

# **TUGAS AKHIR**

**ANALISA PERENCANAAN LILITAN (REWINDING) MOTOR INDUKSI,  
SERTA PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KUMPARAN  
STATOR TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI  
3-FASA 220/380V**

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

**Disusun Oleh:**

**FADLI FADHILAH**

**1707220022**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

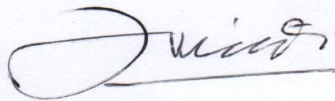
Nama : Fadli Fadhilah  
NPM : 1707220022  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisa Perencanaan Lilitan (Rewinding) Motor Induksi, Serta Pengaruh Peningkatan Resistansi Kumparan Stator Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa 2220/380 Volt.  
Bidang ilmu : Analisa Sistem Tenaga

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, 1 September 2021

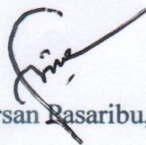
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



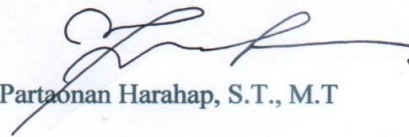
Ir. Yusniati, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



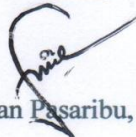
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Partaonan Harahap, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fadli Fadhilah  
Tempat /Tanggal Lahir: Medan /26 Januari 2000  
NPM : 1707220022  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**Analisa Perencanaan Lilitan (Rewinding) Motor Induksi, Serta Pengaruh Peningkatan Resistansi Kumparan Stator Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa 2220/380 Volt.**

Bukan merupakan plagiarisme, 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 orisinal 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/kesarjanaan 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, 1 September 2021

Saya yang menyatakan,

  
Fadli Fadhilah

## ABSTRAK

*Rewinding* merupakan salah satu proses perbaikan kumparan pada stator motor induksi. Hal ini bertujuan guna terciptanya sebuah motor induksi 3-fasa yang mulanya terbelah 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 per kutub per fasa, langkah alur, langkah fasa, serta *connection winding* sebagai penentu akhir kinerja motor induksi. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa diameter kawat berukuran 0,45mm dengan 86 belitan pada tiap alur dimana resistansi rata-rata per fasa sebesar 16  $\Omega$ . Ketika frekuensi masukan 40Hz, daya yang dihasilkan 504,59 Watt dengan arus 2,0A. Ketika frekuensi 45Hz, daya yang dihasilkan 539,39 Watt dengan arus 2,1A. dan pada frekuensi 50Hz, daya yang dihasilkan 480,0 Watt dengan arus 1,8A. Pada saat resistansi kumparan ditingkatkan melalui perubahan diameter kawat menjadi 0,40mm dengan 108 belitan, resistansi menjadi 26,0  $\Omega$ . Ketika frekuensi masukan sebesar 40Hz, daya yang dihasilkan 243,0 Watt dengan arus 0,9A. Ketika frekuensi 45Hz, daya yang dihasilkan 251,16 Watt dengan arus 0,9A. dan pada frekuensi 50Hz, daya yang dihasilkan 284,12 Watt dengan arus 1,0A.

***Kata Kunci :*** Motor Induksi 3-fasa, Rewinding, Peningkatan Resistansi, Stator.

## **ABSTRACT**

*Rewinding is a process of repairing coils on the stator of an induction motor. This aims to create a 3-phase induction motor which was originally abandoned into a new unit. Rewinding is carried out generally referring to nameplate data, where the winding planning method carried out must consider several things such as: wire diameter, number of turns, number of perphase pole grooves, path steps, phase steps, and connection winding as the final determinant of the performance of the induction motor. Based on the calculation results, it is found that the diameter of the wire is 0.45mm with 86 turns in each groove where the average resistance of the phase is 16  $\Omega$  . When the input frequency is 40Hz, the power generated is 504.59 Watts with a current of 2.0A. When the frequency is 45Hz, the power generated is 539.39 Watts with a current of 2.1A. and at a frequency of 50Hz, the power generated is 480.0 Watts with a current of 1.8A. When the coil resistance is increased by changing the wire diameter to 0.40mm with 108 turns, the resistance becomes 26  $\Omega$  . When the input frequency is 40Hz, the power generated is 243.0 Watts with a current of 0.9A. When the frequency is 45Hz, the power generated is 251.16 Watts with a current of 0.9A. and at a frequency of 50Hz, the power generated is 284.12 Watts with a current of 1.0A.*

**Keywords:** *3-phase induction motor, rewinding, increasing resistance, Stator.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 Perencanaan Lilitan (*Rewinding*) Motor Induksi. Serta Pengaruh Peningkatan Nilai Tahanan Kumparan Stator Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa 220/380V “ 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: Sawaluddin dan Ummi Hani, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Ir.Yusniati,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, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.T. selaku Sekertaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikelektroan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sudara-saudara kandung saya tercinta M.Riski Syahrial,S.T., Ilham Fahrizal, Intan Amelia yang selalu mendoakan dan mensupport saya. .

9. Nurallya Rahma yang selalu menemani saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Teman –teman seperjuangan Elektro A1 Pagi stambuk 2017
11. Seluruh pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan doa serta masukan kepada penulis selama menyelesaikan tugas akhir ini.

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, 1 September 2021

( FADLI FADHILAH )

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</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 .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.2 Motor Induksi .....	9
2.2.1 Klasifikasi Motor Induksi .....	10
2.2.2 Kelas Motor Induksi.....	11
2.3 Induksi 3- Konstruksi Motor Fasa .....	12
2.3.1 Stator .....	12
2.3.2 Rotor.....	14
2.3.3 Celah Udara.....	16
2.4 Prinsip Terjadinya Medan Putar .....	17
2.5 Prinsip Kerja Motor Induksi .....	18
2.5.1 Slip .....	18
2.5.2 Rugi-Rugi Pada Motor Induksi 3-Fasa .....	19
2.5.2.1 Kerugian Pada Motor Listrik.....	19
2.5.2.2 Kelas Isolasi dan Batas Kenaikan Suhu Pada Kumparan.....	20
2.5.3 Efisiensi Pada Motor Induksi .....	21
2.5.4 Membalik Arah Putaran Motor Induksi 3-fasa .....	23
2.6 Pengaturan Kecepatan Pada Motor Induksi.....	23
2.7 Temperatur Motor Induksi.....	24
2.8 Penyebab Kerusakan Pada Motor Induksi .....	25
2.9 Winding Motor Induksi 3-Fasa Rotor Sangkar .....	25
2.9.1 Sambungan Ujung-ujung Kumparan Motor 3-Fasa.....	26



2.9.2 Meningkatkan Nilai Tahanan Kumparan Stator .....	28
2.9.3 Komponen Pendukung .....	29
2.9.3.1 Kawat Email .....	29
2.9.3.2 Sirlak. (Insulating Varnish) .....	31
2.9.3.3 Prespan dan Nomex .....	32
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.1.1. Tempat .....	33
3.1.2. Waktu .....	33
3.2 Alat dan Bahan .....	34
3.2.1 Alat.....	34
3.2.2 Bahan .....	34
3.3 Data Spesifikasi Motor Rewinding.....	35
3.4 Analisis Kebutuhan.....	35
3.5 Menentukan Konsep Lilitan Stator Motor Induksi 3-Fasa .....	36
3.6 Rencana pengujian.....	40
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>BAB 4 HASIL PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
4.1 Identifikasi .....	42
4.2 Pembongkaran Motor Induksi 3-fasa ( <i>Dismantling</i> ).....	43
4.3 Perencanaan Lilitan Stator.....	43
4.3 Proses Rewinding.....	47
4.5 Pengujian.....	53
4.6 Grafik Frekuensi Terhadap Efisiensi dan Tegangan.....	59
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kenaikan Temperatur Motor Induksi.....	25
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	33
Tabel 3.2 nilai angka pembagi berdasarkan besar Arus (I).....	39
Tabel 4.1 Langkah Pemasangan Kumparan.....	49
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Motor Listrik 1 Tanpa Beban.....	54
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Motor Listrik 2 Tanpa Beban.....	56
Tabel 4.4 Perbandingan data pengujian motor induksi1 dan motor induksi2.....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi motor induksi 3-fasa.....	12
Gambar 2.2 Cangkang ( <i>stator frames</i> ).....	13
Gambar 2.3 Rotor sangkar ( <i>squirrel cage rotor</i> ).....	14
Gambar 2.4 Skematik motor induksi rotor belitan.....	15
Gambar 2.5 Rotor belitan.....	16
Gambar 2.6 Skema celah udara.....	16
Gambar 2.7 Diagram fasor dan fluksi arus 3-fasa setimbang.....	17
Gambar 2.8 Medan putar motor induksi 3-fasa.....	17
Gambar 2.9 Cara membalik arah putaran motor induksi 3-fasa.....	23
Gambar 2.10 Skema bentangan lilitan (Kumparan).....	26
Gambar 2.11 Terminal sambungan bintang ( <i>star</i> ).....	27
Gambar 2.12 Terminal sambungan segitiga ( <i>delta</i> ).....	28
Gambar 2.13 Kumpulan Kawat Email.....	31
Gambar 2.14 Dr.Beck Insulating Varnis.....	32
Gambar 2.15 Prespan lapis.....	32
Gambar 3.1 Skema belitan lingkaran penuh motor induksi 3-fasa 36 alur.....	38
Gambar 3.2 Skema serian motor induksi 3-fasa 36 alur.....	38
Gambar 3.3 skema rangkaian pengujian motor induksi .....	40
Gambar 4.1 <i>name plate</i> motor induksi.....	42
Gambar 4.2 Motor induksi setelah dibongkar .....	43
Gambar 4.3 Skema bentangan kumparan motor induksi 3-fasa 36 alur.....	45
Gambar 4.4 Proses pemasangan prespan.....	48
Gambar 4.5 Proses pengemalan kumparan.....	48
Gambar 4.6 Pemasangan kumparan sesuai dengan belitan peralur.....	49
Gambar 4.7 Proses pemasangan prespan penutup.....	50
Gambar 4.8 Proses pemasangan prespan lapis.....	50
Gambar 4.9 Sambungan belitan stator.....	51
Gambar 4.10 Proses pengikatan winding stator.....	51
Gambar 4.11 Proses varnishing dan pengovenan <i>winding</i> .....	52
Gambar 4.12 Grafik pengujian motor induksi 1.....	59
Gambar 4.13 Grafik pengujian motor induksi 2 .....	60

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam suatu industri tentunya terdapat suatu komponen yang menunjang kinerja suatu perusahaan salah satunya ialah motor listrik. Motor listrik merupakan komponen terpenting yang dianggap vital dan menjadi otak dari sebagian aktivitas perusahaan, karena dengan motor listrik ini dapat mempermudah pelaksanaan produksi dan waktu yang digunakan dalam proses industri menjadi lebih singkat. Namun sering kali terjadi permasalahan dalam sebuah industri yang berhubungan dengan motor listrik umumnya pada motor induksi 3-fasa.

Beberapa permasalahan yang sering terjadi ialah terdapatnya beberapa oknum pekerja secara sembunyi-sembunyi mengambil komponen-komponen motor induksi terutama belitan pada stator pada saat motor induksi tidak dioperasikan. Hal ini mengakibatkan suatu industri harus mengganti motor induksi tersebut dengan yang baru ketika sewaktu-waktu diperlukan, apabila motor tersebut ingin di *rewinding* seorang teknisi akan kesulitan mengerjakannya atau bahkan tidak dapat sama sekali dikarenakan pada umumnya proses *rewinding* dilakukan dengan mencontoh kumparan yang sebelumnya terdapat pada stator motor induksi 3-fasa tersebut.

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

Guna mengatasi permasalahan tersebut perlu adanya proses rewinding motor induksi dengan melakukan perhitungan mulai dari jumlah alur perfasa, langkah-langkah alur, diameter kumparan, serta jumlah kumparan yang akan digunakan. Hal ini tentunya dilakukan berdasarkan papan nama pada motor induksi tersebut. Serta mengukur seberapa besar pengaruh perubahan resistansi kumparan stator dengan melakukan beberapa pengujian guna mengetahui kinerjanya. Maka dari itu penulis merealisasikan hal-hal tersebut dalam kesempatan penyusunan skripsi dengan judul “ Analisa Perencanaan Lilitan (Rewinding) Motor Induksi, Serta Pengaruh Peningkatan Resistansi Kumparan Stator Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa 220/380V ”.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana metode perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa yang akan di *rewinding* ketika diperoleh kumparan dalam keadaan nol?
2. Bagaimana merencanakan *winding* stator motor induksi agar dapat bekerja secara optimal?
3. Bagaimana dampak peningkatan resistansi stator terhadap kinerja motor induksi 3-fasa tersebut?

## 1.3 Ruang Lingkup

Proses penulisan tugas akhir ini agar lebih terarah, tidak meluas dan mudah dalam pembahasannya, peneliti tidak mengupas mengenai sistem pengontrolan serta proteksi 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 dengan daya dibawah 5 HP.
2. Motor yang direncanakan lilitan statornya ialah motor induksi 3-fasa jenis rotor sangkar, 0,55 KW, 1500 rpm, dengan 36 alur.

3. Peningkatan atau perubahan nilai resistansi stator dilakukan pada motor induksi yang sama guna memperoleh perbandingan kinerja diantara keduanya.
4. Parameter pengujian yang digunakan hanya hubungan delta ( $\Delta$ ).

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui metode perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa yang akan di *rewinding* ketika diperoleh kumparan dalam keadaan nol.
2. Melakukan perencanaan *winding* stator motor induksi agar dapat bekerja secara optimal.
3. Mengetahui dampak peningkatan resistansi stator terhadap kinerja motor induksi 3-fasa tersebut.

#### **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 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Dalam suatu penelitian diperlukan dukungan melalui hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya. Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi pada bab 1, penulis mengambil referensi dari beberapa penelitian terkait permasalahan yang akan dibahas.

(Amalia et al. 2017) dalam penelitiannya yang berjudul perbaikan motor induksi 2380 KW DI PT.PINDAD (PERSERO). Melakukan uji kinerja motor induksi sebelum dan sesudah proses rewinding dan mencatat hasil pengujian. Proses rewinding bertujuan agar kondisi dan kinerja motor induksi kembali seperti semula.. Setelah dianalisa hasil pengujian pada U-body 2340 M $\Omega$ , V-body 6220 M $\Omega$  dan W-body 2950 M $\Omega$  sedangkan standar nilai tahanan isolasi adalah 100 M $\Omega$ , pengujian tanpa beban didapat 68A per-fasa, nilai getaran dibawah 1 mm/s sedangkan standar nilai getaran minimum 2,8 mm/s, dan pada pengujian ketahanan panas tidak terdapat permasalahan suhu. Pengujian dinyatakan telah berhasil karena sudah memenuhi standar.

(Anthony. 2015) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh peningkatan nilai tahanan kumparan stator terhadap kinerja motor induksi 3-fasa, memberikan gambaran karakteristik motor induksi 3 fasa ketika tahanan belitan stator dinaikkan suhu. Penelitian ini menggunakan parameter motor yang diambil berdasarkan eksperimen di laboratorium kemudian dianalisis menggunakan rangkaian ekivalen motor.. Motor yang digunakan adalah motor induksi 3 fasa 1,5 kW, 380V; Y; 50 Hz; 2,75 A; 1400 rpm. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tahanan belitan stator pada motor akan menurunkan kinerja motor yang ditandai dengan menurunnya arus masukan, daya mekanik, daya keluaran, dan efisiensi motor. Kecuali faktor daya motor, dimana peningkatan tahanan belitan stator akan menaikkan faktor daya motor, namun tidak meningkatkan performa motor.



(Agussationo et al. 2020) Melakukan pengujian motor induksi 3-fasa dengan variasi diameter kawat bertujuan untuk mengetahui ukuran kawat yang ideal pada motor induksi, mengetahui perbandingan daya yang dipakai pada motor induksi dengan ukuran lilitan kawat yang berbeda, serta untuk mengetahui torsi yang dihasilkan motor induksi dengan ukuran lilitan kawat yang berbeda. Adapun hasil pengujian pada dua motor induksi berdiameter kawat lilitan 0,6 mm dan 0,5 mm diperoleh hasil bahwa motor induksi berdiameter kawat lilitan 0,6 mm menggunakan daya maksimum 549,10 Watt atau yang lebih banyak dibandingkan dengan motor induksi dengan diameter kawat lilitan 0,5 mm yang hanya menggunakan daya maksimum 345,95 Watt, motor induksi berdiameter kawat lilitan 0,6 mm menghasilkan torsi maksimum 746,92 Nm atau lebih besar dibandingkan motor induksi berdiameter kawat lilitan 0,5 mm yang hanya menghasilkan torsi maksimum 383,97 Nm, semakin banyak jumlah putaran permenit (RPM) maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil, semakin besar torsi yang dihasilkan maka daya yang digunakan akan semakin besar.

(Aditya. 2020) dalam penelitian studi perancangan kumparan stator 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.

(Zulfikar, Evalina, Aziz H, Nugraha. 2019) dalam penelitiannya yang berjudul analisa perubahan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan inverter 3G3MX2. Diproleh bahwasanya inverter 3G3MX2 dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa sesuai dengan keadaan yang diinginkan. dapat dilihat bahwa pada pengujian pertama saat frekuensi 5.10 Hz kecepatan putaran motor 124.1 Rpm dengan tegangan referensi input yang dibutuhkan sebesar 0.90 volt dan tegangan referensi output sebesar 0,84 Volt, dan pada pengujian kelima belas, saat frekuensi 60Hz kecepatan putar motor induksi sebesar 1441 dengan tegangan referensi input 10.94 Volt

dan tegangan referensi output 10.07 Volt .Berdasarkan hasil penelitian bila tegangan referensi input dinaikkan maka frekuensi akan semakin tinggi sehingga putaran motor induksi akan semakin cepat.

(Partaonan. 2016) dalam penelitiannya berjudul pengaruh jatuh tegangan terhadap kerja motor induksi tiga fasa Menggunakan Simulink Matlab. Diperoleh dari simulasi jatuh tegangan sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% pada beban 4 N-m yang mengalami kenaikan adalah arus input dari 6,23-6,77 ampere, juga slip dari 3,27—3,33 %, dan yang mengalami penurunan adalah kecepatan putar rotor dari 1450,92-1450,01 rpm, daya output dari 4912,55-4263,93 watt dan efisiensi dari 88,99-87,53 %. Pada beban 5 N-m yang mengalami kenaikan adalah arus input dari 6,35-6,94 ampere, slip dari 3,36-3,43 %, dan yang mengalami penurunan adalah kecepatan putar rotor dari 1449,67-1448,52 rpm, daya output dari 4933,07-4329,55 watt dan efisiensi dari 89,04-87,71 %. Pada beban 6 N-m yang mengalami kenaikan adalah arus input dari 6,48-7,03 amper, slip dari 3,44-3,53 %, dan yang mengalami penurunan adalah kecepatan putar rotor dari 1448,46-1447,03 rpm, daya output dari 4964,58-4365,17 watt dan efisiensi dari 89,11-87,81 %..

(Sukma et al ) dalam penelitiannya menggunakan motor induksi 3 fasa 0,75 kW;  $\Delta$ -Y 220-240 / 380-420 V; 3,2/1,86 A; 50 Hz; 1695 rpm dengan beban motor- generator DC yang dikopel secara mekanis. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban dengan variasi waktu daya input rata-rata stator sebesar 198,4 W dengan rata-rata arus beban 0,998 A . Sedangkan pada variasi waktu pembebanan daya input rata-rata stator sebesar 202,34 W dengan rata- rata arus beban 0,994 A. Pada kondisi berbeban efisiensi rata-rata yang dihasilkan motor adalah 37,82 %, sedangkan tanpa beban efisiensi rata-ratanya 37,99%.

(Radiansyah and Gifson 2019) pada penelitiannya melakukan perbaikan motor induksi dengan cara overhaul, dimana overhaul merupakan kegiatan perbaikan atau perawatan secara menyeluruh dengan cara memperbaiki atau mengganti bagian dari motor listrik yang mengalami kerusakan. Berdasarkan data visual dan pengukuran elektrik penurunan nilai polarization index (PI) motor induksi disebabkan oleh kondisi winding yang kotor dan lembab. Setelah

dilakukan Overhaul 8 tahapan, yaitu; planning, dismantling, pengukuran elektrik, pengukuran mekanik, tindakan elektrik, tindakan mekanik, assembling dan running test no load. Diproleh hasil bahwa nilai polarization index (PI) meningkat sebesar 1.4 dari sebelumnya 1.8 menjadi 3.2 , berada diatas nilai standar yang ditetapkan oleh IEEE 43.

(Rimbawati, Abdul Azis H, Faisal Irsan Pasaribu, et all., 2017) Dalam penelitiannya yang berjudul Design of motor induction 3-Phase from waste industry to generator for microhydro at isolated village bahwa mesin listrik dapat dioperasikan sebagai generator. Mesin yang dimaksud adalah “motor sangkar tupai” atau yang lebih dikenal dengan motor induksi yang dapat dijumpai pada pompa air, mesin cuci, kipas angin, blower dan mesin industri lainnya. Motor induksi dapat difungsikan sebagai generator ketika kecepatan putar rotor dibuat lebih besar dari kecepatan medan putar. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian tersebut bertujuan untuk memodifikasi sisa-sisa motor induksi 3 fasa menjadi generator permanen. Data penelitian didasarkan pada aliran sungai Desa Rumah Sumbul, STM Hulu Kabupaten Deli Serdang. Metode penelitian dilakukan dengan mengubah belitan rotor dan stator pada motor induksi 3 fasa, sehingga dapat menghasilkan generator dengan kecepatan putaran 500 rpm. Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran generator telah terjadi penurunan tegangan sebesar 10% antara sebelum dan sesudah pembebanan untuk rangkaian Star dan 2% untuk rangkaian delta.

(Muhammad Adam, Partaonan Harahap, M.Ridho Nasution., 2019) dalam penelitiannya diperoleh bahwa kebutuhan energi listrik nasional terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, akan tetapi laju kebutuhan energi yang sangat cepat tersebut tidak diimbangi dengan produksi riil sektor energi. Saat ini energi nasional masih terfokus kepada energi fosil yaitu batubara, minyak bumi, dan gas bumi. Dengan meningkatnya penggunaan energi tersebut, terutama minyak bumi, maka di masa yang akan datang jumlahnya pun semakin terbatas, cadangan energi fosil akan berkurang dan tidak akan dapat di andalkan untuk mencukupi kebutuhan energi, karena sifatnya tidak terbarukan menuntut untuk segera mengeksplorasi sumber energi terbarukan. Dari hasil penelitian yang dilakukan selama beberapa mulai pukul 09.00- 19.00 Wib di dapat hasil pada

tegangan rata-rata sebesar 2,56 Volt. Dan daya angin sebesar = 27,6 Watt sedangkan pada daya generator sebesar = 136,3 Watt.

## 2.2 Motor Induksi

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.

Mesin ini juga disebut mesin asinkron (mesin tak serempak), hal ini dikarenakan putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan perkataan lain, bahwa antara rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip. Mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron sendiri ialah kecepatan rotasi medan magnetik pada mesin. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet.

Berdasarkan suplai input yang digunakan terdapat 2 jenis motor induksi, yaitu motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa, namun untuk prinsip kerjanya sendiri kedua jenis motor induksi tersebut memiliki prinsip kerja yang sama. Yang membedakan dari kedua motor induksi ini ialah motor induksi 1 fasa tidak dapat berputar tanpa bantuan putaran dari luar pada awal motor digunakan, sedangkan motor induksi 3 fasa dapat berputar sendiri tanpa bantuan gaya dari luar.

### 2.2.1 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama :

#### 1. Motor induksi 1-fasa.

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

#### 2. Motor induksi 3-fasa.

Pada umumnya motor AC 3-fasa merupakan motor induksi yang paling banyak digunakan di dunia perindustrian. Motor induksi 3-fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak seperti pompa, kompresor, belt conveyor, exhaust fan, dan lain sebagainya karena banyak memiliki keuntungan, tetapi juga memiliki beberapa kelemahan (Naim 2016).

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.

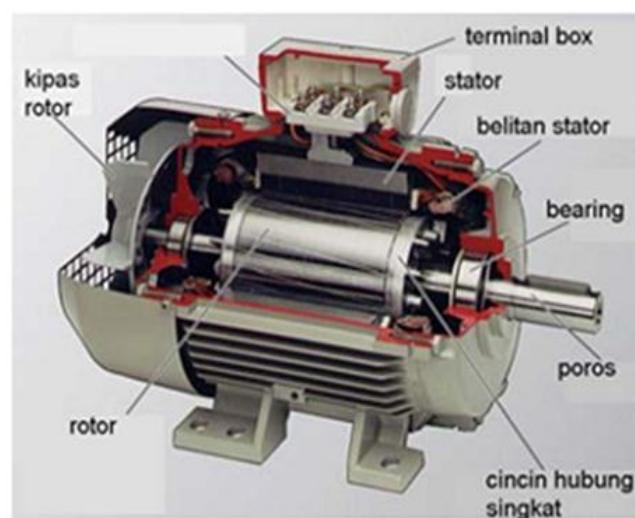
### 4. Motor Kelas D.

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 Konstruksi Motor Induksi 3- Fasa

Menurut (Drs.yon rijono) zuhal *hal 310* Pada dasarnya semua jenis motor induksi mempunyai rotor dan stator, dimana rotor merupakan bagian yang berputar, sedangkan stator merupakan bagian yang diam (statis). Pada gambar 2.1 dijelaskan secara utuh komponen-komponen penyusun suatu motor induksi 3-fasa tipe rotor sangkar.



Gambar 2.1 Konstruksi motor induksi 3-fasa.

(Jurnal : (Prayogo n.d.)

#### 2.3.1 Stator

Stator ialah suatu bagian komponen tidak bergerak (statis) yang merupakan susunan dari beberapa laminasi inti serta memiliki alur sebagai tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi dimana tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti . Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120°. Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Belitan stator yang dihubungkan

dengan suatu sumber tegangan akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- $N_s$  = Putaran sinkron (rpm).  
 $f$  = Frekuensi jala-jala (Hz).  
 $p$  = Jumlah pasang kutub

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



Gambar 2.2 Cangkang (*stator frames*)

Cangkang (*stator frames*) merupakan bagian terluar dari stator yang berfungsi dalam beberapa tujuan yaitu:

1. Menutupi inti dari kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan dari gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).
3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan
4. Berguna sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif (Cendana 2018).



### 2.3.2 Rotor

Rotor adalah merupakan elemen yang berputar atau bergerak dari suatu elektromagnetik sistem di motor listrik dan generator listrik. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan-lilitan kawatnya. Rotor terdiri dalam 2 jenis, yaitu:

#### 1. Rotor sangkar (*Squirrel cage rotor*)

Rotor ini memiliki konstruksi dari inti lapis berlapis dengan dengan poros mengelilingi permukaan inti, yang mana lilitan kumparannya berbentuk batang tembaga yang dihubungkan singkat pada setiap ujungnya yang kemudian disatukan. Rotor jenis ini terdiri dari satu set tembaga atau potongan alumunium yang dipasang ke dalam slot yang terhubung ke sebuah akhir cincin pada setiap akhir rotor. Konstruksi gulungan ini berputar menyerupai kandang tupai, sehingga dinamakan demikian.

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar yang berkapasitas kecil biasanya terdiri dari potongan coran tembaga atau alumunium, potongan ini biasanya di cor mati kedalam slot rotor sehingga konstruksinya sangat kasar. Sedangkan pada motor sangkar yang berkapasitas lebih besar, batang rotor tidak di cor, melainkan ditenamkan ke dalam alur rotor yang kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Sehingga batang-batang konduktor dapat dimasukkan ke dalam laminasi-laminasi yang terbuat dari bahan besi silikon serta menjadi satu dengan poros rotor.



Gambar 2.3 Rotor sangkar (*squirrel cage rotor*).

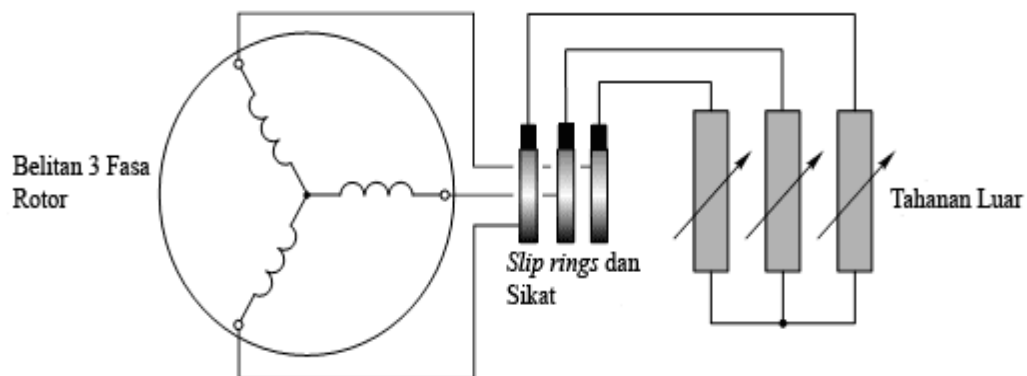
Batang rotor sangkar jenis ini posisinya tidak dipasang secara paralel (segaris) terhadap poros motor, tetapi dipasang atau diletakkan dengan posisi agak dimiringkan, hal ini dikarenakan untuk menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga untuk mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor berputar.

## 2. Rotor belitan (*wound rotor*)

Rotor belitan umumnya digunakan pada saat pengasutan atau pengaturan kecepatan, dimana dikehendaki torsi asut yang tinggi. Rotor ini terbuat dari susunan laminasi besi dengan alur sebagai wadah menempatkan belitan (Kumparan) dengan ujung – ujung belitan yang terhubung singkat.

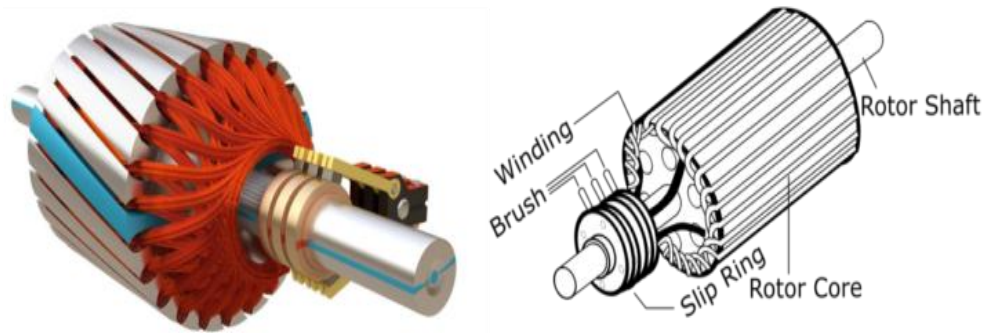
Belitan (Kumparan) yang terpasang pada rotor telah diisolasi layaknya kumparan yang terdapat pada stator. Belitan yang ada pada rotor diletakkan juga pada alur rotor dan setiap ujungnya dihubungkan secara langsung (secara hubungan bintang (Y) ) pada cincin (slip ring). Pengaturan belitan (kumparan) untuk masing – masing fasa adalah sama dan masing – masing fasa ujung terbuka dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor.

Secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2.4. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar ke dalam rangkaian rotor. Pada motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal berfungsi membatasi arus pengasutan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Konstruksi slip ring terhubung secara langsung dengan masing – masing sikat, sehingga dapat dihubungkan secara langsung ke tahanan luar untuk keperluan pengasutan torsi.



Gambar 2.4 Skematik motor induksi rotor belitan.

Rotor jenis ini umumnya jarang digunakan mengingat harganya yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan rotor sangkar, ditambah lagi pemeliharaannya yang lebih sulit. Rotor belitan juga dapat difungsikan sebagai rotor pada generator.



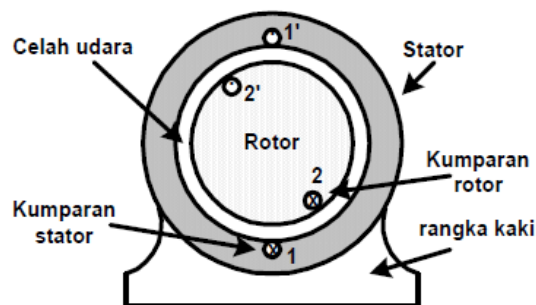
Gambar 2.5 Rotor belitan (*wound rotor*).

(Sumber : PT. Lienetic Jaya )

### 2.3.3 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 menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum.

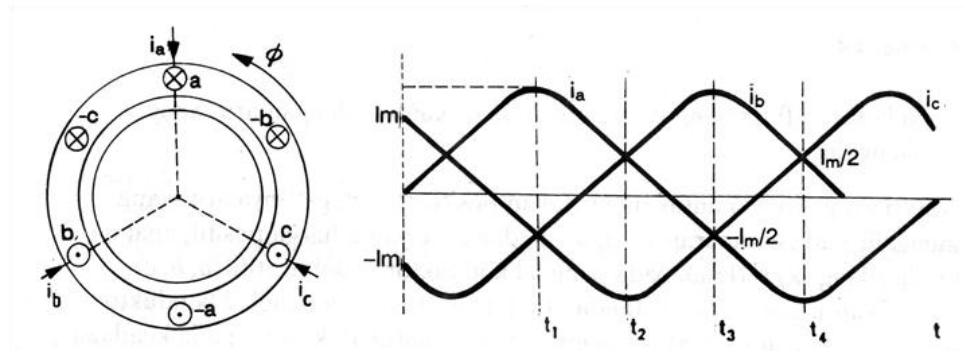
Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar, akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah. Sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit, dikhawatirkan akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Bentuk gambaran sederhana celah udara pada motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.6 Skema celah udara.

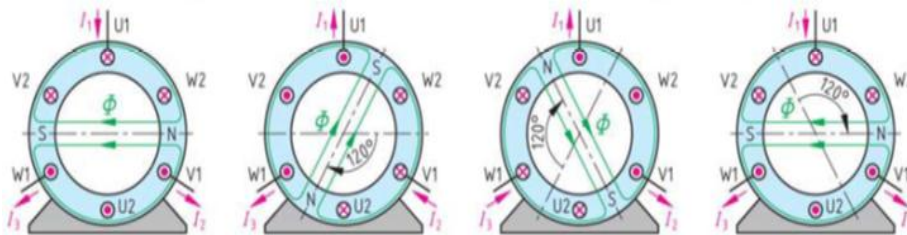
## 2.4 Prinsip Terjadinya Medan Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik (AC) 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 3-fasa. Umumnya Hubungan berupa bintang (Y) atau delta ( $\Delta$ ). Misalkan kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan 3-fasa, dengan beda masing-masing  $120^\circ$  dan dialiri arus sinus, distribusi arus  $i_a$   $i_b$   $i_c$  sebagai fungsi waktu.



Gambar 2.7 Diagram fasor dan fluksi arus 3-fasa setimbang.

Pada keadaan  $t_1$   $t_2$   $t_3$  dan  $t_4$  fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Medan putar motor induksi 3-fasa.

(Buku: Teknik Listrik Industri Jilid 2)

Untuk  $t_1$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a; sedangkan pada  $t_2$ , fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan c-c, dan untuk  $t_3$  fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan b-b, untuk  $t_4$ , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan saat  $t_1$ .

## 2.5 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. Pada saat sumber tegangan 3-fasa dihubungkan pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkron.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor di sisi rotor, sehingga pada kumparan rotor akan menimbulkan tegangan induksi (GGL).
3. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka tegangan induksi (GGL) akan menghasilkan arus (I).
4. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor yang cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
6. Layaknya penjelasan pada point 3, tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Sehingga untuk membangkitkan tegangan induksi (GGL) agar tetap ada, maka diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $N_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $N_r$ ).
7. Perbedaan kecepatan antara  $n_r$  dan  $n_s$  disebut dengan slip (S).
8. Jika  $n_r = n_s$ , maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila  $n_r$  lebih kecil dari  $n_s$ .

### 2.5.1 Slip

Jika kecepatan putar medan magnet pada stator dinyatakan dengan  $n_s$  dan kecepatan putar medan magnet pada rotor dinyatakan dengan  $n_r$ , apabila terjadi perbedaan kecepatan relatif antara kecepatan putar medan magnet pada stator terhadap kecepatan rotor, maka hal ini disebut dengan kecepatan slip. Kecepatan slip dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan slip} = N_s - N_r$$

Slip dapat dinyatakan dalam putaran setiap menit, akan tetapi lebih umum dinyatakan dalam bentuk persen (%). Berikut persamaan umum tentang slip:

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

S = Slip

$N_s$  = Kecepatan putar stator

$N_r$  = Kecepatan putar rotor

Frekuensi yang dibangkitkan pada belitan rotor adalah  $f_2$ , dimana :

$$f_2 = \frac{(N_s - N_r)}{120} P$$

Sedangkan frekuensi medan putar stator adalah  $f_1$ , dimana :

$$f_1 = \frac{N_s P}{120}$$

Dari kedua persamaan diatas diperoleh

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$f_2 = s f_1$$

Apabila slip = 0 ( $N_s = N_r$ ), maka  $f_2 = 0$ . Apabila rotor ditahan slip = 1 ( $N_r = 0$ ) maka  $f_2 = f_1$ . Berdasarkan persamaan  $f_2 = s f_1$  diketahui bahwa frekuensi motor dipengaruhi oleh slip. Oleh karena itu ggl induksi dan reaktansi pada rotor merupakan fungsi frekuensi, sehingga besarnya juga turut dipengaruhi oleh slip.

## 2.5.2 Rugi-Rugi Pada Motor Induksi 3-Fasa

### 2.5.2.1 Kerugian Pada Motor Listrik

Pada dasarnya setiap motor Listrik yang beroperasi cenderung mengeluarkan panas. Timbulnya panas merupakan akibat dari 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 ( $I^2.R$ ) pada lilitan stator karena arus listrik ( $I$ ) mengalir melalui penghantar 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.

### 2.5.2.2 Kelas Isolasi dan Batas Kenaikan Suhu Pada Kumparan

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

$$J = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (joule) .....(3)}$$

Dimana :

$J$  = Nilai Kalorifik (Joule)

$I$  = Arus (Ampere)

$R$  = Hambatan (ohm)

$t$  = waktu (second)

Maka dari itu, bila motor listrik dinyalakan, suhu motor akan meningkat sebanding dengan waktu kerjanya sehingga jika motor beroperasi, peningkatan suhunya dapat dilihat dengan mengukur nilai tahanan kumparan pada saat sebelum dan sesudah dioperasikan dalam waktu tertentu . Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{R_c}{R_h} = \frac{1 + \alpha(t_1)}{1 + \alpha(t_2)} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

$R_c$  = Tahanan kumparan sebelum dioperasikan ( $\Omega$ )

$R_h$  = Tahanan kumparan setelah dioperasikan ( $\Omega$ )

$\alpha$  = Koefisien temperatur tahanan dari tembaga ( $0,00428 \Omega / ^\circ\text{C}$ )

$t_1$  = Temperatur ruang awal ( $^\circ\text{C}$ )

$t_2$  = Temperatur setelah beroperasi ( $^\circ\text{C}$ )

### 2.5.3 Efisiensi Pada Motor Induksi

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai ukuran keefektifan suatu motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Efisiensi juga dapat dinyatakan sebagai “perbandingan daya keluaran motor yang digunakan terhadap daya masukan pada terminalnya”, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi motor (%).

$P_{\text{out}}$  = Daya keluaran motor (Watt).

$P_{\text{in}}$  = Daya masukan motor (Watt).

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

- a) Usia. Motor induksi lebih efisien.
- b) Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- c) Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- d) Jenis rotor. Sebagai contoh, bahwa motor dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien dari pada motor dengan rotor belitan / cincin geser.



- e) Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total akan jauh lebih efisien.
- f) Beban.

efisiensi motor dan beban jelas memiliki hubungan. Pada umumnya suatu pabrik merancang suatu motor induksi 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. Pengoperasian motor induksi dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan dalam operasional suatu pabrik.

Pada motor induksi pengukuran efisiensi motor induksi ini sering dilakukan dengan beberapa cara seperti:

- a. Mengukur langsung daya listrik masukan dan daya mekanis keluaran.
- b. Mengukur langsung seluruh rugi-rugi dan daya masukan.
- c. Mengukur setiap komponen rugi-rugi dan daya masukan,

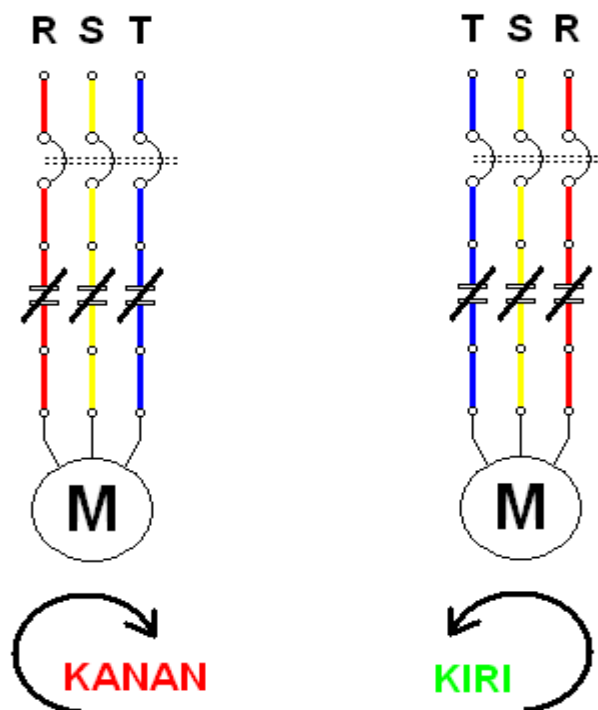
dimana pengukuran daya masukan tetap dibutuhkan pada ketiga cara di atas. Umumnya, daya listrik dapat diukur dengan sangat tepat, keberadaan daya mekanis yang lebih sulit untuk diukur. Saat ini sudah dimungkinkan untuk mengukur torsi dan kecepatan dengan cukup akurat yang bertujuan untuk mengetahui harga efisiensi yang tepat. Pengukuran pada keseluruhan rugi-rugi ada yang berdasarkan teknik kalorimetri. Walaupun pengukuran dengan metode ini relatif sulit dilakukan, keakuratan yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil yang didapat dengan pengukuran langsung pada daya keluarannya.

Kebanyakan pabrikan lebih memilih melakukan pengukuran komponen rugi-rugi secara individual, karena dalam teorinya metode ini tidak memerlukan pembebanan pada motor, dan ini adalah suatu keuntungan bagi pabrikan. Biasanya data efisiensi yang disediakan oleh pembuat diukur atau dihitung berdasarkan standar tertentu.

### 2.5.4 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 A

Gambar B

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

### 2.6 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 Temperatur Motor Induksi**

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

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Kenaikan Temperatur Motor Induksi

No	Motor Rating	Insulating Class and Temperature Rise ° C			
		A	B	F	H
1	All horsepower (or kW) ratings	60	80	105	125
2	1500 hp (1120 kW) and less	70	90	115	140
3	Over 1500 hp (1120 kW) and 7000 volt or less	65	85	110	135
4	Over 1500 hp (1120 kW) and over 7000 volt	60	80	105	125

## 2.8 Penyebab Kerusakan Pada Motor Induksi

(Radiansyah and Gifson 2019) menjelaskan berdasarkan survey EPRI dan IEEE kerusakan motor dibagi dalam beberapa kategori, yaitu :

- a. Bearing (40 – 50%).
- b. Stator (25 – 35%).
- c. Rotor (<10%).
- d. Lain2 (kopling, seal).

Sebab karena Kondisi abnormal operasi :

- a.Under voltage.
- b.Over voltage.

Sebab karena Mechanical – Bearing

- a.Lubrikasi (grade, kontaminasi, kesediaannya).
- b.Mekanikal (excessive radial loading, axial loading).
- c.Rough surfaces (fatigue, cracks, shaft currents).
- d.Vibrasi (unbalance current phase, mechanical unbalance)

## 2.9 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

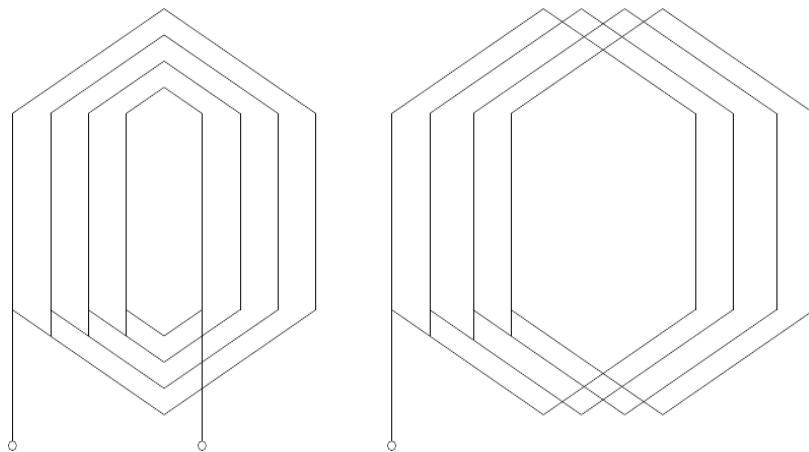
gelung dan belitan rantai Berikut merupakan jenis kumparan–kumparan stator motor induksi 3-fasa pada umumnya, yaitu:

#### 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 relatif besar. Umumnya untuk kelas menengah keatas, walaupun secara khusus ada mesin listrik dengan kapasitas yang lebih besar, kumparan statornya menggunakan sistem kosentris Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan gambaran skema lilitan.



Gambar 2.10 Skema bentangan lilitan (Kumparan).

Kumparan stator motor tiga fasa pada umumnya memakai belitan gelung lapisan dobel atau belitan rantai lapisan tunggal.

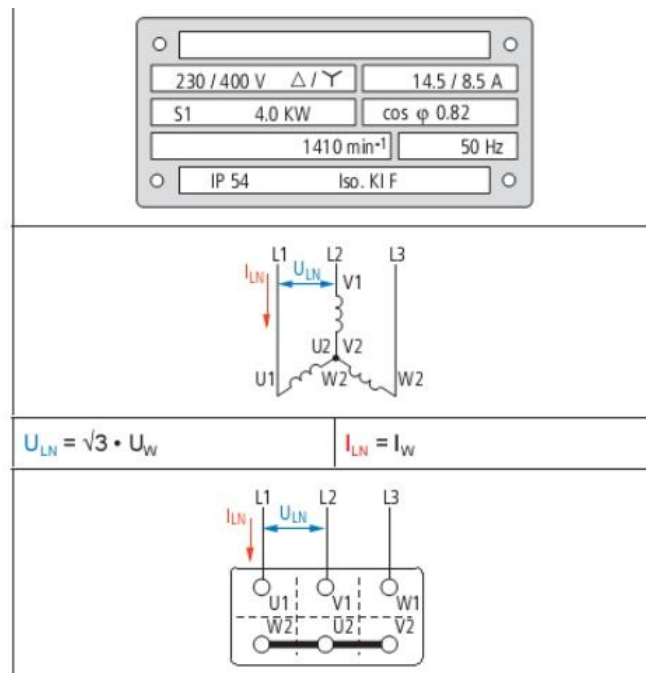
### 2.9.1 Sambungan Ujung-ujung Kumparan Motor 3-Fasa

Kumparan stator motor induksi 3-fasa memiliki dua macam sistem sambungan antara ujung-ujung kelompok kumparan fasa yang satu dengan ujung-ujung kelompok kumparan fasa yang lain yang biasanya ujung-ujung sambungan tersebut diletakan 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 segitiga (Delta).

a. Sambungan Bintang (Star)

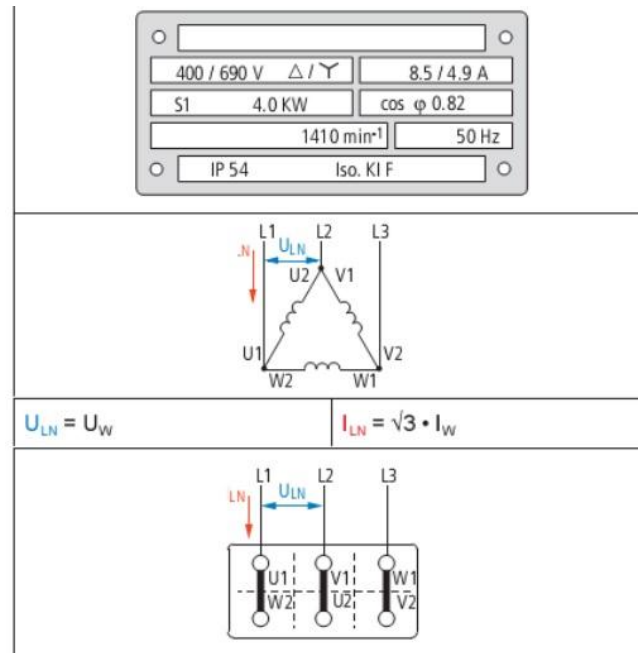
Sambungan bintang (Star) adalah sambungan ujung-ujung akhir dari kumparan stator motor induksi tiga fasa yang dikeluarkan pada kotak terminal sambungan dihubungkan menjadi satu (ujung X, Y dan Z atau  $U_2$ ,  $V_2$ ,  $W_2$  dikopel), seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.11 Terminal sambungan bintang (star).

b. Sambungan Segitiga (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).

(Buku : Instalasi Motor Listrik)

### 2.9.2 Meningkatkan Nilai Tahanan Kumputan 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 elektron-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 pengantar dirumuskan:

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- R = Hambatan kawat penghantar ( $\Omega$ ).  
 l = Panjang sebuah kawat penghantar (m).  
 A = Luas penampang lintang penghantar (m<sup>2</sup>).  
 $\rho$  = Hambatan jenis kawat penghantar ( $\Omega \cdot m$ ).

### 2.9.3 Komponen Pendukung

#### 2.9.3.1 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



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.

Mari kita coba kupas sedikit 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

### 2.9.3.2 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

### 2.9.3.3 Prespan dan Nomex

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 2.15 Prespan lapis.

## 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 Bengkel Sawal Dinamo Jalan.Young Panah Hijau, Kelurahan Labuhan Deli, Medan.

##### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian di mulai sejak awal bulan Februari 2021 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 Litelatur	■								
3	Penulisan Bab 1 s/d Bab 3		■	■						
4	Seminar Proposal				■					
5	Penelitian dan Pengambilan Data Mandiri					■	■			
6	Pengolahan Data						■			
7	Penyelesaian penulisan							■		
8	Sidang								■	

### **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 : SIEMENS (*made in Germany*)
- b. Daya : 0.55 KW
- c. Tegangan : 220/ 380 V
- d. Arus : 2,6 / 1,5 A
- e. Putaran : 1500 rpm
- f. Phase : 3-phase
- g. Frekuensi : 50 Hz
- h. Koneksi : segitiga ( $\Delta$ )/ bintang ( Y )
- i. Jumlah alur : 36 alur

### 3.4 Analisis Kebutuhan

Objek penelitian kali ini meliputi motor induksi 3-fasa jenis rotor sangkar yang mempunyai daya kurang dari 5 HP. Penelitian ini dilakukan secara mandiri di bengkel Sawal Dinamo, Medan. Kegiatan penelitian ini direncanakan memakan waktu kurang lebih 7 bulan terhitung sejak bulan Januari s/d Juli 2021. 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

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.

d. Tahap Pengujian dan Analisis Data.

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-rugi besi akibat arus pusar (*eddy current's*).

2. Menentukan jumlah alur per kutub per fasa.

$$q = \frac{G}{2 p \cdot m} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

G = Jumlah alur pada stator.

p = Jumlah pasang kutub.

m = Fasa.

Perlu digaris bawah untuk motor induksi 3000 rpm P = 1 , 1500 rpm P = 2 ,  
1000 rpm P = 3 , 750 rpm P = 4 .

3. Menentukan langkah alur (Ys).

$$Y_s = \frac{G}{2 p} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

Ys = Langkah alur.

G = Jumlah alur pada stator.

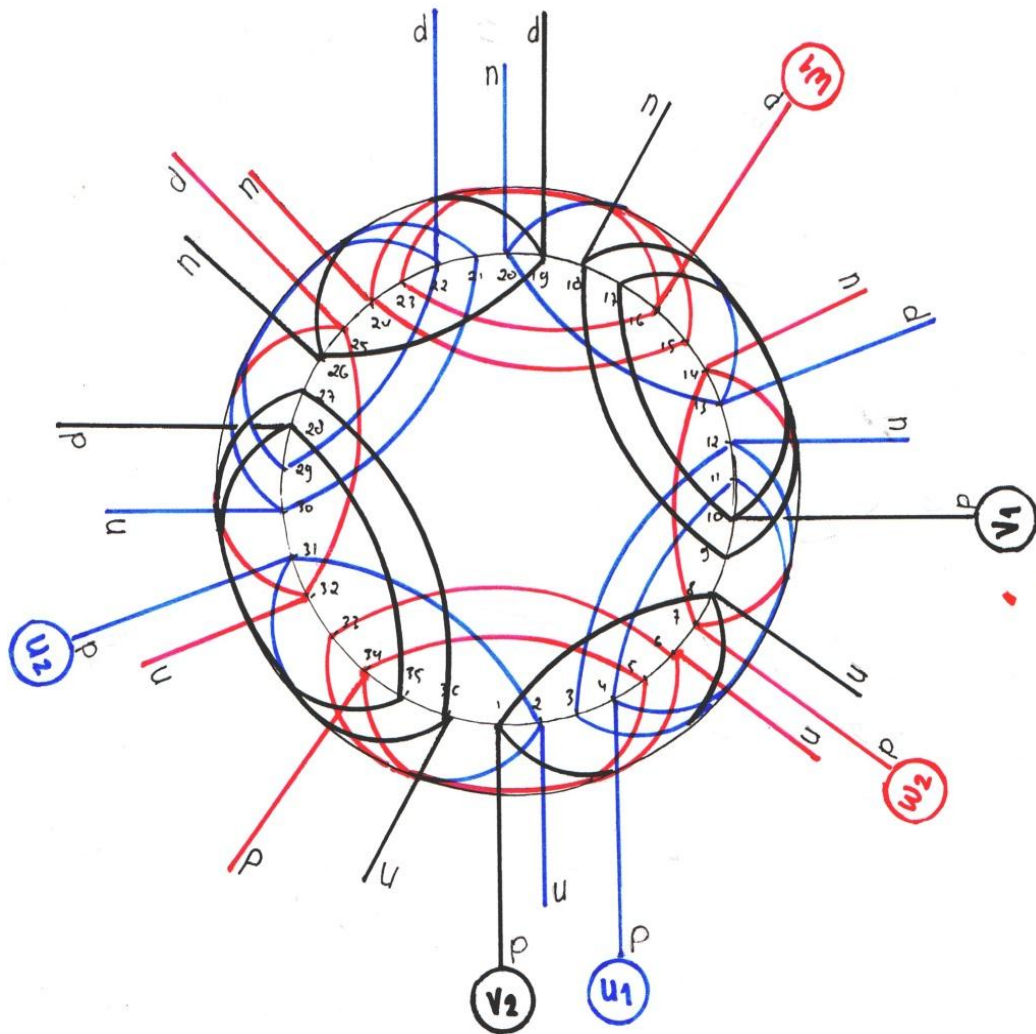
p = Jumlah pasang kutub.

4. Menentukan langkah fasa (Yf).

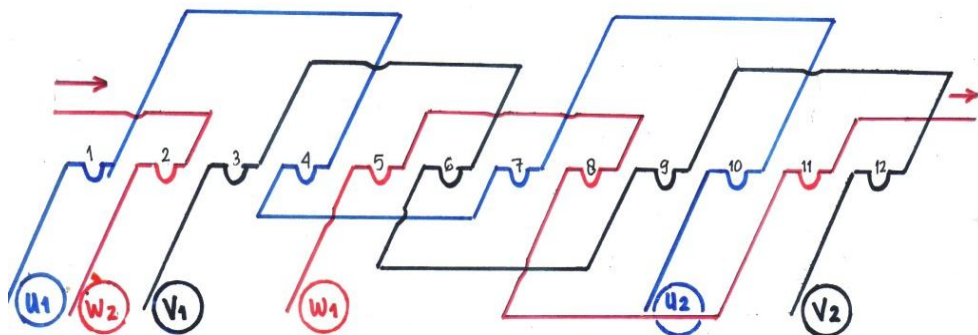
$$Y_f = \frac{2}{3} \times (Y_s) \dots \dots \dots (9)$$

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 penuh motor induksi 3-fasa 36 alur.



Gambar 3.2 Skema serian motor induksi 3-fasa 36 alur.

### 5. Menentukan jumlah lilitan

Untuk menghitung jumlah kawat dalam alur ukurlah celah bagian atas (a) dan bagian bawah (b) dari slot ( alur), kemudian ukur pula tinggi celah (h) dari alur. Sehingga diperoleh rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{a + b}{2} h \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

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

Kemudian mencari luas prespan menggunakan persamaan :

$$L_p = \text{Tebal Prespan} \times \text{Luas Alur} \dots\dots\dots (11)$$

Sehingga diperoleh luas efektif dari alur (luas alur yang dapat dimasuki kawat) :

$$L_e = \text{Luas Alur} - \text{Luas Prespan} \dots\dots\dots (12)$$

Untuk menentukan banyaknya jumlah lilitan pada suatu motor induksi, perlu diketahui luas penampang kawat ( $\Phi$ ) berdasarkan nilai Arus yang tertera pada name plate, yang mana dirumuskan dalam persamaan:

$$(\Phi) = \frac{I}{\text{angka pembagi}} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

- I = Arus (Ampere) .
- $\Phi$  = Luas penampang kawat.

Tabel 3.2 nilai angka pembagi berdasarkan besar Arus (I)

Nilai Kerapatan Arus	Angka Pembagi
1 – 3 A	2,9
3 – 5 A	3,5
5 – 8 A	3,7
8 – 10 A	3,9

Maka diameter kawat email yang akan digunakan didapat menggunakan persamaan :

$$d = \frac{\sqrt{4} \cdot \Phi}{\pi} \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

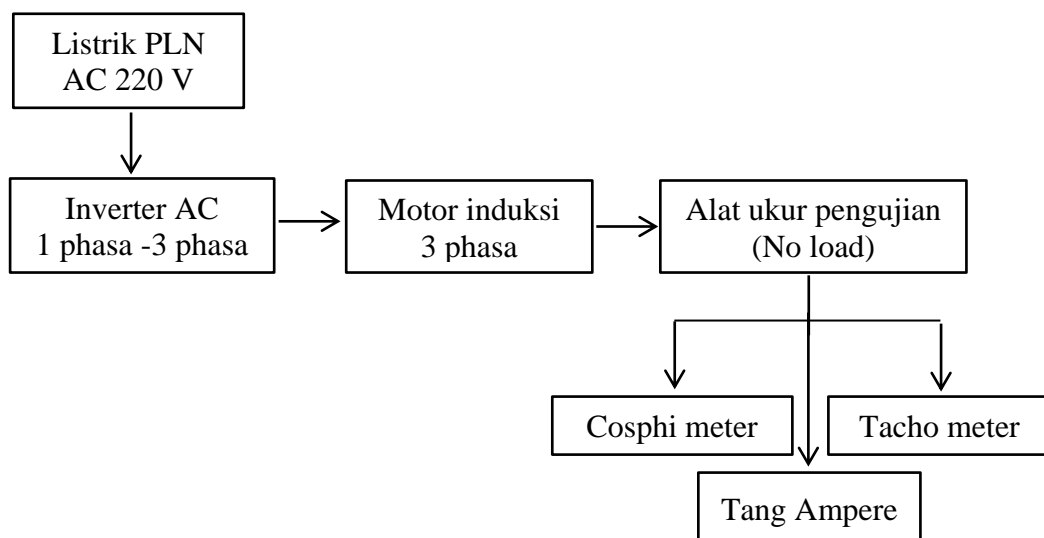
$\pi$  = Bilangan real (3,14).

Berdasarkan jumlah lilitan peralur dan jumlah alur. Maka penentuan jumlah kumparan keseluruhan dapat dihitung dengan:

$$\sum \text{kumparan} = \frac{\text{Lilitan peralur} \cdot \sum \text{alur}}{2} \dots \dots \dots (15)$$

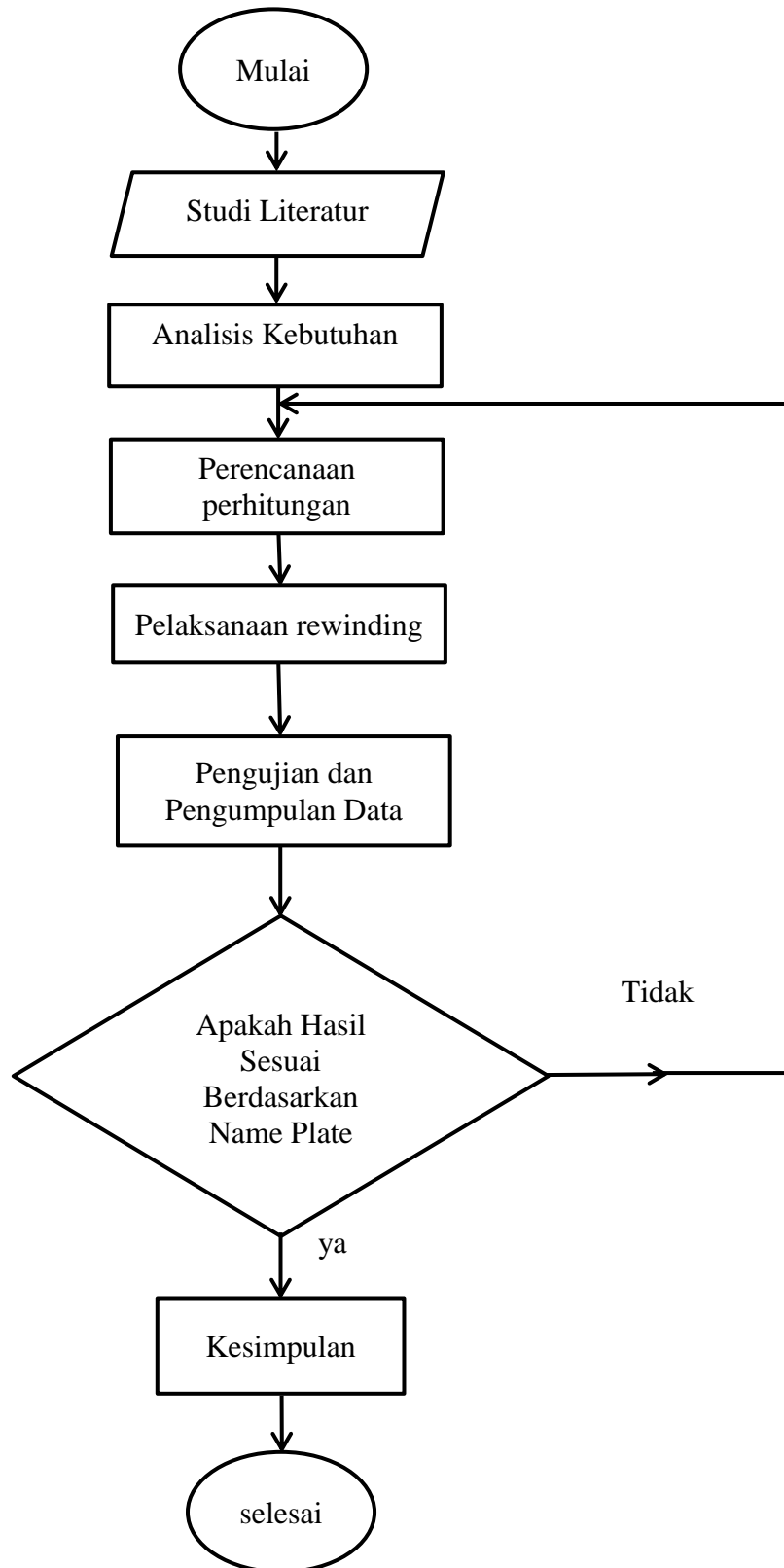
### 3.6 Rencana pengujian.

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, Frekuensi, Faktor Daya ( $\cos \phi$ ).



Gambar 3.3 Skema rangkaian pengujian motor induksi 3-fasa.

### 3.7 Diagram Alir Penelitian



## BAB 4

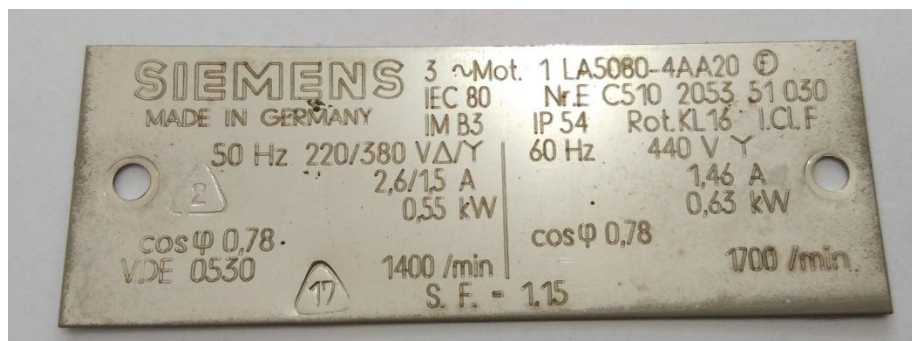
### HASIL PEMBAHASAN

#### 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.

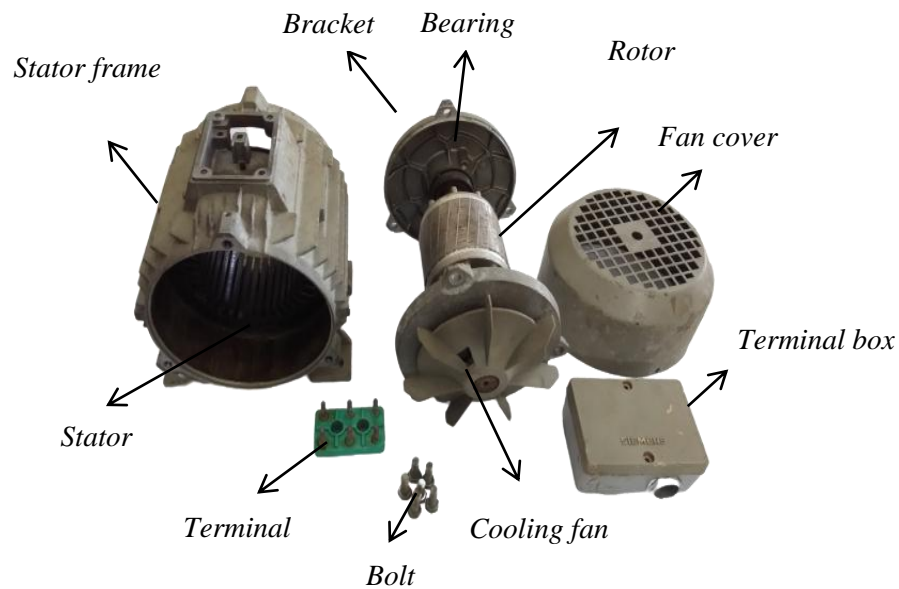


Gambar 4.1 *name plate* motor induksi.

#### 4.2 Pembongkaran Motor Induksi 3-fasa (*Dismantling*).

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*, *pully*, *terminal box*, *terminal*, *bracket*, dan juga rotor. Setelah melalui tahapan pembongkaran maka dapat dilakukan proses perencanaan perhitungan lilitan stator motor induksi 3-fasa tersebut.



Gambar 4.2 Motor induksi setelah dibongkar

#### 4.3 Perencanaan Lilitan Stator

Berdasarkan hasil identifikasi pada motor induksi 3-fasa pabrikan SIEMENS diatas. Diketahui bahwasanya jumlah alur pada stator adalah 36 alur. Perencanaan ini akan dilakukan berdasarkan name plate dimana fasa masukan berjumlah 3-fasa, dengan 4 kutub, rpm 1500. Pada perencanaan selanjutnya setelah diketahui jumlah alur, maka akan dilakukan perhitungan jumlah alur per kutub per fasa

$$q = \frac{G}{2 p. m}$$

$$q = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3}$$

$$q = \frac{36}{12} = 3$$

Keterangan:

G = Jumlah alur pada stator.

p = Jumlah pasang kutub.

m = Fasa.

Untuk 3 buah garis warna biru dengan menempati alur no 2, 3, 4. Inilah yang disebut dengan jumlah alur per kutub per fasa. Kemudian melakukan perhitungan guna menentukan langkah alur :

$$Y_s = \frac{G}{2p}$$

$$Y_s = \frac{36}{2 \times 2}$$

$$Y_s = 9$$

Keterangan:

$Y_s$  = Langkah alur.

G = Jumlah alur pada stator.

p = Jumlah pasang kutub.

Untuk 2 buah garis warna biru dengan menempati alur "berjarak 9 alur" dari no 4, yaitu pada alur no 13 Lihat bahwa  $4 + 9 = 13$  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.

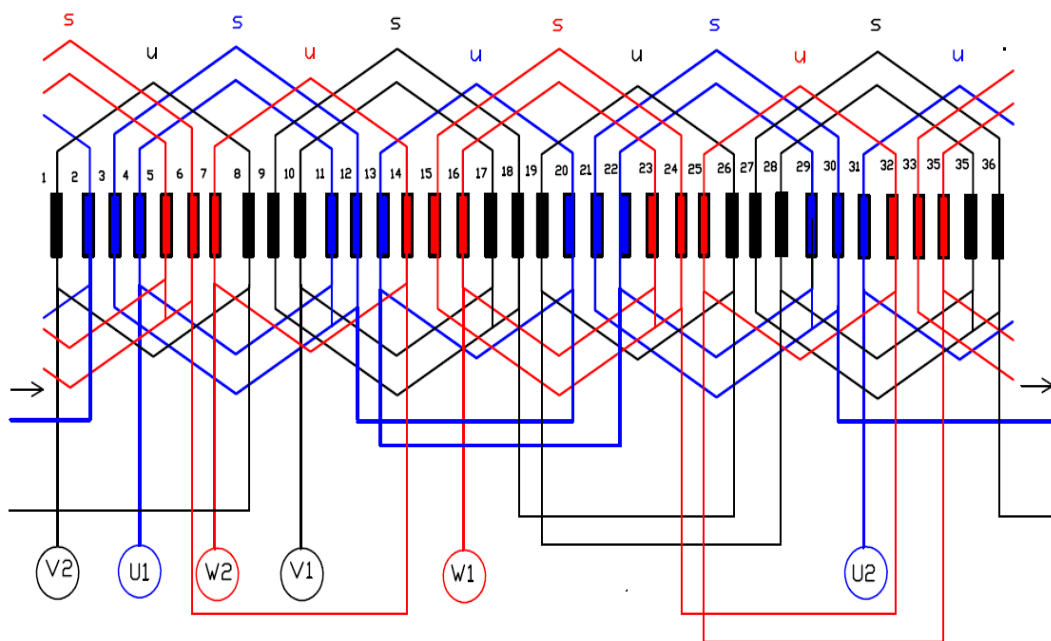
$$Y_f = \frac{2}{3} \times (Y_s)$$

$$Y_f = \frac{2}{3} \times 9$$

$$Y_f = 6$$

Langkah fasa digunakan untuk menentukan dimana fasa berikutnya akan ditempatkan. Gambar 2 buah garis warna hitam dengan menempati alur "berjarak 6 alur" dari no 4, yaitu pada alur no 10. Lihat bahwa  $4 + 6 = 10$  dst. Inilah yang dimaksud dengan "langkah fasa". Dalam hal ini warna hitam adalah fasa **V**.

Berikutnya untuk fasa terakhir yaitu fasa **W**, 2 buah garis warna merah dengan menempati alur "berjarak 6 alur" dari fasa **V**. Ingat jarak fasanya dihitung dari fasa sebelumnya yaitu fasa **V**, bukan fasa yang pertama yaitu fasa **U**. Artinya akan menempati alur no 16. Lihat bahwa  $10 + 6 = 16$ . Simbol **S** dan **U** pada gambar merupakan simbol pasang kutub pada masing-masing fasa dimana tiap-tiap fasa memiliki 2 pasang kutub (4 kutub).



Gambar 4.3 Skema bentangan kumparan motor induksi 3-fasa 36 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.



$$L = \frac{a + b}{2} h$$

$$L = \frac{4 + 5}{2} 12$$

$$L = 54$$

Keterangan:

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

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

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

$$L_p = 0.20 \times 54$$

$$L_p = 10,8$$

Sehingga luas alur yang dapat dimasuki kawat ialah

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

$$L_e = 54 - 10,8$$

$$L_e = 43,2$$

Tahapan akhir yaitu menentukan banyaknya jumlah lilitan pada suatu alur motor induksi dengan menentukan terlebih dahulu luas penampang kawat ( $\Phi$ ) berdasarkan nilai Arus yang tertera pada name plate, yaitu:

$$(\Phi) = \frac{I}{\text{angka pembagi}}$$

$$(\Phi) = \frac{1,5}{2,9} = 0,51$$

Keterangan:

- I = Arus (Ampere) .  
 $\Phi$  = Luas penampang kawat.

Maka diameter kawat email yang akan digunakan didapat menggunakan persamaan :

$$d = \frac{\sqrt{4} \cdot \Phi}{\pi}$$

$$d = \frac{\sqrt{4} \cdot 0,51}{3,14} = 0.45\text{mm}$$

Keterangan :

$\pi$  = Bilangan real (3,14).

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 96 belitan, dalam hal ini dapat dikurangi hingga 10% dikarenakan pada umumnya setiap winding baru hasil rakitan pabrik selalu diberikan fiber pada tiap-tiap alur. Sehingga jumlah menjadi 86 belitan. Maka dari itu jumlah kumparan keseluruhan dapat dihitung dengan:

$$\sum kumparan = \frac{\text{Lilitan peralur} \cdot \sum alur}{2}$$

$$\sum kumparan = \frac{86 \times 36}{2} = 1548$$

#### 4.4 Proses Rewinding

Proses *rewinding* adalah inti dari hasil proses perhitungan pada tahapan sebelumnya agar hal-hal tersebut terealisasi 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 4.4 Proses pemasangan prespan.

## 2. Pengemalan belitan kumparan.

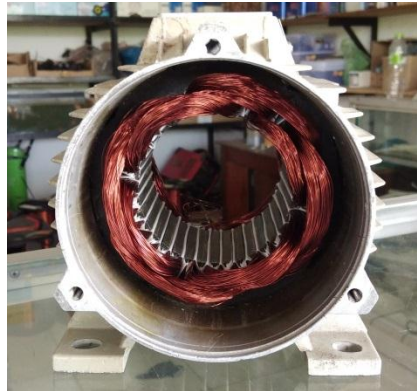
Proses pengemalan belitan yaitu dengan menggulung kawat email sesuai data yang telah diperoleh berdasarkan perhitungan yang diperuntukkan motor induksi pada tahapan sebelumnya. Proses pengemalan dilakukan sesuai panjang slot stator dengan melebihkan beberapa cm dari inti stator. Apabila mal kumparan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



Gambar 4.5 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 4.6 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 Kumparan.

FASA 1 (U1-U2)			FASA 2 (V1-V2)			FASA 3 (W1-W2)		
COIL	SLOT		COIL	SLOT		COIL	SLOT	
	AWAL	AKHIR		AWAL	AKHIR		AWAL	AKHIR
1	4 (U1)	11	1	10(V1)	17	1	16(W1)	23
	3	12		9	18		15	24
2	13	20	2	19	26	2	25	32
3	22	29	3	28	35	3	34	5
	21	30		27	36		33	6
4	31(U2)	2	4	1 (V2)	8	4	7 (W2)	14

#### 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 4.7 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 diperuktukkan 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 4.8 Proses pemasangan prespan lapis.

## 6. Connection winding

*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.

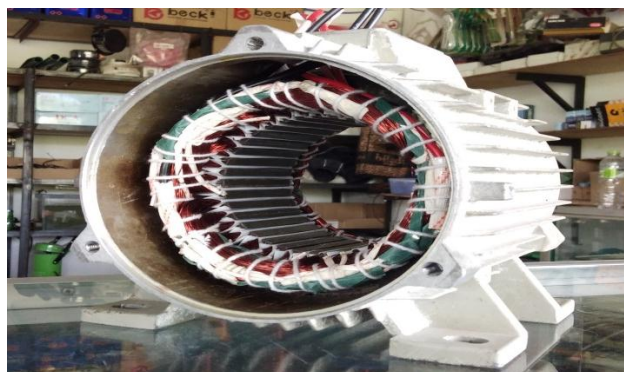


Gambar 4.9 Sambungan belitan stator.

## 7. 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 4.10 Pengikatan *winding* stator.

## 8. Varnishing dan Pengovenan.

### a. Pemberian *Insulating Varnish*

*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.

### b. Pengovenan

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.



a. Varnishing



b. pengovenan

Gambar 4.11 Proses varnishing dan pengovenan *winding*.



## 4.5 Pengujian

Pengujian tahap akhir ini berupa *running test* yaitu guna mengetahui kelayakan penggunaan motor dengan mengukur Resistansi, Kecepatan, Arus, Tegangan, Frekuensi, dan Faktor Daya tanpa menggunakan beban. Pengujian kali ini juga untuk mengetahui hasil perbandingan kinerja antara motor induksi 1 (yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan) dengan motor induksi 2 (yang dimodifikasi dengan meningkatkan nilai tahanan penghantarnya). 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.

### c. Cosphi meter

Cosphi meter ( $\text{Cos } \phi$ ). 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  $\text{Cos } \phi$  atau pengukur nilai cosinus sudut fasa adalah memberikan penunjukan secara langsung dari selisih fasa yang timbul antara arus dan tegangan

Adapun hasil pengujian nilai parameter-parameter yang diperoleh pada tahapan akhir ini yaitu:



Tabel 4.2 Hasil Pengujian Motor Listrik 1 Tanpa Beban.

Motor Listrik 1 tanpa beban									
Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (Rpm)	Pin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cosφ	Resistansi (Ω)	
35	167,8	2,0	1061	481,88	4,28	86,71	0,83	U	15,9
40	189,4	2,0	1214	504,59	3,91	87,31	0,77	V	16,0
45	212,1	2,1	1369	539,39	3,74	86,91	0,70	W	16,0
50	220	1,8	1496	479,55	3,09	89,20	0,70	R =	16,0

mencari nilai Daya input, Torsi, daya output, serta Efisiensi dengan metode perhitungan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Ket ; V = tegangan (V).

I = arus (A).

Cosφ = faktor kerja.

$$T = (5250 \times \text{HP}) / n$$

Ket ; 5250 = konstan.

HP = horse power (Watt).

n = putaran motor (rpm).

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

Ket ; I = arus (A).

R = tahanan (Ω).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Ket ; P<sub>out</sub> = daya keluaran (Watt).

P<sub>in</sub> = daya masukan (Watt).

#### ➤ Percobaan 1

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 167,8 \times 2 \times 0,83$$

$$P_{in} = 481,88 \text{ Watt.}$$

$$T = (5250 \times 0,64) / 1061$$

$$T = 3360 / 1061$$

$$T = 3,16 \text{ lb.ft atau } 4,28 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 481,88 - (2^2 \cdot 16,0)$$

$$= 417,88 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{417,88}{481,88} \times 100\%$$

$$= 86,71 \%$$

➤ Percobaan 2

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 189,4 \times 2 \times 0,77$$

$$P_{in} = 504,59 \text{ Watt.}$$

$$T = (5250 \times 0.67) / 1214$$

$$T = 3517,5 / 1214$$

$$T = 2,89 \text{ lb.ft atau } 3,91 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 504,59 - (2^2 \cdot 16,0)$$

$$= 440,59 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{440,59}{504,59} \times 100\%$$

$$= 87,31$$

➤ Percobaan 3

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 212 \times 2,1 \times 0,70$$

$$P_{in} = 539,39 \text{ Watt.}$$

$$T = (5250 \times 0.72) / 1369$$

$$T = 3780 / 1369$$

$$T = 2,76 \text{ lb.ft atau } 3,74 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 539,39 - (2,1^2 \cdot 16,0)$$

$$= 468,83 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{468,83}{539,39} \times 100\%$$

$$= 86,91 \%$$

➤ Percobaan 4

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 220,2 \times 1,8 \times 0,7$$

$$P_{in} = 480,0 \text{ Watt}$$

$$T = (5250 \times 0.64) / 1496$$

$$T = 3360 / 1496$$

$$T = 2,63 \text{ lb.ft atau } 3,09 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 480 - (1,8^2 \cdot 16,0)$$

$$= 428,16 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{428,16}{480} \times 100\%$$

$$= 89,2 \%$$

Pada proses penelitian motor induksi yang ke-2, penulis melakukan modifikasi dengan menaikkan nilai resistansi kumparan dengan mengurangi diameter kumparan yang semula 0,45mm menjadi 0,40mm. Sehingga jumlah lilitan tiap tiap alur akan bertambah yaitu 108 belitan, dalam hal ini penulis tidak mengurangi jumlah belitan sebesar 10% guna terlihatnya perbandingan nilai tahanan antara kedua motor induksi. Sehingga jumlah kumparan keseluruhan yaitu 1194 lilitan.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Motor Listrik 2 Tanpa Beban.

Motor Listrik 1 tanpa beban								
Frekuensi (Hz)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (Rpm)	Pin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Cosφ	Resistansi (Ω)
35	162,1	0,9	1046	224,6	2,03	110,34	0,89	U 26,1
40	188,1	0,9	1199	243,0	1,89	109,48	0,83	V 26,1
45	209,5	0,9	1348	251,16	1,73	109,15	0,77	W 25,7
50	228,1	1,0	1495	284,12	1,80	108	0,72	R = 26,0

mencari nilai Daya input, Torsi, daya output, serta Efisiensi pada motor induksi dengan metode perhitungan menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Ket ; V = tegangan (V).

I = arus (A).

Cosφ = faktor kerja.

$$T = (5250 \times HP) / n$$

Ket ; 5250 = konstan.

HP = horse power (Watt).

n = putaran motor (rpm).

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

Ket ; I = arus (A).

R = tahanan (Ω).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Ket ; P<sub>out</sub> = daya keluaran (Watt).

P<sub>in</sub> = daya masukan (Watt).

➤ Percobaan 1

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 162,1 \times 0,9 \times 0,89$$

$$P_{in} = 224,6 \text{ Watt}$$

$$T = (5250 \times 0.30) / 1046$$

$$T = 1517 / 1046$$

$$T = 1,50 \text{ lb.ft atau } 2,03 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 224,6 - (0,9^2 \cdot 26)$$

$$= 203,54 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{224,6}{203,54} \times 100\%$$

$$= 110,34 \%$$

➤ Percobaan 2

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 188,1 \times 0,9 \times 0,83$$

$$P_{in} = 243 \text{ Watt}$$

$$T = (5250 \times 0.32) / 1199$$

$$T = 1680 / 1199$$

$$T = 1,40 \text{ lb.ft atau } 1,89 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 243 - (0,9^2 \cdot 26)$$

$$= 221,94 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{243}{221,94} \times 100\%$$

$$= 109,48 \%$$

➤ Percobaan 3

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 209,5 \times 0,9 \times 0,77$$

$$P_{in} = 251,16 \text{ Watt}$$

$$T = (5250 \times 0.33) / 1348$$

$$T = 1732,5 / 1348$$

$$T = 1,28 \text{ lb.ft atau } 1,73 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 251,6 - (0,9^2 \cdot 26)$$

$$= 230,1 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{251,16}{230,1} \times 100\%$$

$$= 109,15 \%$$

➤ Percobaan 4

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$P_{in} = 1,73 \times 228,1 \times 1 \times 0,72$$

$$P_{in} = 284,12 \text{ Watt}$$

$$T = (5250 \times 0.38) / 1495$$

$$T = 1995 / 1495$$

$$T = 1,33 \text{ lb.ft atau } 1,80 \text{ Nm.}$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Rugi-rugi}$$

$$= P_{in} - (I^2 \cdot R)$$

$$= 284,12 - (0,9^2 \cdot 26)$$

$$= 263,06 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{284,12}{263,06} \times 100\%$$

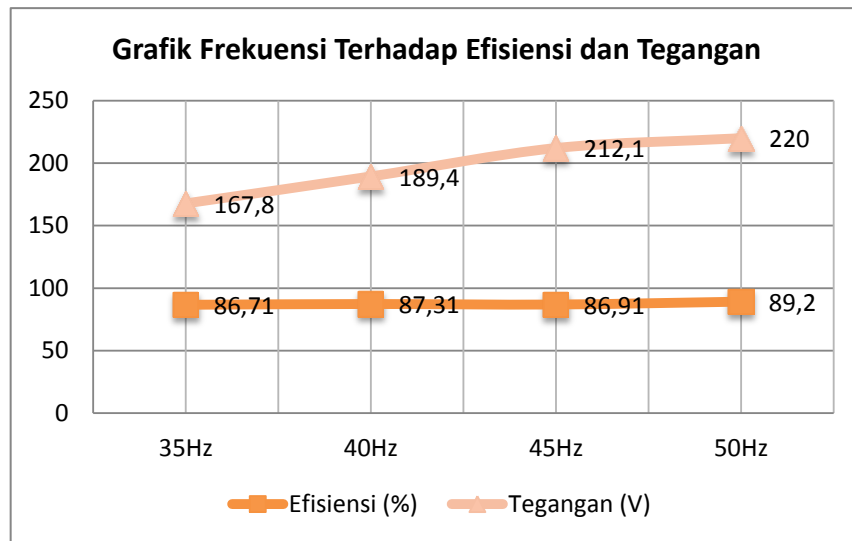
$$= 108 \%$$

Tabel 4.4 Perbandingan data pengujian motor induksi1 dan motor induksi2

	<b>PERBANDINGAN</b>							
	Motor Induksi 1 ( Resistansi 16Ω )				Motor Induksi 2 ( Resistansi 26Ω )			
Frekuensi (Hz)	35 Hz	40Hz	45Hz	50Hz	35Hz	40Hz	45Hz	50Hz
Arus (A)	2,0	2,0	2,1	1,8	0,9	0,9	0,9	1,0
Daya Masuk	481,8	504,5	539,3	479,5	224,6	243,0	251,1	284,1
Efisiensi (%)	86,7	87,3	86,9	89,2	110,3	109,3	109,1	108
Cosφ	0,83	0,77	0,70	0,70	0,89	0,83	0,77	0,72

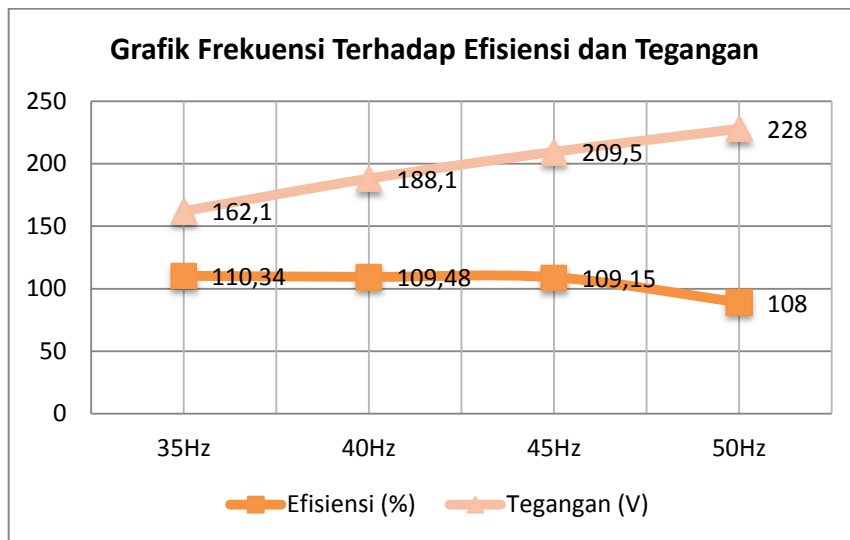
Terlihat pada tabel diatas menunjukkan bahwa data kinerja motor induksi-1 dengan resistansi 16Ω serta motor induksi-2 dengan resistansi kumparan 26Ω sangat berbeda. Data diatas menunjukkan bahwa peningkatan resistansi menimbulkan dampak yang cukup baik terutama pada arus, daya dan cosφ namun tidak terhadap efisiensi motor. Efisiensi pada motor induksi-1 dapat dikatakan lebih baik dikarenakan pada ketentuannya efisiensi motor tidak boleh melebihi angka 100%. Peningkatan resistansi juga berdampak terhadap torsi yang rendah yang pada akhirnya motor tidak lagi dapat dioperasikan dengan beban motor yang cukup berat.

#### 4.6 Grafik Frekuensi Terhadap Efisiensi dan Tegangan



Gambar 4.12 Grafik pengujian motor induksi1.

- Ketika frekuensi masukan sebesar 35Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 167,8 V dan efisiensi motor berada pada angka 86,71%.
- Ketika frekuensi masukan sebesar 40Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 189,4 V dan efisiensi motor berada pada angka 87,31%.
- Ketika frekuensi masukan sebesar 45Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 212,2 V dan efisiensi motor berada pada angka 86,91%.
- Ketika frekuensi masukan sebesar 50Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 220,0 V dan efisiensi motor berada pada angka 89,20%.



Gambar 4.12 Grafik pengujian motor induksi 2.

- a) Ketika frekuensi masukan sebesar 35Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 162,1 V dan efisiensi motor berada pada angka 110,34%.
- b) Ketika frekuensi masukan sebesar 40Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 188,1 V dan efisiensi motor berada pada angka 109,48%.
- c) Ketika frekuensi masukan sebesar 45Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 209,5 V dan efisiensi motor berada pada angka 109,15%.
- d) Ketika frekuensi masukan sebesar 50Hz maka tegangan yang dihasilkan ialah sebesar 228,0 V dan efisiensi motor berada pada angka 108%

## **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. Dalam penentuan konsep lilitan stator motor induksi 3-fasa yang telah diterapkan dapat dinyatakan bahwa hasil pengujian pada motor induksi-1 dalam keadaan yang cukup baik.
2. Peningkatan resistansi menimbulkan dampak yang cukup baik terutama pada arus dan  $\cos\phi$  namun tidak terhadap efisiensi motor. Efisiensi pada motor induksi-1 dapat dikatakan lebih baik dikarenakan pada ketentuannya efisiensi motor tidak boleh melebihi angka 100%.
3. Peningkatan resistansi juga berdampak terhadap torsi yang rendah sehingga motor tidak lagi dapat dioperasikan pada beban yang cukup berat

#### **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

- Amalia, Nanda Tri, Drs Teguh, Harijono Mulud, and Budhi Prasetyo. 2017. "PERBAIKAN MOTOR INDUKSI 2380 KW DI PT . PINDAD ( PERSERO )." 13(2): 54–60.
- Anthony, Zuriman. 2015. "Vol.17 No.2. Agustus 2015 Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X." 17(2): 44–47.
- Elektronika, Jurnal, Teknologi Informasi, Yudhi Agussationo, and Puspita Ayu Armi. 2020. "Peningkatan Kinerja Motor Induksi Melalui Variasi Diameter Lilitan Kawat." 2: 8–14.
- Daya, Peningkatan Efisiensi. 2020. "STUDI PERANCANGAN KUMPARAN STATOR MOTOR LISTRIK TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI DAYA Lukman Aditya 1 , Lukman Pamungkas 2 Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jakarta." 8(2): 43–49.
- Evalina, Noorly et al. 2019. "ANALISIS PERUBAHAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 PHASA DENGAN MENGGUNAKAN INVERTER 3G3MX2." : 2–5.
- Sukma, Arie, Setya Putra, Tejo Sukmadi, and Susatyo Handoko. "ANALISA DAYA MOTOR INDUKSI 3 FASA PADA OPERASI INTERMITTENT DENGAN VARIASI PERIODE PEMBEBANAN."
- Cendana, Universitas Nusa. 2018. "MOTOR-MOTOR LISTRIK." (March).
- Elektrika, Media, and Partaonan, 2016. "PENGARUH JATUH TEGANGAN TERHADAP KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN SIMULINK MATLAB." 9(2).
- Radiansyah, Akmal, and Albert Gifson. 2019. "Inspeksi Overhaul Motor Induksi 3 Fasa 1000 KW Di PT. Mesindo Tekninesia." 21(2): 14–26.

- Adam, Muhammad, Partaonan Harahap, and M Ridho Nasution. 2019. "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin ( PLTA ) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc." 2(1): 30–36.
- Rimbawati, Abdul Azis H, Faisal Irsan Pasaribu, et al. 2017. "Design of Motor Induction 3-Phase from Waste Industry to Generator for Microhydro at Isolated Village." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 237(1).
- Naim, Muhammad. 2016. "D INAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin MODIFIKASI JUMLAH KUTUB PADA MOTOR INDUKSI 3 FASA 36 ALUR." 8(1): 23–29.
- Prayogo, Dwi. "Analisis Pengaruh Kerusakan Rotor Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Motor Current Signature Analysis (Mcsa)." : 1–11.
- Of, Journal, and Electrical Power. "ANALISA GANGGUAN STATOR MOTOR INDUKSI FASA 3 DENGAN METODE CURRENT SIGNATURE ANALISIS DAN MONITORING TEMPERATUR Dede Zaenal 1." : 1–9.
- Siswoyo, 2008. "TEKNIK LISTRIK INDUSTRI". Jakarta: Pembinaan Direktorat and Sekolah Menengah.
- Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia, 2014. "Instalasi Motor Listrik." Jakarta: Buku Sekolah Elektronik (BSE).
- Langkah Identifikasi Dinamo, 2020. CV. ASIA PERDANA MEKASINDO. Pulogadung Jakarta Timur.

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

#### ANALISA PERENCANAAN LILITAN (REWINDING) MOTOR INDUKSI, SERTA PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KUMPARAN STATOR TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI 3-FASA 220/380V

Nama : Fadli Fadhilah

NPM : 1707220022

Dosen Pembimbing : Ir. Yusniati, M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Selasa 2 Februari 2021	Bab 1 dan bab 2 diperbaiki	
2	Jum'at 19 Februari 2021	Perbaiki bab 2 dan bab 3	
3	Senin 22 Februari 2021	Perbaiki notasi rumus	
4	Jum'at 26 Februari 2021	Beri keterangan sumber pada tabel 3.2	
5	Jum'at 5 Maret 2021	Acc bab 3 lanjut seminar proposal	
6	Kamis 22 April 2021	lanjut bab 4	
7	Kamis 6 Mei 2021	Beri keterangan komponen gambar	
8	Jum'at 28 Mei 2021	Perbaiki perhitungan	
9	Senin 07 Juni 2021	lanjut pengujian 2	
10	Senin 14 Juni 2021	buat tabel perbandingan	





**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

**ANALISA PERENCANAAN LILITAN (REWINDING) MOTOR INDUKSI,  
SERTA PENGARUH PENINGKATAN RESISTANSI KUMPARAN  
STATOR TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI 3-FASA 220/380V**

Nama : Fadli Fadhilah

NPM : 1707220022

Dosen Pembimbing : Ir. Yusniati, M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Kamis 01 Juli 2021	Perbaiki grafik	
2	Jum'at 16 Juli 2021	Perbaiki Abstrak	
3	Kamis 20 Juli 2021	ACC seminar hasil	
4	23 Agustus 2021	Acc untuk Sidang	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

---

**LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Fadli Fadhilah  
NPM : 1707220022  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisa Perencanaan Lilitan (Rewinding) Motor Induksi,  
Serta Pengaruh Peningkatan Resistansi Kumparan Stator  
Terhadap Kinerja Motor Induksi 3-Fasa 220/380 Volt.  
Dosen Pembimbing : Ir. Yusniati, M.T

No	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
	<i>Semin/23-8-'21</i>	<i>Ace untuk sidang</i>	<i>FF.</i>

Medan, 23 Agustus 2021

Fadli Fadhilah

## RIWAYAT HIDUP



Nama : FADLI FADHILAH  
 NPM : 1707220022  
 Tempat/tanggal lahir : Medan, 26 Januari 200  
 Email : fadlifadhilah26@gmail.com  
 No.Hp : 082287629955  
 Alamat : Jl. Young Panah Hijau Gg.Kesenian lingkungan XI  
 .Medan Marelan Kel.Labuhan Deli.

## RIWAYAT PENDIDIKAN

TK Nurun Namirah	: Tahun 2004 - 2005
SD N 060950	: Tahun 2005 – 2011
Mts. Pondok Pesantren Ar-raudhatul Hasanah	: Tahun 2011 – 2014
SMA Swasta Dharmawangsa Medan	: Tahun 2014 – 2017
Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	: Tahun 2017 – 2021