila terdapat medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh kumparan stator. Medan putar pada kumparan stator akan timbul jika dihubungkan pada sumber tegangan listrik. Berikut merupakan penjelasan secara lengkap mengenai prinsip kerja motor induksi :

1. Arus listrik yang dialirkan pada suatu medan magnet dengan kerapatan fluks akan menghasilkan suatu gaya.
2. Nilai gaya dipengaruhi banyaknya lilitan
3. Bila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator maka akan timbul medan putar.
4. Medan putar akan mendorong konduktor yang terdapat pada sisi rotor, akibatnya kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl)
5. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka tegangan induksi akan menghasilkan arus
6. Adanya arus dan medan magnet akan menimbulkan gaya pada rotor
7. Bila torsi awal yang di hasilkan oleh gaya rotor cukup besar untuk memikul torsi beban maka rotor akan berputar searah medan putar stator dengan kerapatan fluks akan menghasilkan suatu gaya.
8. Untuk membangkitkan tenaga induksi agar tetap ada maka diperlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar rotor
9. Jika kecepatan medan putar stator sama dengan kecepatan putar rotor maka tegangan terinduksi dan arus tidak mengalir pada rotor dengan demikian tidak ada torsi yang dapat dihasilkan
10. Dilihat cara kerjanya bisa disebut motor asinkron.

### 2.7.3 Membalik Arah Putaran Motor Induksi 3-fasa

Untuk membalik putaran motor induksi 3-fasa dapat dilaksanakan dengan menukar posisi fasa input motor yaitu dua diantara tiga kawat dari sumber seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini. Dalam gambar dijelaskan: gambar A:

arah putaran motor ke arah kanan bila urutan fasa input R-S-T masuk dalam rangkaian Breaker dan Kontaktor ke motor gambar B: arah putaran motor ke arah kiri bila urutan fasa input yang masuk dalam rangkaian dan ke motor adalah kebalikannya, yaitu T-S-R.



Gambar 2.9 Cara membalik arah putaran motor induksi 3-fasa.

#### 2.7.4 Pengaturan Kecepatan Pada Motor Induksi

Secara umum motor induksi mempunyai kecepatan putar yang konstan. Akan tetapi di lain sisi banyak penerapan motor yang masih memerlukan adanya beberapa kecepatan bahkan memerlukan suatu rentang kecepatan yang bisa diatur. Kecepatan

serempak suatu motor induksi dapat dirubah dengan suatu cara. Berikut cara merubah pengaturan kecepatan :

#### 1. Merubah jumlah kutub.

Jumlah kutub suatu motor induksi 3-fasa dapat dirubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikian rupa, sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda beda dengan perbandingan 2 lawan 1, atau dari jumlah 4 kutub menjadi 2 kutub. Jenis rotor yang sering digunakan untuk merubah jumlah kutub adalah jenis rotor sangkar, hal ini dikarenakan lilitan rotor sangkar selalu menghasilkan suatu medan rotor yang memiliki jumlah kutub yang sama (menyesuaikan jumlah kutub statornya).

#### 2. Mengubah frekuensi dan tegangan sumber (*input*).

Kecepatan serempak suatu motor dapat dirubah dengan merubah frekuensi sumber. Agar kerapatan fluks tetap terjaga, maka harus diikuti dengan mengatur tegangan sumber. Persoalan utama untuk merubah frekuensi ini adalah dengan menggunakan sebuah alat yang disebut dengan inverter. Inverter sendiri adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC, sehingga frekuensi yang dihasilkan pun juga berubah.

### 2.7.5 Pengertian Pole

Pole / *Poles* merupakan istilah lain dari Kutub bila kita artikan kedalam bahasa Indonesia. Yang dimana istilah ini merupakan sebuah istilah yang akan menyatakan seberapa banyak jumlah kutub yang ada pada Kumparan suatu motor listrik (dinamo) sebagai dapur pacu. Yang dimana, seperti kita ketahui bersama dari prinsip elektronika. Sebuah dinamo / motor listrik merupakan komponen yang bertugas untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak (putar) dengan memanfaatkan sistem kerja berprinsip *Elektromagnetik*.

#### 1. Pengertian 2 Pole

Motor yang memiliki dua kutub (atau sepasang kutub magnet utara dan selatan) disebut sebagai motor 2 kutub. Seringkali belitan stator

berada di kutub utara dan selatan. Jumlah belitan stator dapat menghasilkan jumlah kutub yang wajar mulai dari 2 hingga 12. Tersedia motor dengan lebih dari 12 kutub, tetapi tidak umum digunakan.

## 2. Pengertian 4 Pole

Motor yang berisi empat kutub di stator (atau dua pasang kutub magnet) dalam urutan bolak-balik; N> S> N> S. Kecepatan sinkron motor empat kutub yang terhubung ke daya listrik adalah 1500 RPM, yang merupakan setengah dari kecepatan motor 2 kutub. Dengan beban terukur, kecepatan operasi dapat menurun ke nilai sekitar 1450 RPM. Dalam empat motor kutub, rotor berputar 90° untuk setiap setengah siklus. Oleh karena itu, rotor menyelesaikan 1 siklus untuk setiap dua siklus sumber. Oleh karena itu jumlah energi yang dikonsumsi dua kali jumlah motor 2 kutub dan secara teoritis menghasilkan dua kali torsi.

### 2.7.6 Temperatur Motor Induksi

National Electrical Manufacturing Association (NEMA) menjelaskan rise didefinisikan sebagai kenaikan motor melebihi ambient. Temperatur ambient adalah udara disekitar motor atau dapat disebut sebagai ruang pada motor. Jumlah dari rise dan ambient adalah jumlah dari keseluruhan panas pada motor. Isolasi pada motor induksi dibagi menjadi beberapa kelas dan dapat dijelaskan sesuai dengan klasifikasi dibawah ini ambient tidak lebih dari 40° C).

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kenaikan Temperatur Motor Induksi

No	Motor Rating	Insulation Class and			
		H		C	
		A	B	F	H
1	All horse power ( or kW)	60	80	105	125
2	1500 hp(1120 kW) and less	70	90	115	140
3	Over 1500 hp (1120 kW) and 7000 volts or less	65	85	110	135
4	Over 1500 hp (1120 kW) and over 7000 volt	60	80	105	125

### 2.7.7 Ukuran Motor Untuk Beban Yang Bervariasi

Ukuran motor untuk beban yang bervariasi Motor industri seringkali beroperasi pada kondisi beban yang bervariasi karena permintaan proses. Praktek yang umum dilakukan dalam situasi seperti ini adalah memilih motor berdasarkan bebanantisipasi tertinggi. Namun hal ini membuat motor lebih mahal padahal motor hanya akan beroperasi pada kapasitas penuh untuk jangka waktu yang pendek, dan beresiko motor bekerja pada beban rendah. Alternatfnya adalah memilih motor berdasarkan kurva lama waktu pembebanan untuk penggunaan khusus. Hal ini berarti bahwa nilai motor yang dipilih sedikit lebih rendah daripada bebanantisipasi tertinggi dan sekali-kali terjadi beban berlebih untuk jangka waktu yang pendek. Hal ini memungkinkan, karena motor memang dirancang dengan faktor layanan (biasanya 15% diatas nilai beban) untuk menjamin bahwa motor yang bekerja diatas nilai beban sekali-sekali tidak akan menyebabkan kerusakan yang berarti. Resiko terbesar adalah pemanasan berlebih pada motor, yang berpengaruh merugikan pada umur motor dan efisiensi dan meningkatkan biaya operasi. Kriteria dalam memilih motor adalah bahwa kenaikan suhu rata-rata diatas siklus operasi aktual harus tidak lebih besar dari kenaikan suhu pada operasi beban penuh yang berkesinambungan (100%). Pemanasan berlebih pada motor dapat terjadi dengan alasan sebagai berikut.

1. Perubahan beban yang ekstrim, seperti seringnya jalan/berhenti, atau tingginya beban awal.
2. Beban berlebih yang sering dan/atau dalam jangka waktu yang lama
3. Terbatasnya kemampuan motor dalam mendinginkan, contoh pada lokasi yang tinggi, dalam lingkungan yang panas atau jika motor tertutupi atau kotor. Jika beban bervariasi terhadap waktu, metode pengendalian kecepatan dapat diterapkan sebagai tambahan terhadap ukuran motor yang tepat.

### **2.7.8 Memperbaiki kualitas daya**

Kinerja motor dipengaruhi oleh kualitas daya yang masuk, yang ditentukan oleh tegangan dan frekuensi aktual dibandingkan dengan nilai dasar. Fluktuasi dalam tegangan dan frekuensi yang lebih besar daripada nilai yang diterima memiliki dampak yang merugikan pada kinerja motor. Tabel 6 menampilkan pengaruh umum 87 dari variasi tegangan dan frekuensi pada kinerja motor. Ketidakseimbangan tegangan bahkan dapat lebih merugikan terhadap kinerja motor dan terjadi apabila tegangan tiga fase dari motor tiga fase tidak sama. Hal ini biasanya disebabkan oleh perbedaan pasokan tegangan untuk setiap fase pada tiga fase. Dapat juga diakibatkan dari penggunaan kabel dengan ukuran yang berbeda pada sistem distribusinya. Ketidakseimbangan tegangan dapat diminimalisir dengan cara sebagai berikut.

1. Menyeimbangkan setiap beban fase tunggal diantara seluruh tiga fase
2. Memisahkan setiap beban fase tunggal yang mengganggu keseimbangan beban dan umpankan dari jalur/trafo terpisah.

### **2.7.9 Penyebab Kerusakan Pada Motor Induksi**

Bedasarkan survey EPRI( Electric Power Research Institute) dan IEEE ( Institute of Electrical and Electronic Engineering ) kerusakan motor dibagi dalam beberapa kategori, yaitu :

- a. Bearing (40 – 50%).
- b. Stator (25 – 35%).

- c. Rotor (<10%).
- d. Lain2 (kopling, seal).

Sebab kerusakan terjadi diakibatkan kondisi abnormal operasi yaitu : Under Voltage, Over Voltage kerusakan mechanical juga disebabkan Lubrikasi (grade, kontaminasi, kesediaannya, .Mekanikal (excessive radial loading, axial loading), Rough surfaces (fatigue, cracks, shaft currents), Vibrasi (unbalance current phase, mechanical unbalance)

## **2.8 Winding Motor 1 Phase**

Belitan awal motor satu fasa adalah kumparan kawat terpisah , biasanya dengan jumlah lilitan lebih sedikit dibandingkan belitan utama, yang digunakan untuk menciptakan medan magnet berputar saat motor distart. Belitan ini biasanya dihubungkan secara seri dengan kapasitor, yang menciptakan pergeseran fasa antar arus pada belitan awal dan belitab utama, sehingga motor dapat mulai berputar. Setelah motor mencapai kecepatan tertentu, belitan start diputuskan dan motor berjalan pada belitan utama.

### **2.8.1 Winding Motor Induksi 3-Fasa Rotor Sangkar**

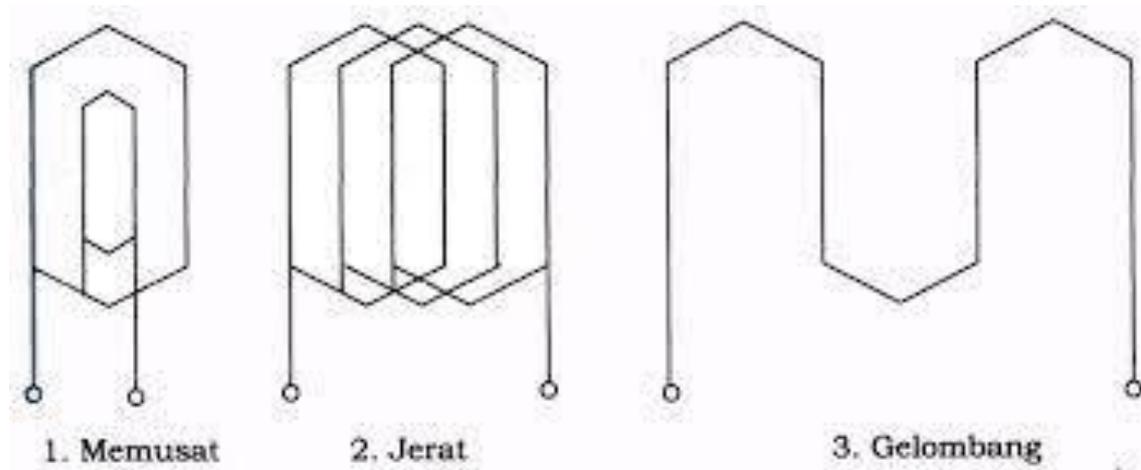
Umumnya dalam proses menggulung ulang stator motor insuksi 3-fasa menggunakan 2 jenis belitan. Dimana metode pertama ialah belitan dua lapis dengan dua kumparan dimasukan dalam satu alur . Adapun metode kedua yaitu belitan lapisan tunggal dengan satu kumparan dimasukan dalam satu alur. Menurut bentuk kumparan, cara belitan dibedakan menjadi dua yaitu belitan gelung dan belitan rantai Berikut merupakan jenis kumparan kumparan stator motor induksi 3-fasa pada umumnya, yaitu:

#### **1. Kumparan terpusat (*Concentric winding*).**

Kumparan sepusat 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 spesia.

## 2. Kumparan jerat atau lilitan bertumpuk (*Lap winding*).

Kumparan jerat atau juga dinamakan belitan spiral banyak digunakan untuk motor motor (generator) dengan kapasitas yang besar. Umumnya untuk kelas menengah keatas, walaupun secara khusus ada mesin listrik dengan kapasitas yang lebih besar, kumparan statornya menggunakan kosentris Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan gambaran skema lilitan.



Gambar 2.10 Lilitan Motor Induksi 3 Fasa

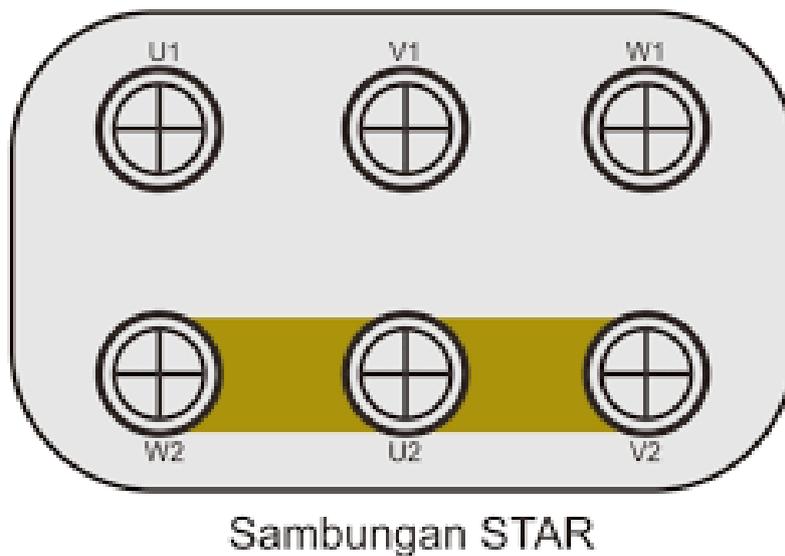
### 2.8.2 Sambungan Ujung-Ujung Kumparan Motor 3 Fasa

Kumparan stator motor induksi 3-fasa memiliki dua macam system sambungan antara ujung kumparan fasa yang satu dengan ujung-ujung kumparan fasa yang lain yang biasanya ujung-ujung sambungan diletakkan pada kotak terminal sambungan.

Jika motor induksi 3-fasa dihubungkan ke sumber tegangan, data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan dan frekuensinya. Sambungan diimplementasikan melalui enam terminal pada kotak terminal motor dalam dua macam sambungan yaitu bintang (*Star*) dan sambungan Segetiga (*Delta*).

a. Sambungan Bintang ( Star )

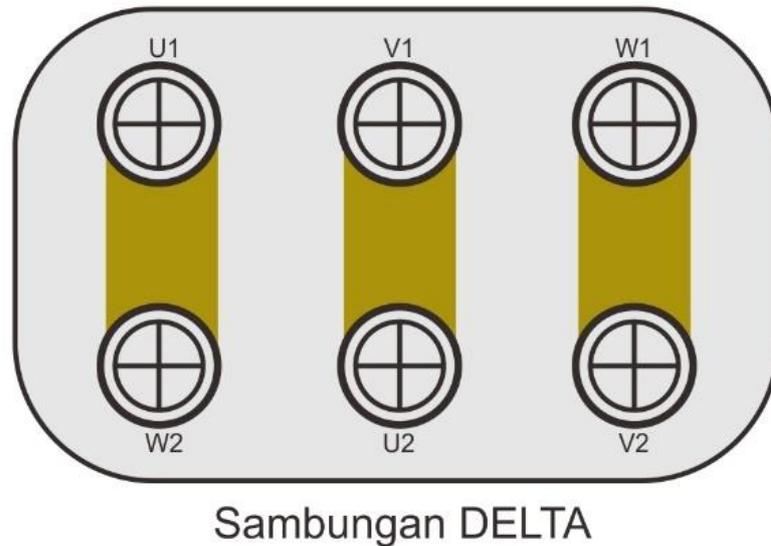
Sambungan bintang ( Star ) adalah sambungan ujung-ujung akhir dari kumparan stator motor induksi tiga fasa yang dikeluarkan pada kotak terminal sambungan dihubungkan menjadi satu ( ujung U2, V2 dan W2 atau X, Y dan Z di join), sepertinyang ditunjukkan gambar.



Gambar 2.11 Terminal sambungan bintang (*star*).

a. Sambungan Segetiga ( *Delta* )

Sambungan segitiga (*delta*) adalah sambungan yang ujung awal kumparan fasa yang satu disambung seri dengan ujung akhir kumparan fasa yang lain, sehingga akan membentuk lop tertutup yang menyerupai segitiga seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 2.12 Terminal sambungan segitiga (*delta*).

### 2.8.3 Meningkatkan Nilai Tahanan Kumbaran Stator

Resistansi (*Resistance*) atau lebih tepatnya disebut dengan Resistansi Listrik (*Electrical Resistance*) adalah kemampuan suatu bahan benda untuk menghambat atau mencegah aliran arus listrik. Seperti yang kita ketahui bahwa arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik dalam tiap satuan waktu yang dikarenakan oleh adanya pergerakan electron elektron pada konduktor. Maka Resistansi Listrik yang biasanya dalam bahasa Indonesia disebut dengan Hambatan Listrik ini juga diartikan sebagai penghambat aliran elektron dalam konduktor tersebut.

Nilai Resistansi atau nilai hambatan dalam suatu rangkaian listrik diukur dengan satuan Ohm atau dilambangkan dengan simbol Omega  $\Omega$ . Sedangkan prefix atau awalan SI (Standar Internasional) yang digunakan untuk menandakan kelipatan pada satuan resistansi tersebut adalah kilo Ohm, Mega Ohm dan Giga Ohm.

Pada dasarnya, setiap bahan penghantar atau konduktor memiliki sifat yang menghambat arus listrik, besaran hambatan listrik pada suatu penghantar atau konduktor dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. Jenis bahan, contohnya tembaga memiliki nilai resistansi yang lebih rendah dibandingkan dengan baja.

- b. Suhu. Nilai resistansi akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada penghantar.
- c. Panjang penghantar. Semakin panjang suatu penghantar semakin tinggi pula nilai resistansinya.
- d. Luas penampang. Semakin kecil diameter suatu penghantar semakin tinggi pula nilai resistansinya.

Berdasarkan suatu percobaan, Ohm juga merumuskan bahwa hambatan (R) kawat logam berbanding lurus dengan panjang (l), berbanding terbalik dengan luas penampang lintang kawat (A), dan bergantung kepada jenis bahan tersebut. Secara matematis rumus hambatan jenis suatu penghantar dirumuskan:

---

Keterangan:

$$R = H \left( \frac{l}{A} \right)$$

l = Panjang sebuah kawat penghantar (m).

A = Luas penampang lintang penghantar (m<sup>2</sup>).

$$R = H \left( \frac{l}{A} \right)$$

## 2.9 Komponen Pendukung

Komponen pendukung pada motor induksi 3 fasa ada kawat email, sirlak (*varnishing*), presspan dan nomex

### 2.9.1 Kawat Email

Kawat email merupakan kawat tembaga yang telah terisolasi khusus. Kawat email sudah digunakan sejak tahun 1960 an. Kawat ini umumnya digunakan sebagai belitan (kumparan) yang akan dimasukkan ke dalam alur-alur stator motor induksi. Di pasaran kawat email tersedia dengan berbagai merk dan ukuran

diameternya. Dari 30 Inggris ada merk SIMS, Essex dan Atco, dari Jerman ada merk BICC, Iberfil dan Helenic, dari Indonesia ada merk Supreme produksi PT. Sucaco dan KEI produksi PT. Kawat Enamel Indonesia.

mengenai kawat email berdasarkan bahan pelapis nya.

1 PVF di jumpai pada produk sucaco/supreme, di tujukan untuk pekerjaan listrik frekuensi tinggi. Memiliki tahan panas 105 ° C

2. PEW di jumpai pada produk sucaco/supreme dan produk cina, Malaysia, taiwan yang memiliki tahan panas 130 ° C. Digunakan pada peralatan listrik rumah tangga, seperti kipas angin, pompa air,dll . Hampir seluruh peralatan rumah tangga menggunakan jenis kawat ini.

3. EIW bisa di jumpai pada produk sucaco/suprime, ATCO, BICC, Iberfil , Briton, dan KEI. Memiliki tahan panas 180°C. Digunakan untuk motor dan generator industri menengah diterapkan pada class temperature F. Kawat tipe ini juga dipergunakan pada motor-motor industri seperti blower, motor penggerak mesin, serta berbagai motor dengan beban besar.

4. PEI Di jumpai pada produk Sims, Essex, memiliki tahan panas 220° C.

5. Untuk kemampuan derajat panas di atas 220° C tidak menggunakan kawat email, namun menggunakan kawat telanjang dilapis polyeteline film. di jumpai pada produk mesin listrik mutu tinggi, pada class temperature H. diterapkan pada mesin listrik kereta api, kapal laut, pesawat .

Setiap class insulasi memiliki keunggulan tertentu. Tidak berarti bahwa ketahanan suhu yang lebih tinggi selalu lebih baik. Banyak aplikasi yang memang mengharuskan penggunaan class insulasi suhu rendah dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kelenturan, ketebalan lapisan pelindung dan sebagainya.



Gambar 2.13 Kumpulan Kawat Email

### **2.9.2 Sirlak (Insulating varnish)**

Arus listrik atau arus gaya magnet pada suatu motor induksi akan menimbulkan panas termasuk pengaruh panas dari luar yang berpengaruh terhadap penyekat. Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan pada penyekat yang dapat mengakibatkan hubung singkat maka diperlukan pemakaian penyekat tambahan. Oleh karenanya baik pada kumparan stator maupun rotor motor dilapisi sirlak. Sirlak (Insulating varnish) adalah jenis pernis khusus berupa bahan kimia yang memiliki sifat tahan terhadap panas yang difungsikan untuk melindungi gulungan transformer, kumparan electric motor, generator (rotor & stator), connector dan beberapa peralatan listrik lainnya. Sirlak memiliki kelebihan berupa sifat bahannya yang flexibel dan kering hanya dalam waktu yang cukup cepat (60 menit), Lapisan bersifat fleksibel, tidak getas, Memiliki daya hambat tinggi, serta mampu melindungi material dari pengaruh asam, basa dan solvent yang terjadi akibat dari penumpukan debu, terkena air hujan atau karena ada lelehan akibat tidak menggunakan pelumas tahan panas tinggi yang mengakibatkan terjadinya hubung singkat dan korosi.



Gambar 2.14 Dr.Beck Insulating Varnis

### 2.9.3 *Vitterban*

*Vitterban* berfungsi sebagai pelapis kawat email agar melindungi dan memmbentuk kawat email agar lebih terlihat lebih rapi. Dan *Vitterban* juga berfungsi lain memberikkan jarak.



Gambar 2.15 *Vitterban*

#### 2.9.4 Nomex Presspan Lapis

Prespan pada dasarnya kertas, bahan dasar pembuatannya sama dengan kertas namun berbeda sifatnya . Dibandingkan dengan kertas prespan lebih padat dan memiliki lapisan mika sehingga sedikit kedap air dan memiliki ketahanan panas hingga 120°C. Namun nomex memiliki ketahanan yang lebih baik daripada prespan yang mampu menahan panas hingga 200° C. Ciri khas nomex yaitu memiliki beberapa garis berwarna ditengah-tengah. Kedua bahan tersebut memiliki tekstur yang keras, namun dapat dibengkokkan tanpa membuat bahan tersebut retak ataupun koyak. Sehingga sangat baik digunakan sebagai penyekat alur stator, rotor, maupun transformator terhadap kumparannya.



Gambar 2.16 Prespan lapis

### 2.9.5 Presspan

Presspan (Kertas plastik yang yang digunakan untuk melapisi antara kawat email dengan bodi pada alur), Kertas prespan atau mika untuk melapisi Email Kumparan (lilitan) disesuaikan dengan diameter aslinya pada dinamo. Kertas Mika Prespan Dinamo berbahan kertas yang satu sisinya dilapisi mika.



Gambar 2.17 Presspan

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan perencanaan serta pengambilan data secara mandiri di PT MusimMas KIM 2 Medan Deli, Medan.

##### 3.1.2 Waktu

Waktu penelitian di mulai sejak awal bulan Mei 2023 hingga beberapa bulan kedepan s/d selesai.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

NO	Uraian Kegiatan	Waktu								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Pengajuan Judul	■								
2	Studi Literatur		■							
3	Penulisan Bab 1s/d Bab 3			■						
4	Seminar Proposal				■					
5	Penulisan Bab 1 s/d Bab 5					■				
6	Seminar Hasil							■		
7	Revisi Seminar Hasil								■	
8	Sidang Meja Hijau									■

### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses perancangan lilitan (kumparan) stator motor induksi 3-fasa adalah :

#### **3.2.1 Alat**

- a) Obeng plus-minus.
- b) Tang lancip.
- c) Tang potong.
- d) Tang kombinasi.
- e) Tang snap ring.
- f) Kunci Ring-pas.
- g) Pisau carter.
- h) Pahat.
- i) Gunting.
- j) Tracker.
- k) Martil besi.
- l) Martil karet.
- m) Micrometer.
- n) Jangka sorong.
- o) Penggaris.
- p) Solder.
- q) Kuas.

#### **3.2.2 Bahan**

- a) Kertas prespan.
- b) Kawat email.
- c) Selongsong kabel.
- d) Kabel serabut.
- e) Timah.
- f) Isolasi kertas.
- g) Sirlak (Insulating varnish).
- h) Pita ban.
- i) Bambu
- j) Skun kabel.

### 3.3 Data Spesifikasi Motor Rewinding

Berikut merupakan data spesifikasi motor rewinding :

- a. Pabrikan : Bei Qi (made in China)
- b. Daya : 1.5 KW
- c. Tegangan : 220/ 380 V
- d. Arus : 3,46 A / 3,82 A
- e. Putaran : 2880 rpm
- f. Phase : 3-phase
- g. Frekuensi : 50 Hz
- . : ( )/ ( )
- i. Jumlah alur : 24 alur

### 3.4 Analisis Kebutuhan

Objek penelitian kali ini meliputi motor induksi 3-fasa jenis rotor sangkar yang mempunyai daya 21.6 kw. Penelitian ini dilakukan secara mandiri di workshop PT. MusimMas, Medan. Kegiatan penelitian ini direncanakan memakan waktu kurang lebih 2 bulan terhitung sejak bulan Mei s/d Juli 2023. Guna tercapainya hasil serta tujuan yang diinginkan, maka penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan:

#### a. Tahap Persiapan

Mencari motor induksi 3-fasa rotor sangkar yang telah teridentifikasi belitan (kumparan) stator terbakar. Kemudian mencatat data-data yang tertera pada name plate motor induksi 3-fasa tersebut dengan tujuan agar mengetahui batasan-batasan rpm, arus, dan banyaknya kutub guna mempermudah proses perhitungan yang akan direncanakan yang mana selanjutnya data tersebut digunakan sebagai pembanding.

#### b. Tahap Pembongkaran

Pada tahapan ini dilakukan proses pembongkaran berupa kerangka (chasing), kipas (fan), poli motor dan membongkar lilitan stator yang akan di rewinding. Kemudian mencuci bagian dalam motor dari debu, minyak, grease 36 dan kotoran yang menempel menggunakan cairan kimia pembersih yaitu electric motor cleaner,

sangat efektif dalam membersihkan peralatan yang mengandung tegangan listrik. Electric motor cleaner merupakan cairan kimia yang tidak mudah terbakar dan tidak menyebabkan short.

c. Tahap Perancangan dan Perhitungan Konsep Lilitan.

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran pada kawat email dengan cara mengukurnya dengan micrometer dan melakukan pengemalan kawat email.

d. Tahap Pengujian dan Analisis Data Arus

Pengujian merupakan tahapan sesudah pelaksanaan perancangan sistem telah selesai, pada tahap ini dilakukan pengujian serta melakukan pengukuran parameter-parameter pada motor induksi 3-fasa tersebut.

e. Menarik Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian ini, pengambilan kesimpulan ini didasarkan pada hasil pengujian.

### 3.5 Menentukan Konsep Lilitan Stator Motor Induksi 3-Fasa

Dalam melakukan rewinding motor induksi 3-fasa diperlukan perencanaan konsep yang matang, yang mana dari konsep tersebut kita dapat memperkirakan kinerja motor induksi setelah di rewinding. Dalam penelitian kali ini penulis akan membahas motor induksi 3-fasa dengan 36 Alur.

1. Menghitung jumlah alur (G).

Alur pada stator merupakan bagian pada stator yang berperan sebagai tempat tiap-tiap belitan (kumparan) tembaga ditempatkan. Alur umumnya berbentuk setengah (semi) terbuka menyerupai bentuk trapezium yang memanjang. Alur terbuat dari susunan sejumlah besi berbentuk lapisan tipis dengan tujuan pengurangan rugi- ( ).

2. Menentukan Jumlah Alur Per Kutub Per Fasa

---

Keterangan :

G = Jumlah alur pada stator

P = Jumlah pasang kutub

M = Fasa

Perlu digaris bawahi untuk motor induksi

Tabel 3.2 RPM motor

RPM	POLE
3000	2
1500	4
1000	6
750	8

3. Menentukan Langkah alur (Ys).

---

Keterangan :

Ys = Langkah Alur

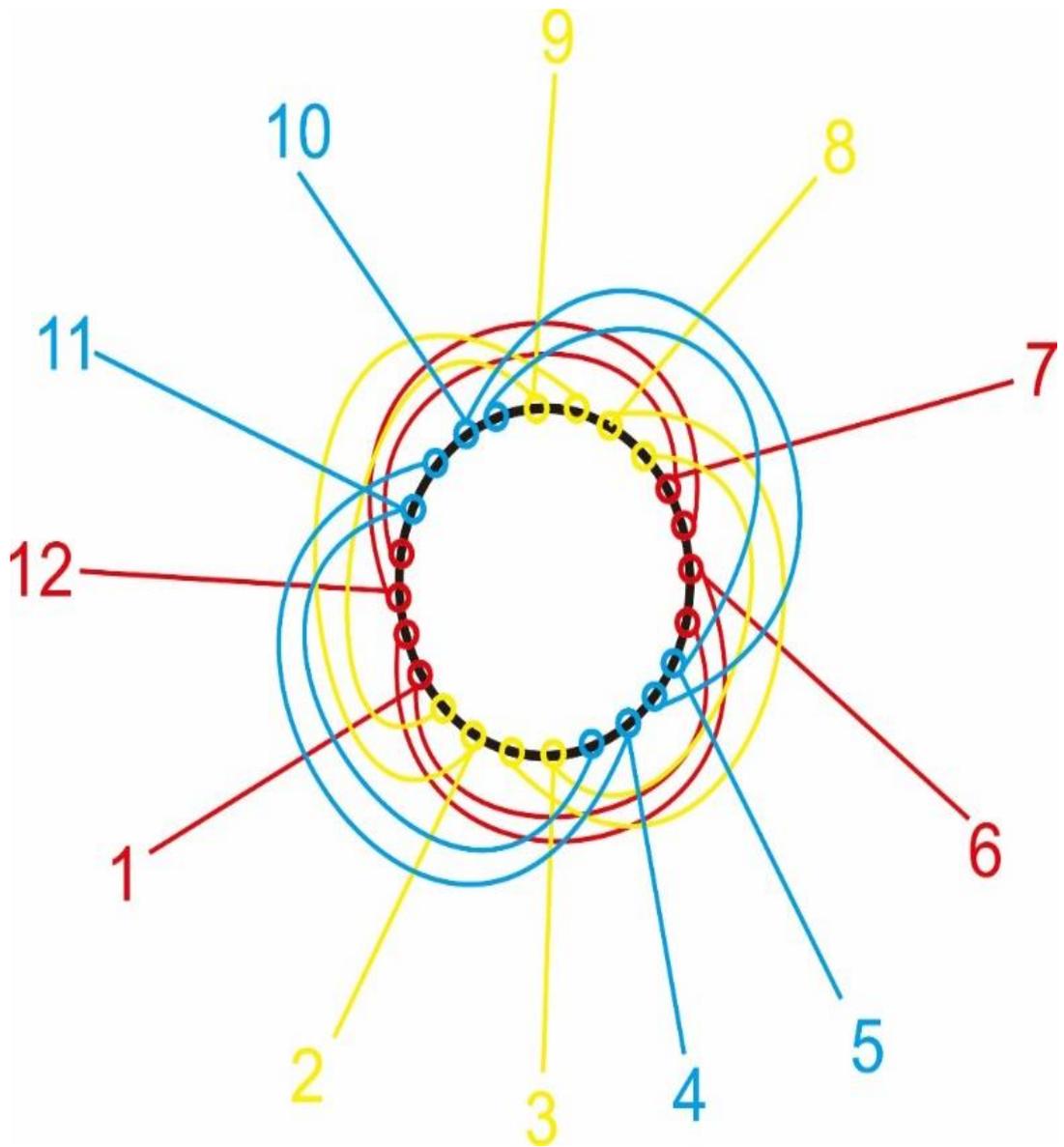
G = Jumlah alur pada stator

P = Jumlah pasang kutub

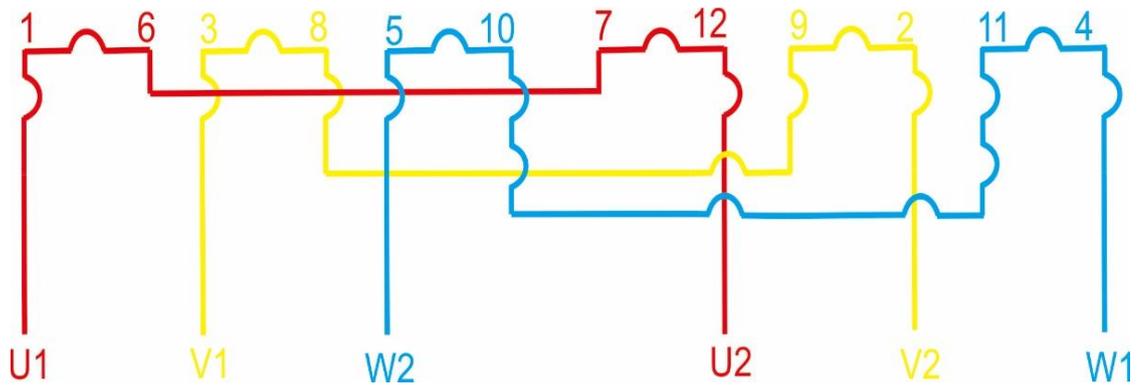
## 2. Menentukan Langkah Fasa ( Yf )

—

Guna mempermudah diri penulis maupun pembaca dalam memahami step by step proses rewinding suatu motor induksi 3-fasa. Dibawah ini penulis mencantumkan skema belitan lingkaran penuh dengan type belitan terpusat suatu motor induksi 3-fasa jenis rotor sangkar. Skema gambaran dibawah ini akan digunakan pada proses penelitian Tugas Akhir ini.



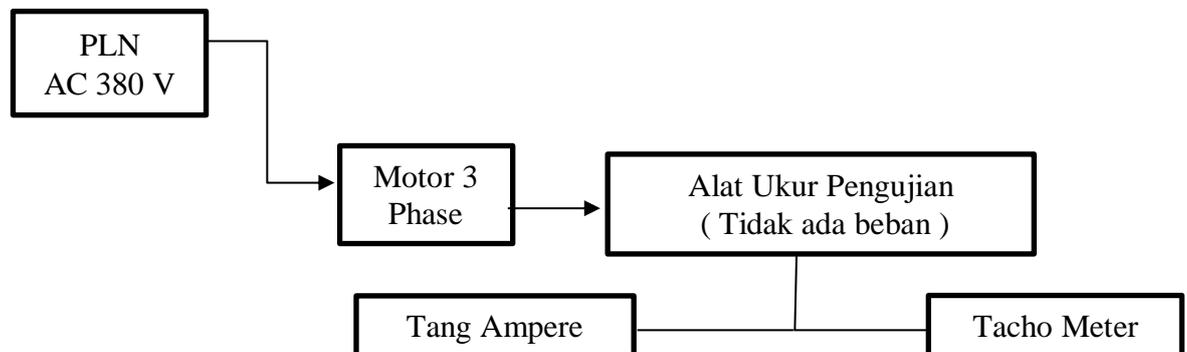
Gambar 3.1 Skema belitan lingkaran motor induksi 3-fasa 24 slot



Gambar 3.2 Skema serian motor induksi 3-fasa 24 alur

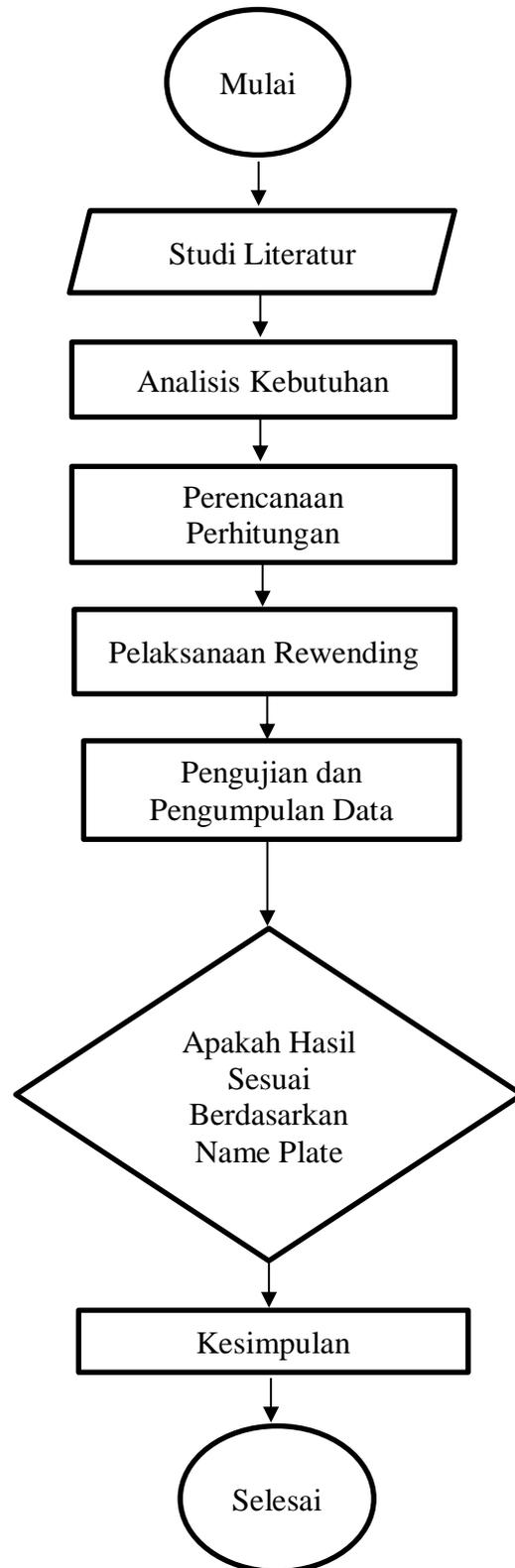
### 3.6 Rencana Pengujian.

Tujuan pengujian ialah guna mengetahui apakah kinerja motor induksi hasil rewinding tersebut sesuai berdasarkan standarisasi papan nama (name plate) yang tertera pada motor. Sehingga diketahui apakah motor induksi tersebut dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Serta mengetahui perbandingan nilai parameter-parameter yang dihasilkan antara kedua motor induksi tersebut. Adapun parameter-parameter yang dilakukan dalam pengujian ialah: Resistansi, Kecepatan, Pengujian Arus , Tegangan



Gambar 3.3 Skema rangkaian pengujian motor induksi 3-fasa.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian





## BAB 4

### HASIL PEMBAHASAN

#### 4.1 Identifikasi

Dalam proses merencanakan lilitan stator motor induksi, terdapat beberapa tahapan-tahapan yang sebelumnya harus dilakukan, yang mana tahapan itu diantaranya:

1. Mencatat data-data motor induksi yang tertera pada *name plate*.
2. Membongkar motor guna mengetahui banyaknya jumlah alur pada stator.
3. Merencanakan konsep belitan stator berdasarkan hasil dari perhitungan.
4. Setelah itu melakukan proses pengujian motor tersebut.

Proses identifikasi merupakan langkah utama dalam proses rewinding suatu motor induksi. Hal ini bertujuan guna mengetahui gambaran secara jelas sehingga mempermudah dalam menentukan sebuah konsep perhitungan dalam merencanakan lilitan stator suatu motor. Identifikasi maupun pendataan harus sesuai berdasarkan nilai yang tertera pada *name plate* motor yang mana data tersebut juga digunakan sebagai gambaran dalam menentukan perhitungan lilitan stator, dan juga digunakan sebagai pembanding hasil akhir pengujian apakah telah sesuai berdasarkan *name plate* motor induksi 3-fasa tersebut. Berikut gambar *name plate* motor induksi 3-fasa yang akan direncanakan lilitan statornya. Proses rewinding yaitu dilakukannya penggantian lilitan dan penggantian bantalan (bearing), prosesnya dimulai dari incoming test lanjut ke tahap pembongkaran dan penggantian belitan motor. Setelah proses rewinding dilanjutkan pada tahap pengujian akhir motor sebelum dikembalikan kepada konsumen untuk meyakinkan bahwa motor sudah layak beroperasi. Pengujian akhir ini adalah tahapan terakhir dari proses setelah motor induksi 3 fasa di rewinding. Dalam tahapan akhir ini, pengujian dilakukan untuk menentukan kemampuan motor tersebut apakah sudah sesuai dengan tujuan akan dilakukan apabila motor telah selesai dirakit dan dipasang seluruh komponennya. Tahap pengujian ini, motor yang telah diuji sesuai dengan tahapan pengujian dan telah memenuhi syarat dari seluruh tahapan

pengujian maka motor tersebut dinyatakan lulus tes dan motor siap untuk dipacking dan segera dikirim kepada konsumen. Akan tetapi apabila motor gagal dalam tes akhir ini, dalam artian terdapat kegagalan atau kerusakan salah EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 13 No. 2 Mei 2017; 54-60 58 satu fungsi dan tidak memenuhi standar maka akan dianalisa kembali dari kerusakan yang terjadi dan motor akan dikembalikan untuk diperbaiki apabila tidak motor akan di reject. Sebelum dilakukan pengujian mekanis dan elektrik, terdapat berbagai macam tahapan dalam melakukan pengujiannya. Saat proses pengujian diperlukan ketelitian dan harus dilakukan secara urut



Gambar 4.1 name plate motor induksi.

#### 4.2 Pembongkaran Motor Induksi 3-fasa.

Setelah motor listrik melalui proses pendataan awal, maka proses selanjutnya ialah proses pembongkaran pada motor induksi tersebut. Guna mempermudah pada proses pengkopelan pada tahapan akhirnya, sebelum dibongkar alangkah baiknya

tiap-tiap bagian motor diberikan penamaan ataupun tanda lainnya sehingga tidak terjadi kesalahan pada proses pengkopelan.

Proses pembongkaran yang dilakukan ialah dengan memisahkan bagian-bagian motor berupa *stator*, *fan cover*, *fan*, *terminal box*, *terminal*, *bracket*, dan juga *Impeler*. Setelah melalui tahapan pembongkaran maka dapat dilakukan proses perencanaan perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa tersebut.



Gambar 4.2 Cover Impeler Motor



Gambar 4.3 Cover Fan



Gambar 4.4 Impeler Motor



Gambar 4.5 Fan Motor



Gambar 4.6 Frame Stator



Gambar 4.7 Box Terminal

### 4.3 Perencanaan Lilitan

Stator Berdasarkan hasil identifikasi pada motor induksi 3-fasa pabrikan Beidiatas. Diketahui bahwasanya jumlah alur pada stator adalah 24 alur. Perencanaan ini akan dilakukan berdasarkan name plate dimana fasa masukan berjumlah 3- fasa, dengan rpm 2900. Pada perencanaan selanjutnya setelah diketahui jumlah alur, maka akan dilakukan perhitungan jumlah alur per kutub per fasa.



Keterangan :

G = Jumlah alur pada stator

P = Jumlah pasang Kutub

M = Fasa

Untuk 2 buah garis warna biru pada gambar 4.8 dengan menempati alur no 5,6.

Inilah yang disebut dengan jumlah alur per kutub per fasa. Kemudian melakukan perhitungan guna menentukan langkah alur :

---

---

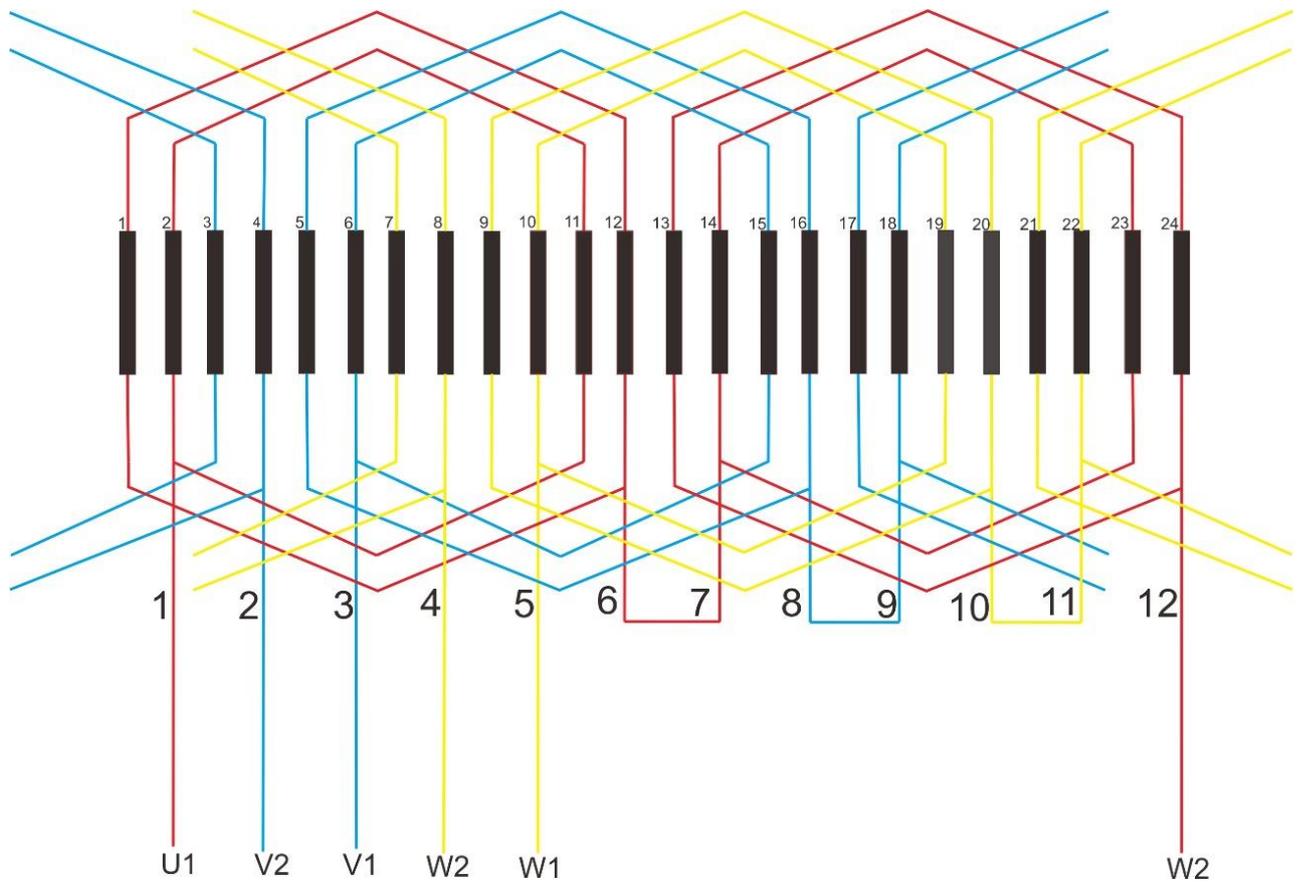
Keterangan:

Ys = Langkah alur.

G = Jumlah alur pada stator.

P = Jumlah pasang kutub

Maka menjadi 11 Untuk 2 buah garis warna biru dengan menempati alur "berjarak 11 alur" dari no 5 ke 16 Lihat bahwa  $5 + 11 = 16$  dst. Inilah yang dimaksud dengan "langkah alur". Dalam hal ini warna biru adalah fasa U. Selanjutnya yaitu menentukan langkah fasa. Langkah fasa digunakan untuk menentukan dimana fasa berikutnya akan ditempatkan.



Gambar 4.8 Skema bentangan kumparan motor induksi 3-fasa 24 alur.

Proses tahapan kedua yaitu menentukan luas alur guna mengetahui jumlah kawat yang dapat dililitkan dengan mengukur celah bagian atas, dan bagian bawah dari slot (alur), kemudian mengukur tinggi celah. Maka dari itu untuk memperoleh luas alur dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

---



---

Keterangan :

- L = Luas Alur  
 a = Celah bagian atas alur.  
 b = Celah bagian bawah alur  
 h = Tinggi alur

Kemudian mencari luas presspan guna memperoleh luas efektif dari alur, yaitu :

Luas presspan mempengaruhi belitan pada motor yang akan di lakukan rewinding dan berguna agar ukuran lapisan presisi dengan lobang slot.

$L_p = \text{Tebal Prespan} \times \text{Luasa Alur}$

$L_p = 0.20 \times 62$

$L_p = 12,$

Sehingga luas alur yang dapat dimasuki kawat ialah

$L_e = \text{Luas Alur} - \text{Luas Prespan}$

$L_e = 62 - 12,4$

$L_e = 49,6$

Tahapan akhir yaitu menentukan banyaknya jumlah lilitan pada suatu alur motor

( )

berdasarkan nilai Arus yang tertera pada name plate, yaitu

\_\_\_\_\_

—

Keterangan :

I = Arus ( Ampere)  
 $\pi r^2$  = Luas Penampang Kawat

Maka diameter kawat email yang akan digunakan didapat menggunakan persamaan :

$$N = \frac{L_e}{\pi r^2}$$

Berdasarkan hal ini, maka dapat diketahui jumlah belitan pada tiap-tiap alur dengan membagi nilai luas efektif ( $L_e$ ) dengan diameter kawat email ( $d$ ) sehingga diperoleh yaitu 60 belitan,

#### 4.4 Proses Rewinding

Proses rewinding adalah inti dari hasil proses perhitungan pada tahapan sebelumnya agar hal-hal tersebut terealisasikan dan dapat dilakukan pengujian dalam tahapan akhir. Adapun proses *rewinding* sebagai berikut.

1. Pemasangan kertas prespan / Nomex pada slot stator (Alur).

Hal ini dilakukan untuk memberikan isolasi antara kumparan dengan inti stator. Sehingga apabila terjadi kerusakan email pada kumparan tidak akan terjadi *short* pada bodi motor.



Gambar 4.9 Proses pemasangan prespan.

## 2. Pengemalan belitan kumparan.

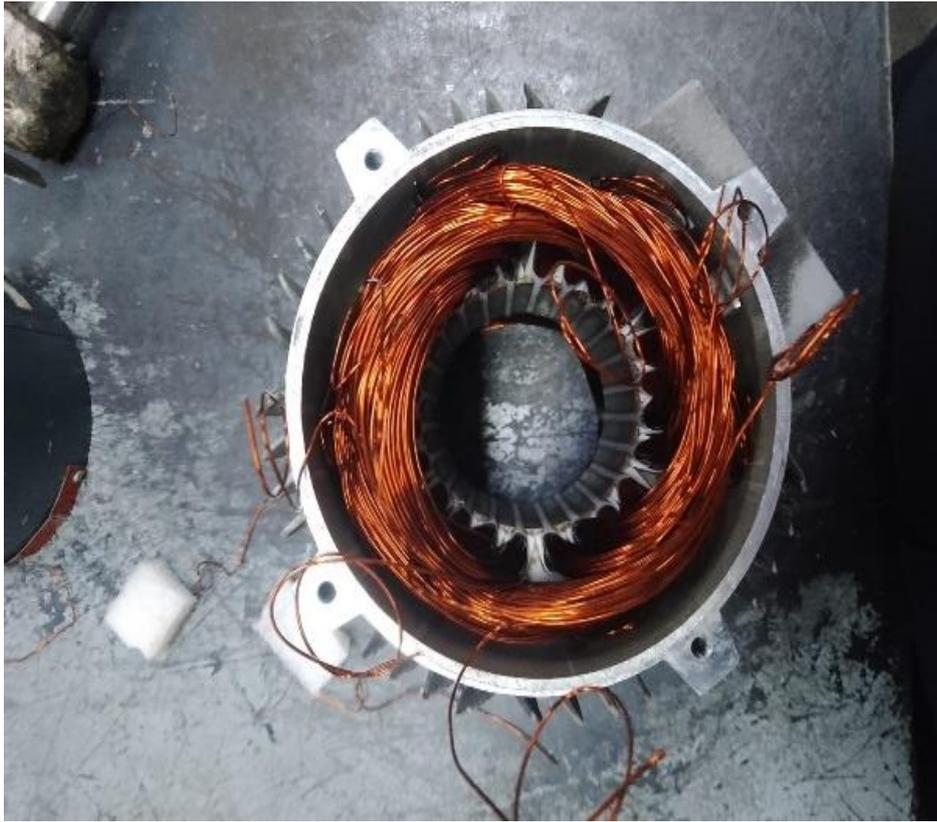
Proses pengemalan belitan yaitu dengan menggulung kawat email sesuai data yang telah diperoleh berdasarkan perhitungan yang diperuntukkan motor induksi pada tahapan sebelumnya. Proses pengemalan dilakukan sesuai panjang slot stator dengan melebihkan beberapa cm dari inti stator. Apabila mal kumparan terlalu panjang, dapat mengurangi kerapian dari kumparan serta dikhawatirkan kumparan akan menyentuh bagian tutup dari motor yang dapat menimbulkan kontyak badan.



Gambar 4.10 Proses pengemalan kumparan.

### 3. Pemasangan Kumparan pada stator

Stelah dilakukan proses pengemalan belitan, maka belitan tersebut dililitkan atau dimasukkan kedalam slot stator. Cara pemasangan belitan tersebut sesuai dengan data yang telah diperhitungkan sebelumnya.



Gambar 4.11 Pemasangan kumparan sesuai dengan belitan peralur

Proses pemasangan dilakukan secara hati-hati agar tidak terjadi kerusakan pada isolasi email kawat belitan akibat gesekan antara kawat dengan inti stator. Dengan data langkah alur yaitu 1-8 maksudnya ialah tiap satu kumparan kumparan pada slot satu akan keluar pada slot 8, begitu seterusnya. Arah pemasangan kumparan harus dilakukan dalam satu arah. Untuk mempermudah dalam memahami secara lengkap dapat dilihat data pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Langkah Pemasangan Kumbaran.

FASA 1 (U1-U2)		FASA2 ( V1-V2)		FASA 3 (W1-W2)	
SPOLE	Slot	SPOLE	Slot	SPOLE	Slot
Awal-Akhir		Awal-Akhir		Awal-Akhir	
1	(U1) 2 - 11 1 - 12	2	(V1) 6 - 15 5 - 16	3	(W1) 10 - 19 9 - 20
4	14 - 23 (U2) 24 - 13	5	18 - 3 17 - 4 (V2)	6	22 7 21 8 (W2)

#### 4. Pemasangan prespan penutup.

Prespan yang akan digunakan sebagai penutup kumparan pada tiap slot stator ditentukan panjangnya sesuai panjang alur stator dengan menambah 0.5 cm pada masing-masing ujung alur stator. Prespan penutup ini diperlukan sebagai penutup sehingga kumparan tidak lagi keluar dari dalam slot serta pelindung antara email dengan celah bagian atas slot stator.



Gambar 4.12 Proses pemasangan prespan penutup

#### 5. Pemasangan prespan lapis

Prespan tipe ini berbeda dengan prespan yang digunakan sebagai pelindung slot stator. prespan ini didominasi dengan bahan kertas yang diperuktkkan sebagai sekat masing masing grup pada kumparan guna meminimalisir terjadinya short antar grup kumparan (antar fasa satu dengan yang lainnya) serta sebagai penanda masing-masing grup pada belitan stator.

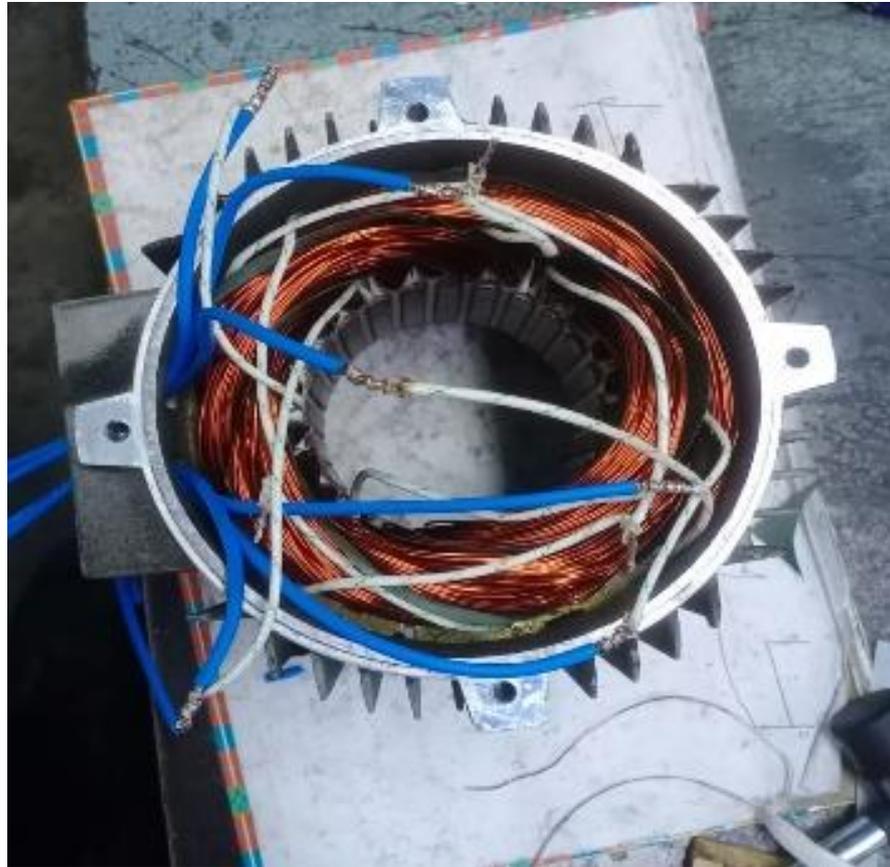


Gambar 4.13 Proses pemasangan prespan lapis.

#### 7. Connection Winding Connection

*Connection Winding* merupakan tahapan terpenting dalam rewinding stator suatu motor induksi. Hal ini dikarenakan *Connection winding* yang akan menentukan arah dan jumlah kutub pada belitan stator yang mana mempengaruhi

kinerja motor induksi 3-fasa tersebut. *Connection winding* yang digunakan ialah sebagai yang tertera pada bab sebelumnya.



Gambar 4.14 Sambungan belitan stator

8. Pengikatan *winding* dengan pita ban.

Pita ban digunakan dalam mengikat belitan/kumparan stator yang sudah dililitkan pada slot stator setelah proses *rewinding* selesai, hal ini dilakukan untuk:

- a. Merapikan *winding*.
- b. Membuat *winding* padat dan kencang.
- c. Menghindari terjadinya short antara *winding* dengan bodi motor.
- d. Menghindari *winding* dengan rotor agar mudah dalam proses perakitan.



Gambar 4.15 Pengikatan winding stator.

#### 8. Varnishing dan Pengovenan.

*Varnish* merupakan bahan kimia yang memiliki sifat tahan terhadap panas yang difungsikan untuk melindungi gulungan transformer, kumparan electric motor, generator (rotor & stator), connector dan beberapa peralatan listrik lainnya. Sirlak memiliki daya hambat tinggi, serta mampu melindungi material dari pengaruh asam, basa dan solvent yang terjadi akibat dari penumpukan debu, terkena air hujan atau karena ada lelehan akibat tidak menggunakan pelumas tahan panas tinggi yang mengakibatkan terjadinya hubung singkat dan korosi. Pemberian *varnish* merupakan proses pelapisan belitan dengan cairan yang dioleskan atau disiramkan ke kumparan dan inti stator. Setelah proses *varnishing* selesai maka perlu

untuk dibersihkan varnish yang berlebih pada bagian motor yang tidak diinginkan seperti pada bodi motor dan kabel.

Setelah selesai *varnishing* maka selanjutnya melakukan pengovenan. Hal ini bertujuan guna mengurangi kelembapan air akibat dari proses *varnishing* dan mempercepat proses pengeringan *varnish* agar melekat dan mengikat winding stator. Setelah selesai pengovenan maka sisa-sisa *varnish* pada inti stator harus dibersihkan agar mempermudah dan tidak mengganggu saat proses pengkopelan.



Gambar 4.16 Proses varnishing

#### 4.5 Pengujian

Pengujian tahap akhir ini berupa running test yaitu guna mengetahui kelayakan penggunaan motor dengan mengukur Resistansi, Kecepatan, Arus,

Tegangan, , dan Faktor Daya tanpa menggunakan beban. Pengujian kali ini juga untuk mengetahui hasil perbandingan kinerja antara motor induksi Adapun beberapa instrument alat ukur yang digunakan dalam pengujian motor :

a. Tang ampere

Tang ampere adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur nilai arus yang mengalir pada motor induksi di masing-masing fasanya (3-fasa). Saat motor telah berputar, besarnya arus yang mengalir pada motor akan diketahui. Tang ampere ini juga dapat digunakan dalam mengukur nilai tahanan, voltase, dan frekuensi

b. Tachometer

Tachometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran motor berputar disetiap menitnya, dengan menembakkan laser dari tachometer ke poros shaft motor yang berputar yang sebelumnya diberikan stiker scotlight untuk mendukung kerja dari tachometer. Nilai dari hasil pengukuran ini dapat dikatakan benar dan aman ketika nilai yang dihasilkan sesuai dengan name plate yang tertera pada motor induksi.

a. C (C ).

Digunakan untuk mengetahui, besarnya factor kerja (power factor) yang merupakan beda fase antara tegangan dan arus. Dalam pengertian sehari-hari disebut pengukur Cosinus phi ( $\phi$ ). Tujuan pengukuran  $\cos \phi$  atau pengukur nilai cosinus sudut fasa adalah memberikan penunjukan secara langsung dari selisih fasa yang timbul antara arus dan tegangan

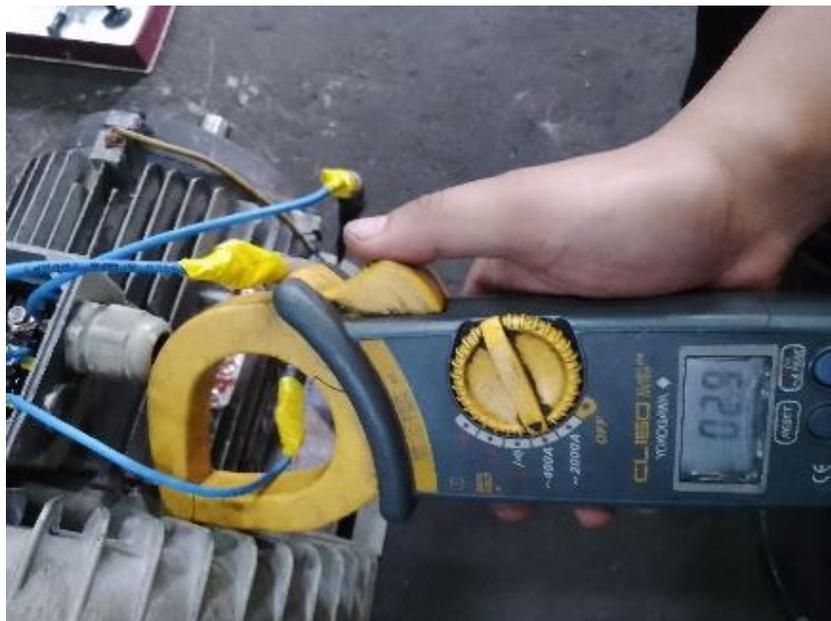
a. Pengujian Arus menggunakan Beban

Pengujian arus menggunakan tang ampere digunakan untuk mengukur nilai arus yang mengalir pada motor induksi di masing-masing fasanya (3-fasa). Saat motor telah berputar, besarnya arus yang mengalir pada motor akan diketahui. Tang ampere ini juga dapat digunakan dalam mengukur nilai tahanan, voltase, dan hasil pengujian tanpa beban telah di ukur dalam gambar berikut :



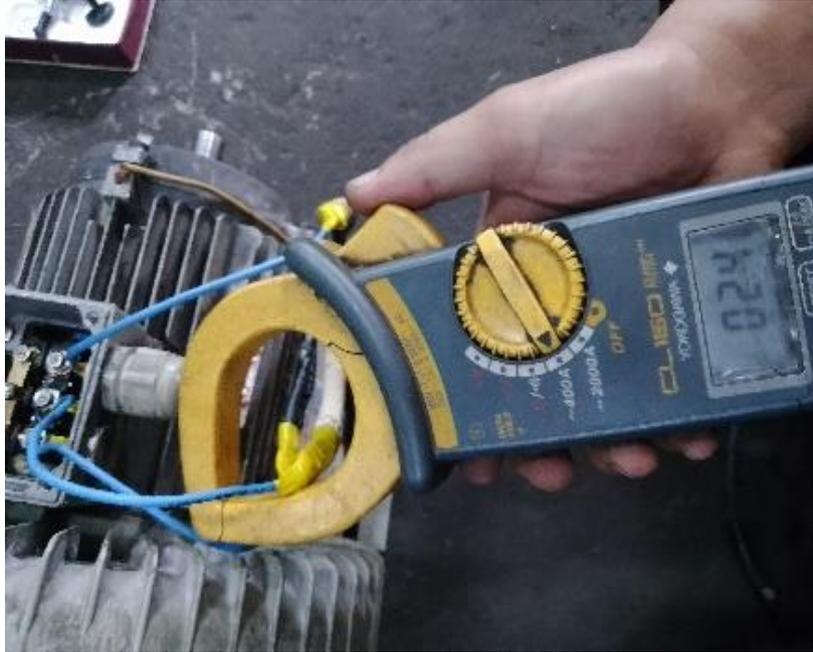
Gambar 4.17 Pengecekan Arus Dengan Tampilan Digital

1. Pengecekan Fasa ( R ) U1-U2



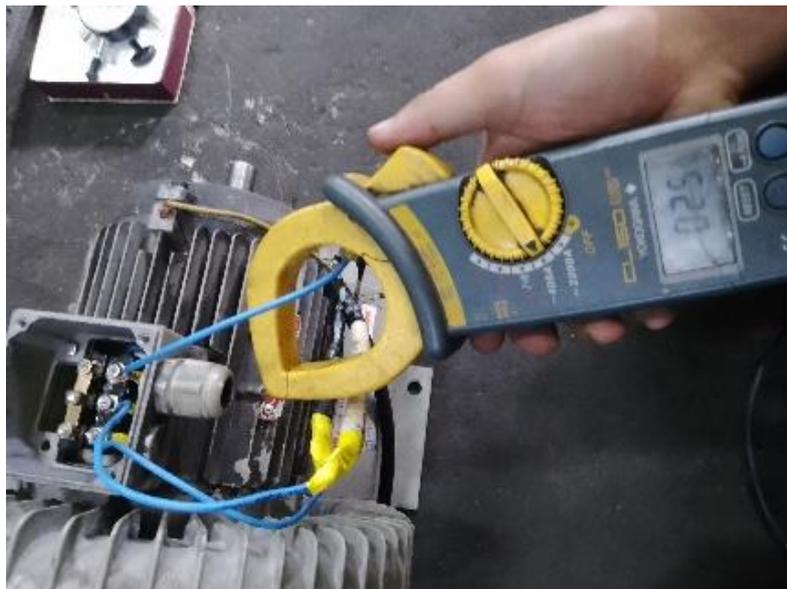
Gambar 4.18 Pengujian Fasa R

2. Pengecekan Fasa ( S ) V1-V2



Gambar 4.19 Pengujian Fasa (S)

3. Pengecekan Fasa ( T ) W1-W2



Gambar 4.19 Fasa (T)

Pengecekan Arus ( I ) pada hasil rewending agar hasil lebih pasti harus dilakukan pengecekan pada *name plate* motor induksi, disana tertera hasil maximal Arus yang di keluarkan. Arus yang normal pada motor induksi setelah rewending yaitu harus 50% dari Arus Maximalnya dan harus pengetesan tanpa beban .

#### b. Pengujian Kecepatan

Tachometer adalah alat ukur genggam yang digunakan untuk mengukur kecepatan benda yang berputar seperti operasi mesin, dalam satuan putaran per menit (RPM). Tachometer hadir dalam bentuk analog dan digital yang memainkan peran penting dalam menentukan output daya mesin. Untuk mengetahui kecepatan putaran motor berputar disetiap menitnya, dengan menempelkan jarum dari tachometer ke poros *shaft* motor yang berputar Nilai dari hasil pengukuran ini dapat dikatakan benar dan aman 65etika nilai yang dihasilkan sesuai dengan name plate yang tertera pada motor induksi yaitu 2900 rpm.



Gambar 4.21 Pengujian RPM menggunakan *Tachometer*

c. Resistansi 3.9 ohm



Gambar 10,1 Pengecekan Resistan

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Resistansi dan Arus

Resitansi	Fasa R	Fasa S	Fasa T
<b>3.9 ohm</b>	<b>2.9 Ampere</b>	<b>2.4 Ampere</b>	<b>2.5 Ampere</b>

Berdasarkan hasil pengukuran di atas maka kita lakukan perbandingan name plate pada motor induksi maka sesuai, dikarenakan arus test running pada motor saat menggunakan beban tidak melebihi arus maximal pada name plate tersebut.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan pada penelitian tugas akhir ini terfokus pada analisa perencanaan lilitan stator motor induksi 3-fasa berdasarkan nameplate serta perbandingan data hasil pengujian ketika resistansi kumparan ditingkatkan. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode perhitungan lilitan stator dengan menggunakan rumus sangat membantu dalam mencari nilai pengukuran dalam proses rewending.
2. Rewending motor induksi 3 fasa jenis rotor sangkar harus dilakukan pengukuran dengan sangat teliti agar hasil dari rewending bisa optimal.

#### **5.2 Saran**

Mengingat studi dilakukan dengan keterbatasan dan asumsi-asumsi, maka perlu untuk memperhatikan hal-hal sebagai berikut ini:

1. Proses penentuan 3-fasa utama sebagai input tegangan serta connection winding masing-masing fasa harus dilakukan secara teliti karna sangat berpengaruh terhadap kinerja motor induksi.
2. Penelitian dapat dikembangkan pada motor induksi berkapasitas tinggi dengan daya yang cukup besar dimana proses penentuan diameter belitan apabila terdiri dari kawat email yang melebihi dari 1 penghantar dalam satu alur.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Amalia, Nanda Tri, Drs Teguh, Harijono Mulud, and Budhi Prasetyo. 2017. PERBAIKAN MOTOR INDUKSI 2380 KW DI PT . PINDAD ( PERSERO ) 13(2): 54 60.

[2] Anthony, Zuriman. 2015. .17 .2. A 2015  
I : 1693-752 . 17(2): 44 47.

[3] Elektronika, Jurnal, Teknologi Informasi, Yudhi Agussationo, and Puspita Ayu A . 2020. I D Lilita . 2: 8 14.

[4] D , E . 2020. H DI E A CA GA A A  
STATOR MOTOR LISTRIK TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI  
DAYA Lukman Aditya 1 , Lukman Pamungkas 2 Fakultas Teknik Universitas . 8(2): 43 49.

[5] Evalina, N . 2019. > A A I I E BAHA ECE A H A  
MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MENGGUNAKAN INVERTER  
3G3 2. : 25.

[6] , A , , H , H . A A I A  
DAYA MOTOR INDUKSI 3 FASA PADA OPERASI INTERMITTENT  
DENGAN VARIASI E I DE E BEBA A .

> [7] , A , A G . 2019. I  
I 3 F 1000 D H. H . 21(2): 14 26.

[8] E . A A I A GA >GG A > H A H H I D I  
FASA

- [9] DENGAN METODE CURRENT SIGNATURE ANALISIS DAN IFT IGH EAH D 1. : 19. Siswoyo, 2008. "TEKNIK LISTRIK INDUSTRI". Jakarta: Pembinaan Direktorat and Sekolah Menengah.
- [10] Meidiasha, Deffi, Muhammad Rifan, and Massus Subekti. "Alat Pengukur Getaran, Suara Dan Suhu Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Indikasi Kerusakan Motor Induksi Berbasis Arduino." *Journal of Electrical Vocational Education and Technology* 5.1 (2020): 27-31.
- [11] Yusmartato, Yusmartato, Ramayulis Nasution, and Armansyah Armansyah. "Analisis Arus Motor induksi Rotor Sangkar dengan Mengubah Jumlah Kutub." *Buletin Utama Teknik* 14.2 (2019): 112-115.
- [12] Hermawan, Indra, Yudi Yantoro, and Tauchid Riyadi. "Pengendalian Motor Listrik 3 Fasa Hubungan Bintang Segitiga (Star-Delta) Secara Manual." *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro* 1.2 (2015).
- [13] Aditya, Lukman, and Lukman Pamungkas. "STUDI PERANCANGAN KUMPARAN STATOR MOTOR LISTRIK TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI DAYA." *JURNAL ELEKTRO* 8.1 (2020): 43-49.
- [14] Siburian, Jhonson, Jumari Jumari, and Aldi Simangunsong. "Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Star Delta Pada PT. Toba Pulp Lestari Tbk." *Jurnal teknologi energi UDA: Jurnal Teknik elektro* 9.2 (2021): 81-87.
- [15] Abubakar, Said, Supri Hardi, and Rizal Alfayumi. "Sistem Pengendali Tegangan pada Generator Induksi 3 Fasa Menggunakan Kontrol PI." *JET (Journal of Electrical Technology)* 2.3 (2017): 18-26.
- [16] Sadikin, Muhammad, Alief Maulana, and M. Miftah Baihaqi. "Pemeliharaan Dan Pengujian Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Motor Circuit Analysis

(MCA) Di PT. DIAN SWASTIKA SENTOSA." *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* 14.1 (2018): 47-52.

[17] Rahmat, Mohammad Basuki, et al. "Pemeliharaan Perawatan Motor Listrik Petani Tambak Udang Sebagai So-lusi Mengurangi Dampak Kerusakan Motor Listrik Perangkat Paddle Wheel Aerator." *Bhakti Persada Jurnal Aplikasi IPTEKS* 8.2 (2022): 77-84.