



# **Analisis Pengaturan Frekuensi Pada Variable Speed Drive Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa di PT Bintang Alumina Indonesia**

## **Proposal Tugas Akhir**

**Oleh:**  
**Anastasya Febriliana SN (4232001044)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2023**



## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Analisis Pengaturan Frekuensi Pada Variable Speed Drive Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa di PT Bintang Alumina Indonesia” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 28 Desember 2023



Anastasya Febriliana Sari Nuryanti  
NIM: 4232001044

# Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)

Oleh:

Anastasya Febriliana Sari Nuryanti (4232001044)

Tanggal Sidang: 28 Desember 2023


Disetujui oleh :

Dosen Penguji I



Hasnira, S.ST., M.Tr.T  
NIK: 113112

Dosen Pembimbing



Arif Febriansyah Juwito, S.T., M.Eng  
NIK: 114127

Dosen Penguji II



Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd  
NIK: 119230

# **Analisis Pengaturan Frekuensi Variable Speed Drive Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa di PT Bintang Alumina Indonesia**

## **Abstrak**

PT Bintang Alumina Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dan pengolahan bauksit. Dalam operasionalnya, perusahaan menggunakan motor induksi tiga fasa untuk menggerakkan pompa yang bertanggung jawab dalam proses pengangkutan bauksit. Meskipun motor induksi telah terbukti efektif, namun motor induksi memiliki kecenderungan berputar pada kecepatan yang konstan dan memiliki kontrol kecepatan yang buruk. Salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar yakni dengan menggunakan VSD. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengaturan frekuensi pada variable speed drive terhadap kinerja motor induksi 3 fasa di PT Bintang Alumina Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif yaitu dengan observasi langsung ke lapangan untuk pengumpulan data. Kemudian data tersebut akan diolah serta dianalisis menggunakan teknik statistik dan teknik perhitungan terkait kinerja motor. Hasil penelitian pada 2 Oktober 2023 menunjukkan bahwa perubahan frekuensi pada Variable Speed Drive (VSD) berpengaruh signifikan terhadap tegangan, kecepatan, torsi, daya output, daya input, dan efisiensi motor induksi 3 fasa. Tegangan meningkat dari 184 V pada 15 Hz menjadi 272 V pada 35 Hz, sedangkan kecepatan naik dari 300 rpm menjadi 700 rpm. Torsi mencapai puncak pada 15 Hz (1164 Nm), berkurang menjadi 890 Nm pada 25 Hz, dan 775 Nm pada 35 Hz. Daya output dan daya input meningkat seiring peningkatan frekuensi. Meskipun efisiensi rata-rata motor adalah 73,72%, faktor lain seperti umur motor, lama penggunaan, frekuensi masukan, dan beban juga berperan. Didapat kesimpulan bahwa meningkatnya frekuensi mengakibatkan peningkatan daya keluaran motor dan putaran motor. Oleh karena itu, pengaturan frekuensi pada Variable Speed Drive (VSD) dapat memberikan kontrol yang efektif terhadap kinerja motor induksi sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Kata kunci: motor induksi 3 fasa, variable speed drive, kinerja motor.

# **Analysis of Variable Speed Drive Frequency Settings on the Performance of 3 Phase Induction Motors at PT Bintan Alumina Indonesia**

## ***Abstract***

*PT Bintan Alumina Indonesia is a company engaged in bauxite mining and processing. In its operations, the company uses a three-phase induction motor to drive the pump which is responsible for the bauxite transportation process. Although induction motors have been proven to be effective, they have a tendency to rotate at a constant speed and have poor speed control. One way to control the rotation speed is by using a VSD. Therefore, this research aims to analyze the effect of frequency settings on variable speed drives on the performance of 3-phase induction motors at PT Bintan Alumina Indonesia. The method used in this research is quantitative, namely direct observation in the field for data collection. Then the data will be processed and analyzed using statistical techniques and calculation techniques related to motorbike performance. The results of the research on October 2 2023 show that changing the frequency of the Variable Speed Drive (VSD) has a significant effect on the voltage, speed, torque, output power, input power and efficiency of a 3-phase induction motor. The voltage increases from 184 V at 15 Hz to 272 V at 35 Hz, while the speed increases from 300 rpm to 700 rpm. Torque peaks at 15 Hz (1164 Nm), reduces to 890 Nm at 25 Hz, and 775 Nm at 35 Hz. The output power and input power increase as the frequency increases. Although the average efficiency of the motor is 73.72%, other factors such as motor age, length of use, input frequency, and load also play a role. It was concluded that increasing the frequency resulted in an increase in motor output power and motor rotation. Therefore, frequency settings on the Variable Speed Drive (VSD) can provide effective control of induction motor performance according to application needs. Keywords: 3 phase induction motor, variable speed drive, motor performance.*

## Kata Pengantar

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang mengambil judul “Analisis Pegaturan Frekuensi Pada Variable Speed Drive Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa di PT Bintang Alumina Indonesia”.

Tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan ujian guna memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada Jurusan Teknik Elektro Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.

Penulis menyadari dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, dan banyak kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan Penulis. Sehingga Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun mudah mudahan dikemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya. Selama perkuliahan sampai dengan seterusnya tugas akhir ini, penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat di nilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Iwan dan Sri Lestari selaku orangtua yang sangat saya sayangi yang telah banyak memberikan perhatian, pendidikan, nesehat, dukungan moral dan material serta semangat dan do'a untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs selaku ketua prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang senantiasa memberikan semangat dan nasehat selama perkuliahan..
3. Bapak Arif Febriansyah Juwito, S.T., M.Eng selaku dosen Pembimbing yang selalu mengarahkan, memberikan bimbingan, inspirasi, semangat, dorongan moral, hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd Selaku dosen pengampu Tugas Akhir yang telah membantu kemudahan dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Bapak Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T dan Ibu Hasnira,S.ST., M.Tr.T koordinator magang dan dosen wali yang telah memberikan arahan dan memberikan ilmu selama penulis menempuh Pendidikan dan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh perkuliahan.
7. PT Bintang Alumina Indonesia (BAI) khususnya Bapak Edi Susanto yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir ini selama proses magang.
8. Bapak Aminullah, selaku pembimbing lapangan yang yang selalu mengarahkan, memberikan inspirasi dan membantu proses pengambilan

data, serta memberikan masukan dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

9. Seluruh senior-senior di Divisi Kelistrikan Departement Alumina yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data untuk Tugas Akhir ini.
10. Rekan-rekan seangkatan dan seperjuangan Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Semua pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang sudah banyak membantu penulis sehingga terselesaikan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk meyelesaikan tugas akhir ini serta tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Dan penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam tulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan didalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua yang membacanya.

Batam, 28 Desember 2023



Anastasya Febriliana  
4232001044

# Daftar Isi

Lembar Pengesahan .....	i
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	x
Bab 1. Pendahuluan .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan.....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka .....	3
2.1. Motor Induksi.....	3
2.1.1. Pengertian Motor Induksi.....	3
2.1.2. Klasifikasi Motor Induksi.....	4
2.1.3. Kontruksi Motor Induksi .....	4
2.1.4. Prinsip Kerja Motor Induksi .....	7
2.1.5. Slip Motor Induksi .....	7
2.1.6. Efisiensi Motor Induksi .....	8
2.1.7. Torsi Motor Induksi .....	8
2.1.8. Daya Motor Induksi .....	9
2.1.9. Faktor Daya Motor Induksi .....	11
2.1.10. Starting Motor Induksi.....	12
2.1.11. Pengaturan Putaran Motor Induksi .....	12
2.2. VSD .....	13

2.2.1. Pengertian VSD.....	13
2.2.2. Prinsip Kerja VSD .....	14
Bab 3. Metodologi Penelitian .....	15
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.1.1. Waktu Penelitian .....	15
3.1.2. Tempat Penelitian .....	15
3.2. Jenis Penelitian.....	15
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	15
3.4. Teknik Pengolahan Data .....	16
3.5. Peralatan Penelitian .....	16
3.6. Langkah Pengambilan Data .....	18
3.8. Prosedur Penelitian .....	20
Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	22
4.1. Hasil Penelitian .....	22
4.2. Grafik.....	38
Bab 5. Kesimpulan dan Saran .....	42
5.1. Kesimpulan.....	42
5.2. Saran .....	42
Daftar Pustaka .....	44
Biodata .....	45
Lampiran .....	46

## Daftar Gambar

Gambar 2.1. Motor Induksi di Industri .....	3
Gambar 2.2 Bentuk konstruksi dari motor induksi.....	4
Gambar 2.3 Kontruksi rotor sangkar motor induksi.....	5
Gambar 2.4 Gambaran sederhana slot pada motor induksi .....	6
Gambar 2.5 Gambaran sederhana motor induksi yang terdiri dari satu kumparan stator dan satu kumparan rotor .....	6
Gambar 2.6 Medan putar motor induksi.....	7
Gambar 2.7 Roda yang berputar karna adanya gaya .....	9
Gambar 2.8 Korelasi antara daya aktif, reaktif dan semu .....	10
Gambar 2.9 Faktor Daya dan Efisiensi.....	12
Gambar 2.10 Prinsip Kerja VSD .....	14
Gambar 3.1 Motor Induksi 3 Fasa .....	16
Gambar 3.2 Name Plate Motor Induksi 3 Fasa .....	17
Gambar 3.3 VSD Schneider Electric.....	17
Gambar 3.4 Spesifikasi VSD Schneider Electric .....	18
Gambar 3.5 Diagram Alir .....	20
Gambar 4.1 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan.....	65
Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Torsi.....	65
Gambar 4.3 Grafik Frekuensi Terhadap Daya Input .....	66
Gambar 4.4 Grafik Frekuensi Terhadap Daya Output .....	66
Gambar 4.5 Grafik Frekuensi Terhadap Efisiensi.....	67

## Daftar Tabel

Tabel 4.1 Data Hasil Pengamatan Motor.....	22
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Putaran Motor.....	25
Tabel 4.3 Daya Input dalam kilowatt (kW) dan horse power (HP) .....	33
Tabel 4.4 Data Penggunaan Energi.....	53
Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan .....	61

# **Bab 1. Pendahuluan**

## **1.1. Latar Belakang**

Industri pertambangan dan pengolahan bauksit di Indonesia telah mengalami perkembangan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu perusahaan yang turut aktif dalam sektor ini adalah PT Bintan Alumina Indonesia. Perusahaan ini berfokus pada pengolahan bauksit, yang merupakan bahan baku penting untuk produksi aluminium. Dalam operasionalnya, perusahaan menggunakan motor induksi tiga fasa dalam menggerakkan berbagai mesin dan peralatan, termasuk pompa untuk proses pengangkutan bauksit. Meskipun motor induksi telah menjadi standar dalam industri ini, terdapat sejumlah permasalahan yang memengaruhi kinerjanya.

Salah satu permasalahannya adalah kecenderungan berputar pada kecepatan yang konstan dan memiliki kontrol kecepatan yang buruk. Kecepatan putar pada motor induksi tergantung pada frekuensi tegangan yang diberikan ke motor. Salah satu cara untuk mengendalikan kecepatan putar motor yakni dengan menggunakan VSD. VSD beroperasi dengan mengontrol frekuensi tegangan pada motor, memungkinkan pengaturan kecepatan putaran motor sesuai dengan variasi beban yang digunakan.

Adapun penelitian ini didasarkan karna dalam pengoperasian motor induksi menuntut kinerja yang optimal seperti kecepatan, torsi, penggunaan daya serta efisiensinya. Untuk menangani hal tersebut, PT Bintan Alumina memilih menggunakan variable speed drive dalam proses operasionalnya. Variable Speed Drive (VSD) dapat memberikan kontrol kecepatan yang baik sehingga memungkinkan penggunaan daya yang lebih efisien serta efektif dalam mengatur kecepatan dan torsi motor sesuai dengan kebutuhan beban yang bervariasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penulis menjadikan PT Bintan Alumina sebagai objek penelitian dengan judul "Analisis Pengaturan Frekuensi pada Variable Speed Drive terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa di PT Bintan Alumina Indonesia." Diharapkan dengan dilakukan penelitian ini dapat memberikan solusi untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja operasional, sekaligus mengurangi konsumsi daya di PT Bintan Alumina Indonesia.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan maka dapat diperoleh rumusan masalah pada tugas akhir sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaturan frekuensi pada variable speed drive mempengaruhi kinerja motor induksi?
2. Bagaimana perubahan frekuensi mempengaruhi efisiensi dan konsumsi daya motor induksi?

## **1.3. Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui dampak perubahan frekuensi terhadap kinerja motor induksi.
2. Mengetahui dampak perubahan frekuensi terhadap efisiensi dan konsumsi daya motor induksi.

## **1.4. Manfaat**

Berdasarkan tujuan tersebut, maka penulisan tugas akhir ini bermanfaat untuk :

1. Penelitian ini dapat memperlus pemahaman penulis tentang pengaturan vsd pada motor induksi 3 fasa serta mengasah keterampilan penulis seperti mengumpulkan data, menganalisis data dan menyusun laporan.
2. Penelitian ini dapat membantu instansi terkait memahami cara memaksimalkan efisiensi dan performa motor dengan menggunakan vsd.
3. Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi peneliti berikutnya untuk menggali aspek lain dari penggunaan VSD pada motor induksi.

## **1.5. Batasan**

1. Penelitian ini hanya membahas pengaturan frekuensi pada rentang tertentu yang umumnya digunakan di PT Bintang Alumina Indonesia.
2. Penelitian ini hanya membahas kinerja, efisiensi energi dan konsumsi daya saat frekuensi VSD diubah.

## **Bab 2. Tinjauan Pustaka**

### **2.1. Motor Induksi**

#### **2.1.1. Pengertian Motor Induksi**

Motor induksi adalah jenis motor yang beroperasi dengan menggunakan prinsip induksi medan magnet dari kumparan stator untuk menghasilkan gerakan pada rotor sehingga menyebabkannya berputar sesuai dengan hukum Lorentz. Motor induksi sering disebut sebagai motor asinkron karena kecepatan putar rotor tidak pernah identik dengan kecepatan sinkron yang dihasilkan oleh medan stator, yang disebut sebagai slip [1]

Motor induksi sangat umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor industri maupun rumah tangga. Terdapat dua jenis motor induksi yang populer, yaitu motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa bekerja pada sistem tenaga 3 fasa dan sering digunakan dalam berbagai industri dengan kapasitas besar. Di sisi lain, motor induksi 1 fasa dioperasikan menggunakan sistem tenaga 1 fasa dan seringkali dipakai untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci, dan lain sebagainya [2]



**Gambar 2.1 Motor Induksi di Industri**

(Sumber: [www.hotelier.id](http://www.hotelier.id))

### 2.1.2. Klasifikasi Motor Induksi

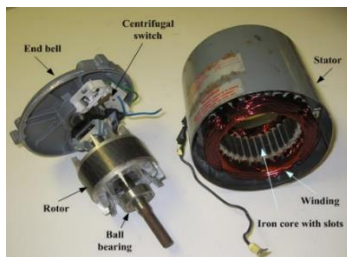
Motor induksi dibagi menjadi 2 kategori yaitu [3]

1. Motor induksi 1 fasa  
Dinamakan demikian karena tenaga mekanik dihasilkan melalui pemasokan tegangan satu fasa. Jenis motor ini dikenal sebagai motor satu fasa belah. Terdapat berbagai jenis motor satu fasa, termasuk motor kapasitor, motor kutub bayangan, motor repulsi, dan motor seri.
2. Motor induksi 3 fasa  
Dinamakan demikian karena daya mekanisnya dihasilkan melalui pemasokan tegangan tiga fasa. Jenis motor ini dapat diklasifikasikan berdasarkan rotor yang digunakan, seperti motor dengan rotor lilit, motor rangkai sangkar tupai, dan motor kolektor.

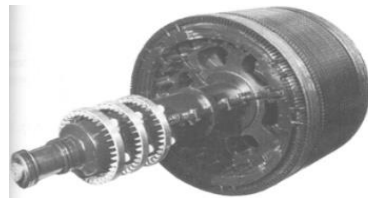
### 2.1.3. Kontruksi Motor Induksi

Dari segi strukturnya, motor induksi memiliki konstruksi yang kokoh dan kinerja yang efisien, sehingga menjadikannya sebagai motor AC yang paling umum digunakan. Motor induksi memiliki dua komponen utama seperti yang terlihat dalam gambar 2.2 berikut ini.

1. Bagian Stator adalah elemen yang tidak bergerak dan memiliki kumparan yang dapat menghasilkan medan elektromagnetik pada kumparan rotor.
2. Bagian Rotor adalah elemen yang bergerak karena medan magnet diinduksi dari kumparan stator ke kumparan rotor.



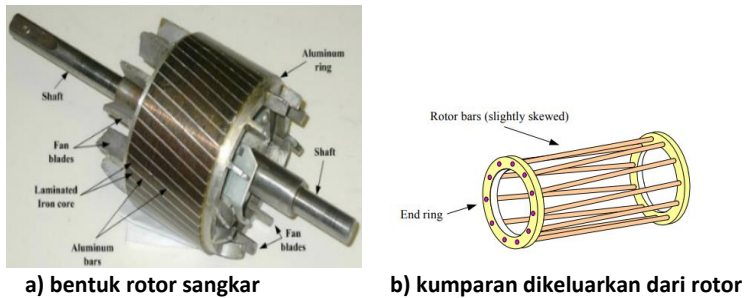
a) stator dan rotor sangkar



b) rotor belitan

**Gambar 2.2 Bentuk konstruksi dari motor induksi [4]**

Contoh detail dari struktur konstruksi rotor sangkar motor induksi secara lebih rinci diperlihatkan pada gambar berikut.



**Gambar 2.3 Kontruksi rotor sangkar motor induksi [4]**

Susunan dasar dari stator motor induksi mencakup komponen berikut:

1. Kerangka stator yang terbuat dari besi cor.
2. Inti stator yang terbuat dari bahan besi lembut atau baja silikon.
3. Alur yang menggunakan bahan serupa dengan inti, berfungsi sebagai tempat untuk belitan stator.
4. Belitan stator yang terbuat dari bahan tembaga.

Desain kerangka stator motor induksi ini telah disusun dengan baik dengan tujuan sebagai berikut:

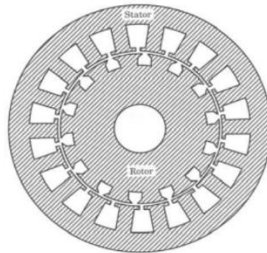
1. Melindungi inti dan belitan stator.
2. Melindungi bagian-bagian bergerak mesin dari kontak langsung dengan orang dan kerusakan akibat gangguan eksternal atau cuaca buruk.
3. Mengalirkan torsi ke komponen penopang mesin, sehingga stator dirancang untuk menahan gaya putar dan guncangan.
4. Bertindak sebagai saluran untuk ventilasi udara, memungkinkan pendinginan yang lebih efisien.

Motor induksi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan bentuk konstruksinya seperti pada gambar 2.2

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (squirrel cage).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (wound rotor).

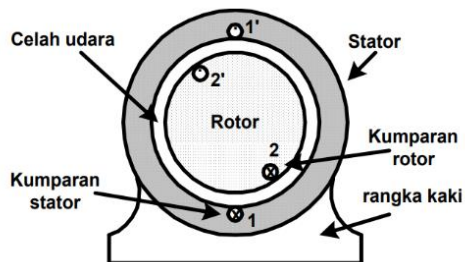
Bagian-bagian yang membentuk rotor motor induksi meliputi:

1. Inti rotor, terbuat dari bahan seperti besi lunak atau baja silikon, yang serupa dengan bahan inti stator.
2. Alur, terbuat dari bahan serupa dengan inti, berfungsi sebagai tempat pemasangan belitan rotor.
3. Belitan rotor, terbuat dari material tembaga.
4. Poros atau sumbu.



**Gambar 2.4** Gambaran sederhana slot pada motor induksi [4]

Di antara bagian stator dan rotor, terdapat celah udara yang merupakan ruang antara keduanya. Melalui celah ini, fluks induksi stator melewati kumparan rotor, memicu perputaran rotor. Penting untuk mengatur celah udara ini agar motor bekerja secara optimal. Jika celah terlalu besar, efisiensi motor induksi akan menurun, namun jika terlalu kecil, mesin akan mengalami kesulitan mekanis. Gambaran sederhana tentang slot pada motor induksi diperlihatkan pada gambar 2.4, sementara gambaran tentang penempatan stator dan rotor ditunjukkan pada gambar 2.5

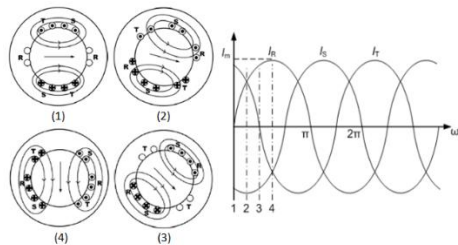


**Gambar 2.5** Gambaran sederhana motor induksi yang terdiri dari satu kumparan stator dan satu kumparan rotor [4]

### 2.1.4. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi 3 fase beroperasi berdasarkan prinsip-prinsip Hukum Faraday dan Hukum Lorentz, yang menyatakan bahwa tegangan akan diinduksi oleh perubahan medan magnetik dalam suatu lilitan dan perubahan medan magnetik akan menghasilkan gaya. Prinsip dasarnya adalah sebagai berikut:

1. Tegangan listrik timbul pada konduktor akibat interaksi dengan medan magnet (Prinsip induksi elektromagnetik oleh Faraday).
2. Ketika konduktor saling terhubung, terjadi aliran tegangan induksi dari satu konduktor ke konduktor lainnya.
3. Sesuai dengan Hukum Lorentz, adanya arus di dalam medan magnet menghasilkan gaya.
4. Gaya akan mendorong konduktor untuk bergerak sepanjang medan magnet.



**Gambar 2.6 Medan putar motor induksi [5]**

Kecepatan dari motor induksi tiga fasa secara signifikan dipengaruhi oleh frekuensi tegangan input dan jumlah kutub yang terdapat pada stator. Ini dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$n_s = 120 \times f / p \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

$n_s$  = kecepatan medan putar stator

$f$  = frekuensi

$p$  = jumlah kutub

### 2.1.5. Slip Motor Induksi

Tegangan yang dihasilkan di rotor motor tergantung pada perbedaan kecepatan antara rotor dan medan magnet stator. Dalam motor induksi, kecepatan rotor tidak selalu sama dengan kecepatan medan magnet stator. Perbedaan antara kedua kecepatan tersebut disebut "slip," yang bertambah seiring dengan beban

yang diberikan pada motor [6]. Persamaan untuk slip dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$s = (ns - nr)/ns \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

s = slip (%)

ns = kecepatan medan putar stator (rpm)

nr = kecepatan medan putar rotor (rpm)

### 2.1.6. Efisiensi Motor Induksi

Efisiensi motor induksi adalah hasil perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan oleh motor induksi dengan daya masukan yang diperlukan oleh motor tersebut. Semakin tinggi persentase perbandingan ini, semakin optimal kinerja motor yang digunakan.

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

$\eta$  = kecepatan putar rotor (%)

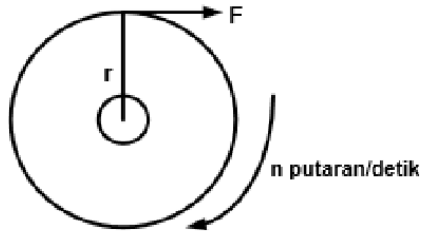
P<sub>out</sub> = Daya keluaran

P<sub>in</sub> = Daya masukan

Pada beban ringan, kerugian tetap lebih besar daripada keluaran, yang mengakibatkan efisiensi rendah. Saat beban meningkat, efisiensi juga meningkat, mencapai puncak ketika kerugian inti dan variabel sebanding. Efisiensi puncak biasanya terjadi pada sekitar 80-95% output mesin, terutama pada motor besar. Namun, jika beban melebihi level ini, kerugian beban meningkat lebih cepat daripada output, mengakibatkan penurunan efisiensi [5]

### 2.1.7. Torsi Motor Induksi

Torsi merupakan hasil dari gaya yang diterapkan pada suatu poros yang dapat berputar. Untuk mengukur torsi, kalikan gaya yang bekerja dengan jari-jari lingkaran di mana gaya itu diterapkan. Gambar 2.7 menggambarkan sebuah roda dengan gaya F yang bekerja pada jari-jari r bekerja suatu gaya F Newton yang menyebabkan benda berputar dengan kecepatan n putaran per detik.



**Gambar 2.7** Roda yang berputar karna adanya gaya [7]

Untuk menghitung torsi maksimum dari motor saat beban penuh, dapat menggunakan rumus berikut.

$$\tau = \text{HP} \times 5252 / n \dots\dots\dots (2.4)$$

Atau menggunakan rumus berikut.

$$\tau = P_{\text{out}} / \omega \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\omega = 2\pi \times nr / 60 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$\tau$  = Torsi (Nm)

HP = Daya kuda

5252 = Konstanta

Nr = Kecepatan motor induksi

$P_{\text{out}}$  = Daya keluaran motor induksi

$\omega$  = Kecepatan sudut putar

### 2.1.8. Daya Motor Induksi

Daya merupakan total energi listrik yang digunakan dalam operasi sistem tenaga listrik. Dalam sistem tenaga bolak-balik (AC), daya terdiri dari tiga jenis, yakni daya aktif yang disimbolkan sebagai (P) dan diukur dalam Watt (W), daya reaktif disimbolkan sebagai (Q) dengan ukuran volt ampere reactive (VAR), serta daya semu disimbolkan sebagai (S) dan diukur dalam volt ampere (VA) [8]

1. Daya aktif atau nyata merupakan hasil dari mengalikan daya semu dengan faktor daya, yang menghasilkan nilai yang dapat langsung digunakan. Perhitungan daya aktif dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$P = V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \phi \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:  
 P = Daya aktif (Watt)  
 V = Tegangan (V)  
 I = Arus (A)  
 Cos  $\phi$  = Faktor Daya

2. Daya reaktif merupakan jenis daya yang mengakibatkan kerugian energi atau mengurangi nilai faktor daya (Cos  $\phi$ ). Perhitungan daya reaktif dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (1 fasa)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (3 fasa)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:  
 Q = Daya reaktif (Var)  
 S = Daya semu (VA)  
 P = Daya nyata (W)

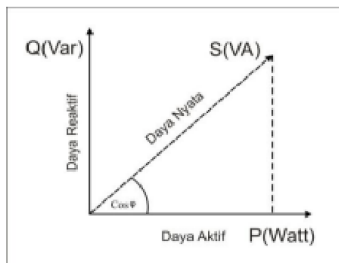
3. Daya semu atau apparent power merupakan daya yang dihitung dalam sistem listrik sebelum diberikan beban listrik. Daya semu (VA) dihitung berdasarkan hasil perkalian antara tegangan (V) dan arus (A). Perhitungan daya semua dirumuskan sebagai berikut.

$$S = V \times I \text{ (1 fasa)} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (3 fasa)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:  
 S = Daya semu (VA)  
 V = Tegangan (V)  
 I = Arus (A)

Korelasi antara daya tersebut digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 2.8 Korelasi antara daya aktif, reaktif dan semu [9]**

### 2.1.9. Faktor Daya Motor Induksi

Motor induksi menarik arus lagging terhadap tegangan liniernya. Faktor daya saat beban penuh untuk motor kecepatan tinggi dengan spesifikasi yang besar bisa mencapai 90% saat beban  $\frac{3}{4}$  full load, motor dengan kecepatan tinggi serta ukuran besar dapat mencapai faktor daya 92% dan faktor daya untuk kecepatan rendah ukuran kecil hanya mencapai 50% [8]

Daya yang lebih efisien terjadi saat daya nyata (P) hampir sama dengan daya semu (S), yang terjadi ketika  $\cos \phi$  mendekati 1. Kondisi faktor daya rendah menyebabkan arus beban meningkat, sehingga perbaikan faktor daya diperlukan untuk menyeimbangkan sifat kapasitif dan induktif dalam rangkaian. Gambar 2.10 menggambarkan hubungan antara faktor daya dan efisiensi.

Untuk menghitung daya keluaran motor induksi dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{out} = \tau \times \omega \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$\tau$  = Momen atau torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/t)

Untuk menghitung kecepatan sudut motor induksi dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega = 2\pi \times nr/60 \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

nr = Kecepatan putar rotor (rpm)

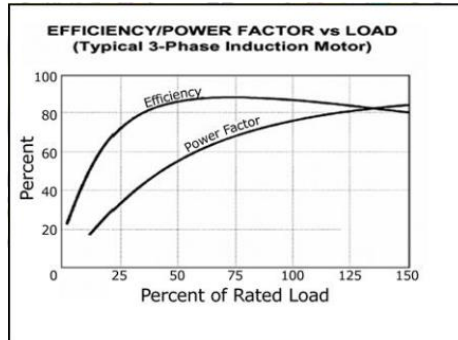
Untuk menghitung energi dirumuskan sebagai berikut.

$$W = P \times t \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

P = Daya (kW)

t = Waktu (H)



**Gambar 2.9 Faktor Daya dan Efisiensi**  
(Sumber: electromagneticworld.blogspot.com)

### 2.1.10. Starting Motor Induksi

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung, untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi seringkali di start dengan level tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya [10] Starting motor induksi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :

1. *Direct On Line (DOL)*
2. *Star – Delta (Y- $\Delta$ )*
3. *Autotransformer Starter*
4. *Soft Starter*
5. *Frequency Drive*

### 2.1.11. Pengaturan Putaran Motor Induksi

Secara umum, motor induksi biasanya berputar pada kecepatan hampir sama dengan kecepatan sinkronnya. Namun, untuk beberapa keperluan, diperlukan penyesuaian agar kecepatan motor induksi bisa diubah sesuai kebutuhan. Menyesuaikan motor induksi memerlukan biaya yang cukup besar. Hal ini umumnya dilakukan dengan berbagai metode seperti mengubah jumlah kutub

motor, mengubah frekuensi jala-jala, mengontrol tegangan jala-jala, dan mengatur tahanan eksternal [11]

**1. Mengubah Jumlah Kutub Motor**

Karena hubungan antara  $n_s$ , frekuensi ( $f$ ), dan jumlah kutub ( $p$ ) adalah  $n_s = 120f/p$ , maka perubahan dalam jumlah kutub atau frekuensi akan memengaruhi kecepatan putaran rotor. Untuk mengubah jumlah kutub, biasanya kumparan stator direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menerima tegangan masuk dari posisi kumparan yang berbeda-beda. Secara umum, peningkatan kecepatan sinkron dapat dicapai dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4.

**2. Mengubah Frekuensi Jala-Jala**

Kontrol kecepatan motor induksi bisa dilakukan dengan mengubah frekuensi tegangan. Namun, untuk menjaga keseimbangan medan magnetik, perubahan tegangan harus disesuaikan dengan perubahan frekuensi. Pengaturan ini dapat dikerjakan melalui penggunaan inverter, yang mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Dengan mengubah periode pulsa yang mengontrol thyristor, kecepatan motor dan frekuensinya bisa diatur sesuai kebutuhan.

**3. Mengatur Tegangan Jala – Jala**

Dari persamaan kopel motor induksi  $\tau \sim V_2$  diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Salah satu pengaturan tegangan adalah dengan menggunakan thyristor. Penyalaan thyristor dilakukan dengan perbedaan sudut fasa 120. Dengan mengatur sudut penyalaan terhadap perpotongan sumbu nol sedemikian rupa akan diperoleh pengaturan antara  $0 < V < V_{maks}$ .

**4. Mengatur Tahanan Luar**

Perubahan tahanan luar pada motor induksi rotor belitan bisa disesuaikan karena adanya slip ring. Melalui slip ring tersebut, tahanan luar terhubung dengan rotor, sehingga menghasilkan karakteristik kopel dan kecepatan yang beragam.

## 2.2. VSD

### 2.2.1. Pengertian VSD

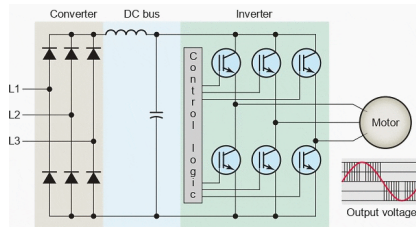
*Variable speed drive* atau *variabel frekuensi drive* adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor listrik AC dengan mengendalikan frekuensi arus listrik yang disediakan untuk motor. Popularitas *variabel frekuensi drive* meningkat karena kemampuannya dalam mengatur kecepatan motor induksi. VSD mengatur kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi sumber daya listrik ke nilai yang diinginkan, sehingga memungkinkan motor listrik

untuk menyesuaikan kecepatannya dengan cepat dan mudah sesuai dengan nilai yang diinginkan [12]

### 2.2.2. Prinsip Kerja VSD

Menurut Atmam (2018) Prinsip kerja VSD sebagai berikut.

1. Tegangan listrik dari sumber 50 Hz dialirkan melalui sebuah penyearah DC ke sebuah bank kapasitor untuk mengubahnya menjadi tegangan searah.
2. Tegangan searah kemudian disalurkan melalui suatu inverter yang menggunakan semi konduktor aktif seperti IGBT untuk mengubahnya kembali menjadi tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang diinginkan. Inverter ini dapat mengoperasikan frekuensi pembawa hingga 20 kHz, sehingga tegangan searah dapat diubah dan dimodulasi menjadi tegangan dan frekuensi yang diinginkan.



**Gambar 2.10 Prinsip Kerja VSD**  
(Sumber: electrical-engineering-portal.com)

## **Bab 3. Metodologi Penelitian**

### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

#### **3.1.1. Waktu Penelitian**

Pada penelitian ini penulis membagi menjadi 2 periode waktu yaitu :

1. Dimulai dari bulan agustus hingga oktober untuk observasi lalu melakukan pengambilan data hasil pengukuran.
2. Dimulai dari bulan november hingga desember untuk mengkaji, menganalisis data penelitian secara mendalam.

#### **3.1.2. Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di PT Bintang Alumina Indonesia yang beralamatkan Jln Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), Galang Batang, Kampung Galang Batang, Desa Gunung Kijang, Kec. Gunung Kijang, Kabupaten Bintang, Provinsi Kepulauan Riau. Pada Department Alumina, Divisi Kelistrikan Area Gedung Raw Material Tahap 2.

### **3.2. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan penulis dalam tugas akhir ini adalah deskriptif kuantitatif. yakni dengan melakukan observasi secara langsung di lapangan untuk mengumpulkan data yang akan diukur secara numerik berupa arus, tegangan, frekuensi dan rpm.

### **3.3. Teknik Pengumpulan Data**

Untuk mengumpulkan parameter data yang dibutuhkan, maka penulis melakukan metode berikut.

1. Studi literatur untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai prinsip-prinsip dasar terkait parameter yang akan di uji.
2. Observasi untuk mengamati secara langsung serta mencatat data parameter yang dibutuhkan.
3. Wawancara dengan pekerja di industry untuk mendapatkan wawasan terkait penggunaan alat serta parameter yang di uji.

### 3.4. Teknik Pengolahan Data

1. Membuat tabel pengambilan data pada waktu yang berbeda.
2. Menghitung kecepatan motor, jumlah kutub, torsi, daya, efisiensi, dan energi.
3. Membuat grafik perubahan, dan frekuensi, kecepatan, torsi dan daya.

### 3.5. Peralatan Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian ini akan diteliti dan diamati secara langsung oleh Penulis di PT Bintang Alumina Indonesia. Adapun beberapa alat yang digunakan untuk menguji proses dalam penelitian tugas akhir ini meliputi :

#### 1. Motor induksi 3 fasa

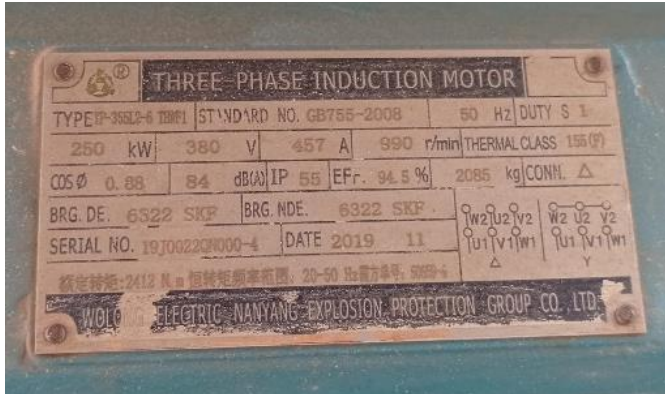
Motor induksi 3 fasa yang akan diteliti untuk keperluan pengumpulan data dalam penulisan tugas akhir adalah jenis motor squirrel cage yang digunakan untuk mengoperasikan pompa.



**Gambar 3.1 Motor Induksi 3 Fasa**  
(Sumber: PT Bintang Alumina Indonesia)

Berikut spesifikasi dari motor induksi 3 fasa yang akan diteliti:

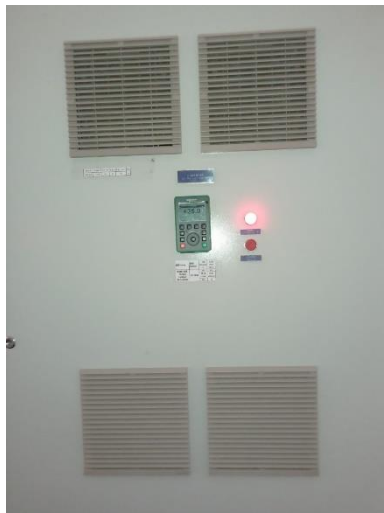
1. Daya : 250 kW
2. Frekuensi : 50 Hz
3. Kecepatan putaran : 990 rpm
4. Faktor daya : 0.88



**Gambar 3.2 Name Plate Motor Induksi 3 Fasa**  
(Sumber: PT Bintang Alumina Indonesia)

## 2. *Variable Speed Drive (VSD)*

VSD berfungsi sebagai pengontrol frekuensi yang dapat mengatur kecepatan motor sesuai kebutuhan. Berikut merupakan VSD yang digunakan PT Bintang Alumina Indonesia yang akan penulis teliti.

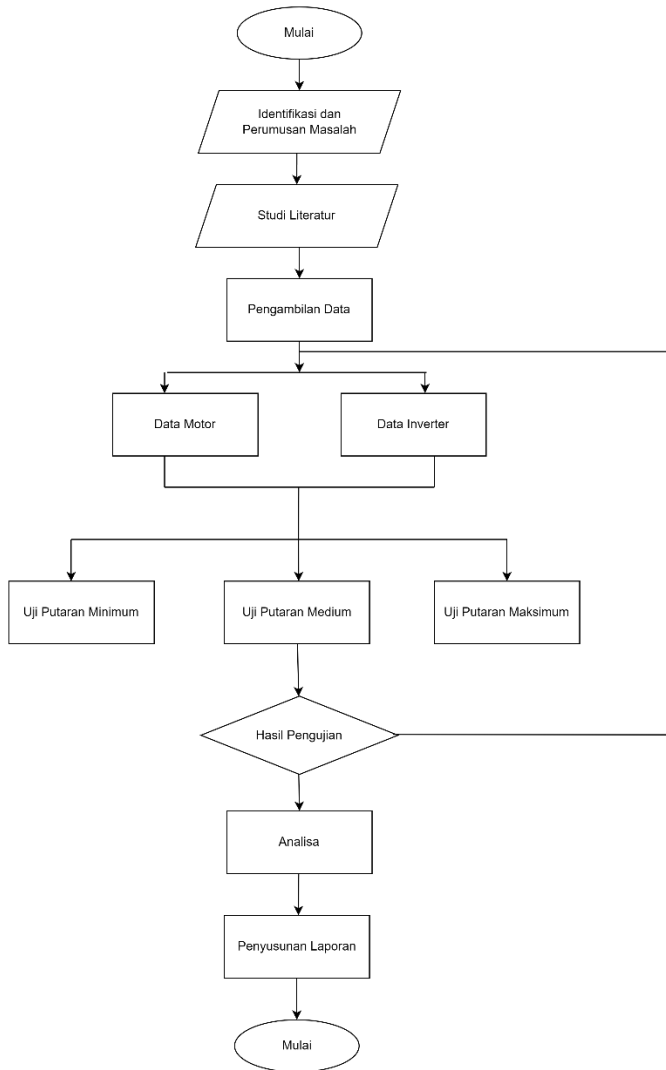


**Gambar 3.3 VSD Schneider Electric**  
(Sumber: PT Bintang Alumina Indonesia)



7. Setelah mencapai frekuensi yang diinginkan, lakukan pemeriksaan ulang terhadap parameter operasional untuk memastikan bahwa motor berfungsi secara optimal.

### 3.8. Prosedur Penelitian



**Gambar 3.5 Diagram Alir**

Penjelasan Diagram Alir:

1. Tahap awal penelitian melibatkan pencarian referensi dari jurnal ilmiah untuk panduan penulis.
2. Setelah itu, penulis melakukan pengamatan langsung di PT Bintang Alumina Indonesia dan menemukan sebuah motor induksi 3 fasa 250 KW yang dikendalikan oleh VSD.
3. Data dikumpulkan selama 5 hari dengan bantuan operator di lokasi.
4. Data yang dikumpulkan termasuk informasi yang tertera pada plakat nama motor dan VSD.
5. Dilakukan pengujian motor menggunakan VSD untuk mengatur kecepatan pada tiga level: putaran minimum, sedang, dan maksimum.
6. Kecepatan putaran (RPM) yang diamati di lapangan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk evaluasi.
7. Jika terdapat perbedaan yang signifikan antara data lapangan dan data perhitungan, pengujian akan diulang.
8. Namun, jika data tersebut cocok atau mendekati, proses analisis akan dilanjutkan.
9. Data hasil pengujian dianalisis untuk mencapai tujuan yang diinginkan.
10. Tahap terakhir adalah menyusun laporan Tugas Akhir berdasarkan kesimpulan dari penelitian tersebut.

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan survei yang dilakukan di PT Bintang Alumina Indonesia terhadap Motor Pompa induksi 3 Fasa Squirrel Cage 250 kW, di dapatkan data berikut.

### 4.1. Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengumpulan data selama dua minggu pada Motor Pompa Induksi 3 Fasa Squirrel Cage dengan daya 250 KW, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengamatan Motor

Tanggal	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Tegangan (V)	Nr (RPM)
02/10/2023	15	177	184	297
	20	174	206	396
	25	182	228	495
	30	188	250	594
	35	186	272	693
03/10/2023	15	174	185	297
	20	171	205	396
	25	183	230	495
	30	184	248	594
	35	185	271	693
04/10/2023	15	177	182	297
	20	173	205	396
	25	181	228	495
	30	185	249	594
	35	186	270	693
05/10/2023	15	175	185	297
	20	177	207	396
	25	183	227	495
	30	184	250	594
	35	188	271	693

06/10/2023	15	174	184	297
	20	171	203	396
	25	182	231	495
	30	184	249	594
	35	187	272	693
07/10/2023	15	174	182	297
	20	173	205	396
	25	182	228	495
	30	184	249	594
	35	187	270	693
08/10/2023	15	177	184	297
	20	171	205	396
	25	181	228	495
	30	184	248	594
	35	187	272	693
09/10/2023	15	175	185	297
	20	177	203	396
	25	182	230	495
	30	188	249	594
	35	186	272	693
10/10/2023	15	174	184	297
	20	173	206	396
	25	181	231	495
	30	185	250	594
	35	187	271	693
11/10/2023	15	174	182	297
	20	173	203	396
	25	182	228	495
	30	185	250	594

	35	188	270	693
12/10/2023	15	175	184	297
	20	177	205	396
	25	182	230	495
	30	188	250	594
	35	186	271	693
	13/10/2023	15	174	182
	20	173	203	396
	25	181	228	495
	30	185	249	594
	35	188	270	693
	14/10/2023	15	177	185
	20	171	206	396
	25	182	231	495
	30	185	249	594
	35	187	272	693
	15/10/2023	15	175	182
	20	173	206	396
	25	184	230	495
	30	188	250	594
	35	186	271	693

Hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata arus sebesar 181 Ampere dan tegangan sekitar 228 Volt, berdasarkan data uji yang telah dilakukan.

Data di atas berasal dari hasil penelitian lapangan, dimana penulis akan menghitung nilai Kecepatan Putaran (RPM) menggunakan rumus atau persamaan yang disebutkan dalam Persamaan 2.1.

- Perhitungan RPM pada frekuensi 15 Hz (data diambil pada tanggal 02 Oktober 2023)  
 $N_s = 120 \times f/p$   
 $N_s = 120 \times 15/6 = 300 \text{ RPM}$

- Perhitungan RPM pada frekuensi 20 Hz (data diambil pada tanggal 02 Oktober 2023)  
 $N_s = 120 \times f/p$   
 $N_s = 120 \times 20/6 = 400 \text{ RPM}$
- Perhitungan RPM pada frekuensi 25 Hz (data diambil pada tanggal 02 Oktober 2023)  
 $N_s = 120 \times f/p$   
 $N_s = 120 \times 25/6 = 500 \text{ RPM}$
- Perhitungan RPM pada frekuensi 30 Hz (data diambil pada tanggal 02 Oktober 2023)  
 $N_s = 120 \times f/p$   
 $N_s = 120 \times 30/6 = 600 \text{ RPM}$
- Perhitungan RPM pada frekuensi 35 Hz (data diambil pada tanggal 02 Oktober 2023)  
 $N_s = 120 \times f/p$   
 $N_s = 120 \times 35/6 = 700 \text{ RPM}$

Perhitungan serupa juga diterapkan pada data yang diperoleh pada tanggal 03 Oktober 2023 – 15 Oktober 2023. Dari hasil perhitungan, data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Putaran Motor

Tanggal	Frekuensi (Hz)	Arus (A)	Tegangan (V)	Nr (RPM)	Ns (RPM)
02/10/2023	15	177	184	297	300
	20	174	206	396	400
	25	182	228	495	500
	30	188	250	594	600
	35	186	272	693	700
03/10/2023	15	174	185	297	300
	20	171	205	396	400
	25	183	230	495	500
	30	184	248	594	600
	35	185	271	693	700
04/10/2023	15	177	182	297	300
	20	173	205	396	400
	25	181	228	495	500

	30	185	249	594	600
	35	186	270	693	700
05/10/2023	15	175	185	297	300
	20	177	207	396	400
	25	183	227	495	500
	30	184	250	594	600
	35	188	271	693	700
06/10/2023	15	174	184	297	300
	20	171	203	396	400
	25	182	231	495	500
	30	184	249	594	600
	35	187	272	693	700
07/10/2023	15	174	182	297	300
	20	173	205	396	400
	25	182	228	495	500
	30	184	249	594	600
	35	187	270	693	700
08/10/2023	15	177	184	297	300
	20	171	205	396	400
	25	181	228	495	500
	30	184	248	594	600
	35	187	272	693	700
09/10/2023	15	175	185	297	300
	20	177	203	396	400
	25	182	230	495	500
	30	188	249	594	600
	35	186	272	693	700
10/10/2023	15	174	184	297	300
	20	173	206	396	400

	25	181	231	495	500
	30	185	250	594	600
	35	187	271	693	700
11/10/2023	15	174	182	297	300
	20	173	203	396	400
	25	182	228	495	500
	30	185	250	594	600
	35	188	270	693	700
12/10/2023	15	175	184	297	300
	20	177	205	396	400
	25	182	230	495	500
	30	188	250	594	600
	35	186	271	693	700
13/10/2023	15	174	182	297	300
	20	173	203	396	400
	25	181	228	495	500
	30	185	249	594	600
	35	188	270	693	700
14/10/2023	15	177	185	297	300
	20	171	206	396	400
	25	182	231	495	500
	30	185	249	594	600
	35	187	272	693	700
15/10/2023	15	175	182	297	300
	20	173	206	396	400
	25	184	230	495	500
	30	188	250	594	600
	35	186	271	693	700

Berdasarkan tabel yang telah disajikan diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai RPM yang tercatat selama pengamatan lapangan sesuai dengan nilai RPM yang dihitung secara matematis.

Metode dan perhitungan untuk menentukan nilai daya input pada putaran minimum, setengah, dan maksimum. (data diperoleh melalui pengujian pada tanggal 02 Oktober 2023).

- Perhitungan Daya Input Putaran Minimum (Persamaan 2.8)  

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

$$P_{in} = 1,73 \times 184 \times 177 \times 0,88$$

$$P_{in} = 49.58 \text{ kW} = 66.49 \text{ HP}$$
- Perhitungan Daya Input Putaran Menengah (Persamaan 2.8)  

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

$$P_{in} = 1,73 \times 228 \times 182 \times 0,88$$

$$P_{in} = 63.17 \text{ kW} = 84.72 \text{ HP}$$
- Perhitungan Daya Input Putaran Maksimum (Persamaan 2.8)  

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

$$P_{in} = 1,73 \times 272 \times 186 \times 0,88$$

$$P_{in} = 77.02 \text{ kW} = 103.29 \text{ HP}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh data daya input pada setiap putaran sebagai berikut.

Tabel 4.3 Daya Input dalam kilowatt (kW) dan horse power (HP)

Tanggal	Frekuensi (Hz)	Pin (kW)	Pin (HP)	Nr (RPM)
02/10/2023	15	49,58	66,49	297
	20	54,57	73,18	396
	25	63,17	84,72	495
	30	71,55	95,95	594
	35	77,02	103,29	693
03/10/2023	15	49	65,72	297
	20	53,37	71,57	396
	25	64,08	85,93	495
	30	69,47	93,16	594
	35	76,33	102,35	693
04/10/2023	15	49,04	65,77	297
	20	53,99	72,4	396

	25	62,83	84,25	495
	30	70,13	94,04	594
	35	76,45	102,53	693
05/10/2023	15	49,29	66,1	297
	20	55,78	74,8	396
	25	63,24	84,81	495
	30	70,03	93,91	594
	35	77,56	104,01	693
06/10/2023	15	48,74	65,36	297
	20	52,85	70,87	396
	25	64	85,83	495
	30	69,75	93,54	594
	35	77,43	103,84	693
07/10/2023	15	48,21	64,65	297
	20	53,99	72,4	396
	25	63,17	84,72	495
	30	69,75	93,54	594
	35	76,87	103,08	693
08/10/2023	15	49,58	66,49	297
	20	53,37	71,57	396
	25	62,83	84,25	495
	30	69,47	93,16	594
	35	77,43	103,84	693
09/10/2023	15	49,29	66,1	297
	20	54,7	73,36	396
	25	63,73	85,46	495
	30	71,27	95,57	594
	35	77,02	103,29	693
10/10/2023	15	48,74	65,36	297

	20	54,25	72,76	396
	25	63,65	85,36	495
	30	70,41	94,42	594
	35	77,15	103,46	693
11/10/2023	15	48,21	64,65	297
	20	53,46	71,7	396
	25	63,17	84,72	495
	30	70,41	94,42	594
	35	77,28	103,63	693
12/10/2023	15	49,02	65,74	297
	20	55,24	74,08	396
	25	63,73	85,46	495
	30	71,55	95,95	594
	35	76,74	102,91	693
13/10/2023	15	48,21	64,65	297
	20	53,46	71,7	396
	25	62,83	84,25	495
	30	70,13	94,04	594
	35	77,28	103,63	693
14/10/2023	15	49,85	66,85	297
	20	53,63	71,92	396
	25	64	85,83	495
	30	70,13	94,04	594
	35	77,43	103,84	693
15/10/2023	15	48,49	65,02	297
	20	54,25	72,76	396
	25	64,43	86,4	495
	30	71,55	95,95	594
	35	76,74	102,91	693

Setelah memperoleh data daya input untuk setiap putaran, langkah selanjutnya adalah mencari nilai torsi pada putaran minimum, tengah, dan maksimum. (Data ini diperoleh melalui pengujian yang dilakukan pada tanggal 02 Oktober 2023) :

- Perhitungan Torsi Putaran Minimum (Persamaan 2.4)
 
$$\tau = HP \times 5252 / n$$

$$\tau = 66,49 \times 5252 / 297$$

$$\tau = 1.176 \text{ Nm}$$
- Perhitungan Torsi Putaran Menengah (Persamaan 2.4)
 
$$\tau = HP \times 5252 / n$$

$$\tau = 84,72 \times 5252 / 495$$

$$\tau = 899 \text{ Nm}$$
- Perhitungan Torsi Putaran Maksimum (Persamaan 2.4)
 
$$\tau = HP \times 5252 / n$$

$$\tau = 103,29 \times 5252 / 693$$

$$\tau = 783 \text{ Nm}$$

Langkah berikutnya adalah menemukan daya output pada putaran minimum, menengah, dan maksimum yang dihasilkan oleh motor (data diperoleh melalui pengujian pada 02 Oktober 2022).

- Perhitungan Daya Output Putaran Minimum (Persamaan 2.13)
 
$$P_{out} = \tau \times \omega$$

$$P_{out} = \tau \times 2\pi \times nr / 60$$

$$P_{out} = 1.176 \times 2 \times 3,14 \times 297 / 60$$

$$P_{out} = 36,55 \text{ kW}$$
- Perhitungan Daya Output Putaran Menengah (Persamaan 2.13)
 
$$P_{out} = \tau \times \omega$$

$$P_{out} = \tau \times 2\pi \times nr / 60$$

$$P_{out} = 899 \times 2 \times 3,14 \times 495 / 60$$

$$P_{out} = 46,57 \text{ kW}$$
- Perhitungan Daya Output Putaran Maksimum (Persamaan 2.13)
 
$$P_{out} = \tau \times \omega$$

$$P_{out} = \tau \times 2\pi \times nr / 60$$

$$P_{out} = 783 \times 2 \times 3,14 \times 693 / 60$$

$$P_{out} = 56,78 \text{ kW}$$

Penggunaan motor pompa sebesar 250 kW mencapai rata – rata 24 jam per hari. (Data energi yang digunakan diambil dari pengujian pada tanggal 02 Oktober 2023)

- Perhitungan Energi Output Putaran Minimum (Persamaan 2.15)
 
$$W = P \times t$$

$$W = 36,55 \text{ kW} \times 24 \text{ H}$$

W = 877 kWh

- Perhitungan Energi Output Putaran Menengah (Persamaan 2.15)

$W = P \times t$

W = 46,57 kW x 24 H

W = 1118 kWh

- Perhitungan Energi Output Putaran Maksimum (Persamaan 2.15)

$W = P \times t$

W = 56,78 kW x 24 H

W = 1363 kWh

Tabel 4.4 Data Penggunaan Energi

Tanggal	Frekuensi (Hz)	Pout (kW)	Waktu (Hours)	Energi (kWh)
02/10/2023	15	36,55	24	877
	20	40,23	24	966
	25	46,57	24	1118
	30	52,74	24	1266
	35	56,78	24	1363
	03/10/2023	15	36,13	24
	20	39,34	24	944
	25	47,24	24	1134
	30	51,21	24	1229
	35	56,26	24	1350
04/10/2023	15	36,15	24	868
	20	39,8	24	955
	25	46,31	24	1111
	30	51,69	24	1241
	35	56,36	24	1353
05/10/2023	15	36,34	24	872
	20	41,12	24	987
	25	46,62	24	1119
	30	51,62	24	1239
	35	57,17	24	1372

06/10/2023	15	35,93	24	862
	20	38,96	24	935
	25	47,18	24	1132
	30	51,42	24	1234
	35	57,08	24	1370
07/10/2023	15	35,54	24	853
	20	39,8	24	955
	25	46,57	24	1118
	30	51,42	24	1234
	35	56,66	24	1360
08/10/2023	15	36,55	24	877
	20	39,34	24	944
	25	46,31	24	1111
	30	51,21	24	1229
	35	57,08	24	1370
09/10/2023	15	36,34	24	872
	20	40,33	24	968
	25	46,98	24	1128
	30	52,54	24	1261
	35	56,78	24	1363
10/10/2023	15	35,93	24	862
	20	40	24	960
	25	46,92	24	1126
	30	51,9	24	1246
	35	56,87	24	1365
11/10/2023	15	35,54	24	853
	20	39,41	24	946
	25	46,57	24	1118
	30	51,9	24	1246

	35	56,97	24	1367
12/10/2023	15	36,14	24	867
	20	40,72	24	977
	25	46,98	24	1128
	30	52,74	24	1266
	35	56,57	24	1358
13/10/2023	15	35,54	24	853
	20	39,41	24	946
	25	46,31	24	1111
	30	51,69	24	1241
	35	56,97	24	1367
14/10/2023	15	36,75	24	882
	20	39,53	24	949
	25	47,18	24	1132
	30	51,69	24	1241
	35	57,08	24	1370
15/10/2023	15	35,74	24	858
	20	40	24	960
	25	47,49	24	1140
	30	52,74	24	1266
	35	56,57	24	1358

Setelah memperoleh data daya input dan daya output, langkah terakhir adalah menentukan efisiensi pada setiap putaran minimum, menengah, dan maksimum dengan menggunakan hasil pengujian pada tanggal 02 oktober 2023.

- Efisiensi Pada Putaran Minimum (Persamaan 2.3)  
 $\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\%$   
 $\eta = 36,55 / 49,58 \times 100\%$   
 $\eta = 73,72\%$
- Efisiensi Pada Putaran Menengah (Persamaan 2.3)  
 $\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\%$   
 $\eta = 46,57 / 63,17 \times 100\%$   
 $\eta = 73,72\%$

- Efisiensi Pada Putaran Maksimum (Persamaan 2.3)

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

$$\eta = 56,78 / 77,02 \times 100\%$$

$$\eta = 73,72\%$$

Berdasarkan analisis data lapangan, hasil perhitungan menunjukkan Daya Output dan Efisiensi motor pada setiap putaran, sebagaimana tercatat dalam tabel.

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan

Tanggal	Frekuensi (Hz)	Ns (RPM)	Nr (RPM)	Arus (A)	Tegangan (V)	Pin (kW)	Pin (HP)	Torsi	Pout (kW)	Efisiensi %
02/10/2023	15	300	297	177	184	49,58	66,49	1176	36,55	73,72
	20	400	396	174	206	54,57	73,18	971	40,23	73,72
	25	500	495	182	228	63,17	84,72	899	46,57	73,72
	30	600	594	188	250	71,55	95,95	848	52,74	73,71
	35	700	693	186	272	77,02	103,29	783	56,78	73,72
03/10/2023	15	300	297	174	185	49	65,72	1162	36,13	73,73
	20	400	396	171	205	53,37	71,57	949	39,34	73,71
	25	500	495	183	230	64,08	85,93	912	47,24	73,72
	30	600	594	184	248	69,47	93,16	824	51,21	73,72
	35	700	693	185	271	76,33	102,35	776	56,26	73,71
04/10/2023	15	300	297	177	182	49,04	65,77	1163	36,15	73,72
	20	400	396	173	205	53,99	72,4	960	39,8	73,72
	25	500	495	181	228	62,83	84,25	894	46,31	73,71
	30	600	594	185	249	70,13	94,04	831	51,69	73,71
	35	700	693	186	270	76,45	102,53	777	56,36	73,72
05/10/2023	15	300	297	175	185	49,29	66,1	1169	36,34	73,73
	20	400	396	177	207	55,78	74,8	992	41,12	73,72
	25	500	495	183	227	63,24	84,81	900	46,62	73,72
	30	600	594	184	250	70,03	93,91	830	51,62	73,71
	35	700	693	188	271	77,56	104,01	788	57,17	73,71
06/10/2023	15	300	297	174	184	48,74	65,36	1156	35,93	73,72
	20	400	396	171	203	52,85	70,87	940	38,96	73,72

	25	500	495	182	231	64	85,83	911	47,18	73,72
	30	600	594	184	249	69,75	93,54	827	51,42	73,72
	35	700	693	187	272	77,43	103,84	787	57,08	73,72
07/10/2023	15	300	297	174	182	48,21	64,65	1143	35,54	73,72
	20	400	396	173	205	53,99	72,4	960	39,8	73,72
	25	500	495	182	228	63,17	84,72	899	46,57	73,72
	30	600	594	184	249	69,75	93,54	827	51,42	73,72
	35	700	693	187	270	76,87	103,08	781	56,66	73,71
08/10/2023	15	300	297	177	184	49,58	66,49	1176	36,55	73,72
	20	400	396	171	205	53,37	71,57	949	39,34	73,71
	25	500	495	181	228	62,83	84,25	894	46,31	73,71
	30	600	594	184	248	69,47	93,16	824	51,21	73,72
	35	700	693	187	272	77,43	103,84	787	57,08	73,72
09/10/2023	15	300	297	175	185	49,29	66,1	1169	36,34	73,73
	20	400	396	177	203	54,7	73,36	973	40,33	73,73
	25	500	495	182	230	63,73	85,46	907	46,98	73,72
	30	600	594	188	249	71,27	95,57	845	52,54	73,72
	35	700	693	186	272	77,02	103,29	783	56,78	73,72
10/10/2023	15	300	297	174	184	48,74	65,36	1156	35,93	73,72
	20	400	396	173	206	54,25	72,76	965	40	73,73
	25	500	495	181	231	63,65	85,36	906	46,92	73,72
	30	600	594	185	250	70,41	94,42	835	51,9	73,71
	35	700	693	187	271	77,15	103,46	784	56,87	73,71
11/10/2023	15	300	297	174	182	48,21	64,65	1143	35,54	73,72
	20	400	396	173	203	53,46	71,7	951	39,41	73,72
	25	500	495	182	228	63,17	84,72	899	46,57	73,72
	30	600	594	185	250	70,41	94,42	835	51,9	73,71
	35	700	693	188	270	77,28	103,63	785	56,97	73,72
12/10/2023	15	300	297	175	184	49,02	65,74	1163	36,14	73,73

	20	400	396	177	205	55,24	74,08	982	40,72	73,71
	25	500	495	182	230	63,73	85,46	907	46,98	73,72
	30	600	594	188	250	71,55	95,95	848	52,74	73,71
	35	700	693	186	271	76,74	102,91	780	56,57	73,72
13/10/ 2023	15	300	297	174	182	48,21	64,65	1143	35,54	73,72
	20	400	396	173	203	53,46	71,7	951	39,41	73,72
	25	500	495	181	228	62,83	84,25	894	46,31	73,71
	30	600	594	185	249	70,13	94,04	831	51,69	73,71
	35	700	693	188	270	77,28	103,63	785	56,97	73,72
14/10/ 2023	15	300	297	177	185	49,85	66,85	1182	36,75	73,72
	20	400	396	171	206	53,63	71,92	954	39,53	73,71
	25	500	495	182	231	64	85,83	911	47,18	73,72
	30	600	594	185	249	70,13	94,04	831	51,69	73,71
	35	700	693	187	272	77,43	103,84	787	57,08	73,72
15/10/ 2023	15	300	297	175	182	48,49	65,02	1150	35,74	73,71
	20	400	396	173	206	54,25	72,76	965	40	73,73
	25	500	495	184	230	64,43	86,4	917	47,49	73,71
	30	600	594	188	250	71,55	95,95	848	52,74	73,71
	35	700	693	186	271	76,74	102,91	780	56,57	73,72

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan selama empat hari pengambilan data yang tertera pada tabel 4.5, ditemukan bahwa saat frekuensi dinaikkan dari 15 HZ hingga 35 HZ, terjadi kenaikan nilai kecepatan putaran. Nilai kenaikan tersebut diukur dengan persentase rata-rata seperti berikut. (Data pada tanggal 02 Oktober 2023).

- Frekuensi 15 Hz ke 20 Hz  

$$= \text{RPM } 20 - \text{RPM } 15 / \text{RPM } 20 \times 100\%$$

$$= 396 - 297 / 396 \times 100\%$$

$$= 25\%$$
- Frekuensi 20 Hz ke 25 Hz  

$$= \text{RPM } 25 - \text{RPM } 20 / \text{RPM } 25 \times 100\%$$

$$= 495 - 396 / 495 \times 100\%$$

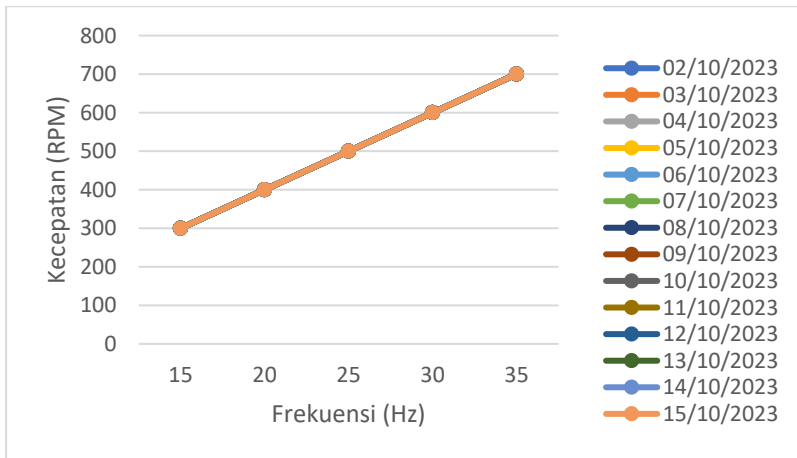
$$= 25\%$$

- Frekuensi 25 Hz ke 30 Hz  
 =  $\text{RPM } 30 - \text{RPM } 25 / \text{RPM } 30 \times 100\%$   
 =  $594 - 495 / 594 \times 100\%$   
 = 25%
- Frekuensi 30 Hz ke 35 Hz  
 =  $\text{RPM } 35 - \text{RPM } 30 / \text{RPM } 35 \times 100\%$   
 =  $693 - 594 / 693 \times 100\%$   
 = 25%

Dari data yang diberikan, dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan persentase rpm motor pompa sebesar 25% setiap kali frekuensinya naik sebesar 5 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan frekuensi menyebabkan kenaikan yang konsisten pada rpm motor.

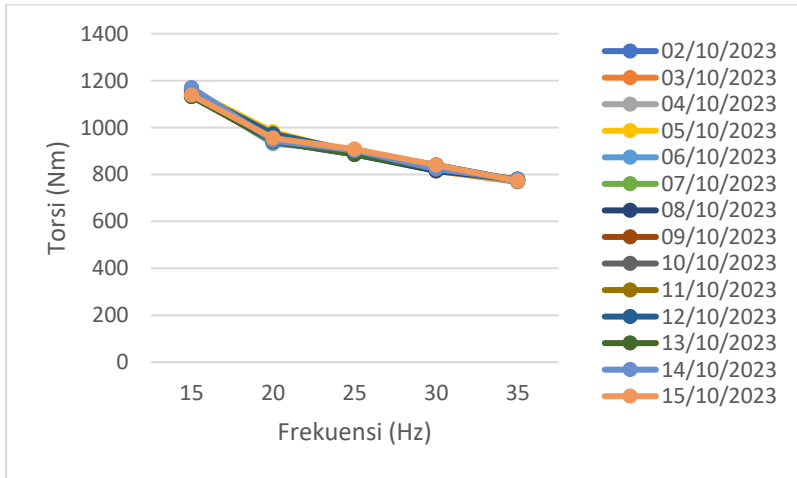
## 4.2. Grafik

### 4.2.1. Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan



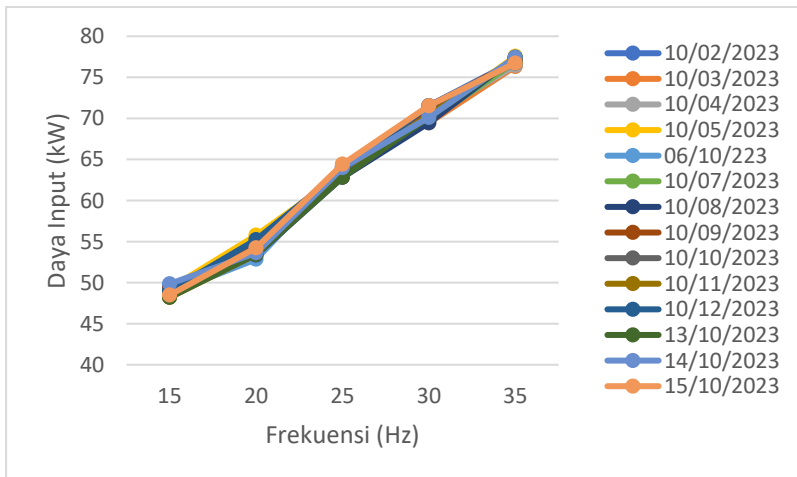
Gambar 4.1 Grafik Frekuensi Terhadap Kecepatan

#### 4.2.2. Grafik Frekuensi Terhadap Torsi



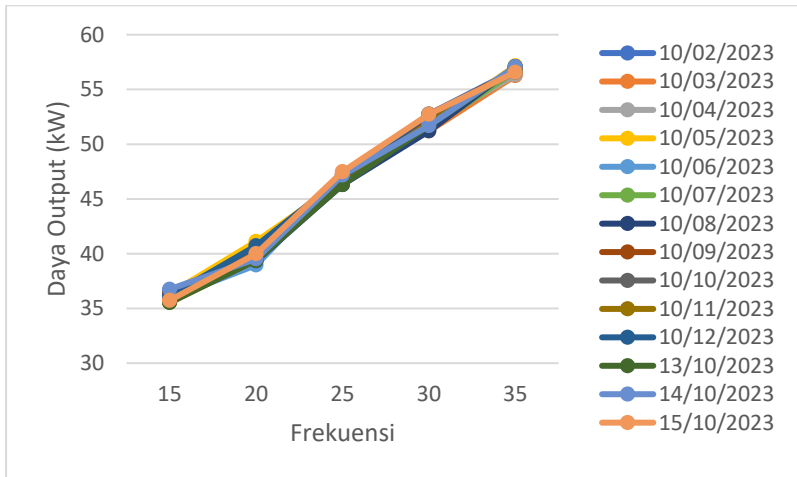
Gambar 4.2 Grafik Frekuensi Terhadap Torsi

#### 4.2.3. Grafik Frekuensi Terhadap Daya Input



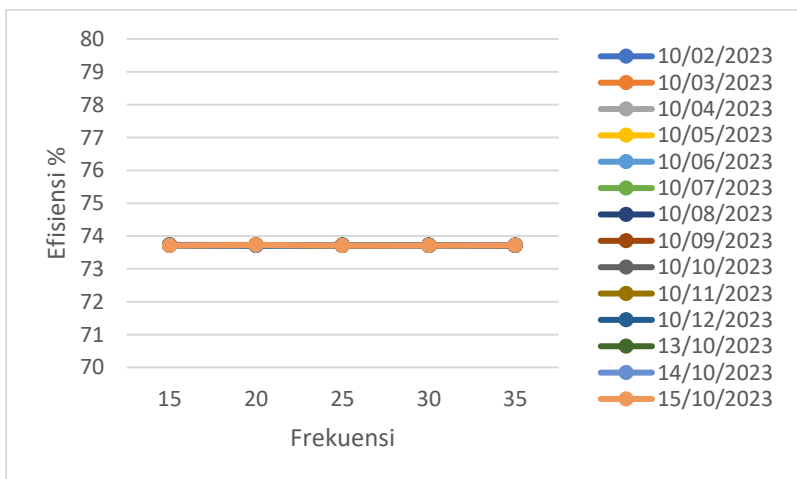
Gambar 4.3 Grafik Frekuensi Terhadap Daya Input

#### 4.2.4. Grafik Frekuensi Terhadap Daya Output



Gambar 4.4 Grafik Frekuensi Terhadap Daya Output

#### 4.2.5. Grafik Frekuensi Terhadap Efisiensi



Gambar 4.5 Grafik Frekuensi Terhadap Efisiensi

Dari hasil grafik perbandingan diatas menunjukkan bahwa :

1. Dalam data grafik 4.1 terdapat hubungan antara frekuensi dan kecepatan putar (RPM) pada rentang tanggal 2 – 15 oktober 2023. Terdapat pola kenaikan yang linier antara frekuensi dan kecepatan putar. Semakin tinggi frekuensi maka semakin tinggi kecepatan putarnya. Terlihat pula rasio kenaikan yang tetap. Contohnya, setiap kenaikan 5 Hz menghasilkan kenaikan kecepatan putar sebesar 100 rpm (15 Hz = 297 rpm, 20 Hz = 396 rpm, dst).
2. Berdasarkan grafik 4.2 terlihat bahwa terdapat hubungan antara frekuensi dan torsi motor. Dimana semakin tinggi frekuensi, semakin tinggi pula torsi yang dihasilkan oleh motor pompa. Sebagai contoh, pada tanggal 2 oktober 2023, ketika frekuensi naik dari 15 Hz ke 35 Hz, torsi meningkat dari 1176 Nm menjadi 783 Nm.
3. Pada grafik 4.3 menunjukkan adanya pola kenaikan daya saat peningkatan frekuensi. Pada tanggal 5 oktober 2023, terlihat lonjakan signifikan dalam daya pada frekuensi 20 Hz, mencapai 55,78 kW. Seiring waktu, frekuensi 25 Hz juga menunjukkan kecenderungan dalam peningkatan daya. Data tanggal 15 oktober 2023 menunjukkan kenaikan daya pada semua frekuensi, terutama pada frekuensi 25 Hz dan 30 Hz. Secara umum, semakin tinggi frekuensi maka semakin tinggi daya yang dikonsumsi oleh motor.
4. Dari grafik 4.4 terlihat bahwa daya output cenderung meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi. Pada tanggal 2 oktober 2023, daya output di frekuensi 15 Hz sampai 35 Hz mengalami peningkatan dari 36,55 kW menjadi 56,78 kW. Pada tanggal 15 oktober 2023, terjadi peningkatan signifikan dari 35,74 kW pada 15 Hz menjadi 56,57 kW di 35 Hz. Hal tersebut menunjukkan kinerja yang stabil dan efisien pada berbagai frekuensi.
5. Berdasarkan data grafik 4.5 terlihat bahwa efisiensi motor cenderung stabil dalam rentang 73,71% hingga 73,73%. Rendahnya nilai efisiensi tersebut dapat disebabkan karna adanya variasi frekuensi, perubahan beban pada motor yang tidak stabil serta kondisi operasional yang tidak optimal seperti suhu, kelembaban, umur motor dan kondisi lingkungan.

## **Bab 5. Kesimpulan dan Saran**

### **5.1. Kesimpulan**

1. Perubahan frekuensi berpengaruh pada peningkatan tegangan, dan kecepatan. Pada uji putaran minimum, yang dilakukan pada tanggal 2 Oktober 2023, frekuensi sebesar 15 Hz menghasilkan tegangan 184 Volt dan kecepatan 297 rpm. Pada uji putaran menengah dengan frekuensi 25 Hz, terjadi peningkatan tegangan menjadi 228 Volt dan kecepatan mencapai 495 rpm. Sementara pada uji putaran maksimum dengan frekuensi 35 Hz, tegangan meningkat menjadi 272 Volt serta kecepatan mencapai 693 rpm.
2. Perubahan frekuensi pada motor induksi dapat memengaruhi besar torsi yang dihasilkan untuk menggerakkan suatu beban, seperti yang terlihat dalam Tabel 4.5 (data per tanggal 2 Oktober). Pada pengujian minimum, torsi motor mencapai 1176 Nm dengan frekuensi 15 Hz. Pada pengujian menengah, frekuensi 25 Hz menghasilkan torsi sebesar 899 Nm, sementara pada pengujian maksimum, frekuensi 35 Hz menghasilkan torsi sebesar 783 Nm. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa frekuensi yang diberikan ke motor induksi memiliki hubungan terbalik dengan nilai torsi yang dihasilkan.
3. Perubahan frekuensi pada motor induksi dapat mempengaruhi besaran daya output dan daya input yang dihasilkan oleh motor tersebut. Seperti yang tergambar dalam tabel 4.5, ketika frekuensi meningkat, terjadi peningkatan pada nilai daya output dan daya input. Hal ini disebabkan oleh pengaruh frekuensi terhadap tegangan dan arus, yang turut memengaruhi besaran daya output dan daya input.
4. Perubahan frekuensi pada motor induksi memiliki potensi untuk memengaruhi efisiensi motor. Dalam tabel 4.5, terlihat bahwa efisiensi rata-rata motor induksi sebesar 73,72%. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti umur motor, lama penggunaan, frekuensi masukan, dan beban pada motor. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa frekuensi yang diberikan ke motor induksi dapat berdampak pada efisiensi motor tersebut.

### **5.2. Saran**

1. Perlu dilakukan pemeliharaan pada motor induksi karena efisiensi yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan angka di bawah 80%. Hal ini bertujuan untuk menjaga kinerja optimal dan mencegah potensi masalah pada motor tersebut.

2. Perlu analisis lebih lanjut terhadap faktor-faktor lain yang mungkin memengaruhi kinerja motor induksi, seperti suhu, beban bekerja, atau kondisi lingkungan.

## Daftar Pustaka

- [1] E. A. Nugroho, "IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI VARIABLE SPEED DRIVE PADA INVERTER 3 FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROL AT89S52," *Jurnal SIMETRIS*, vol. 9, no. 1, 2018.
- [2] N. Evalina, "Penggunaan Inverter 3G3MX2 Untuk Merubah Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa," 2019.
- [3] S. Nuari and E. Zondra, "ANALISIS STARTING MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [4] E. Zuriman Anthony, *MOTOR INDUKSI ITP PRESS*. Sumatera Barat, indonesia: ITP Press, 2019.
- [5] R. Gianto, A. Hiendro, and P. Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro, "EVALUASI KINERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA 100 HP / 75 KW PADA PANEL STAR-DELTA DI PDAM TIRTA RAYA ADI SUCIPTO KUBU RAYA."
- [6] R. Ghazali, "METODE PERHITUNGAN EFISIENSI MOTOR INDUKSI YANG SEDANG BEROPERASI," Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok.
- [7] R. Harahap and Sujianda Nofriadi, "Analisa Perbandingan Efisiensi Dan Torsi Dengan Menggunakan Metode Penyadapan Sejajar Terhadap Metode Pergeseran Sikat Pada Motor Arus Searah Kompon Pendek Dengan Kutub Bantu," *Journal of Electrical Technology*, vol. 4, Oct. 2019.
- [8] J. Teknik and E. Fakultas Teknik, "TUGAS AKHIR ANALISIS EFISIENSI MOTOR INDUKSI TIGA FASA PADA KIPAS SENTRIFUGAL DI PT. KIMIA FARMA TBK. PLANT SEMARANG Disusun dalam Memenuhi Syarat guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S1)."
- [9] R. Sulistyowati, D. Dwi, F. Jurusan, and T. Elektro, "PERANCANGAN PROTOTYPE SISTEM KONTROL DAN MONITORING PEMBATAS DAYA LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER."
- [10] S. W. N. Ujang Wiharja, "Analisis Efisiensi Daya Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Soft Starter Pada Reciprocating Compressor".
- [11] Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.
- [12] A. Tanjung, "ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN VARIABLE SPEED DRIVE (VSD)," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.

## Biodata



Nama : Anastasya Febriliana Sari Nuryanti  
TTL : Batam, 16 Februari 2001  
Agama : Islam  
Alamat : Batuaji Permai Kav. Lama Blok E 50  
Email : [anastasyaaafbr@gmail.com](mailto:anastasyaaafbr@gmail.com)

### Riwayat Pendidikan:

1. SMKN 1 BATAM
2. SMPN 21 BATAM
3. SDN 010 SAGULUNG

# Lampiran

Lampiran 1. Pengaturan VSD







Lampiran 2. Parameter VSD

