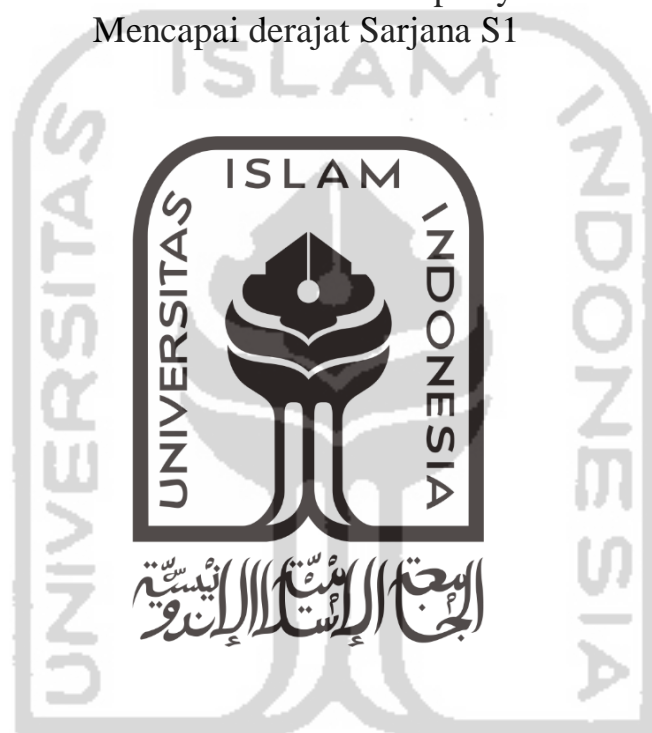


**ANALISIS PENGHEMATAN DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN  
INVERTER *VFD/VARIABLE FREQUENCY DRIVE* PADA SAAT  
*STARTING* AWAL ELEKTROMOTOR PENGGERAK *ID Fan*  
PADA *BOILER* 40 Ton /Jam DI PABRIK PENGOLAHAN  
KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi salah satu persyaratan  
Mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Rudyan Duliar Muhammad**

**16524042**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**2020**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS PENGHEMATAN DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN INVERTER *VFD/VARIABLE FREQUENCY DRIVE* PADA SAAT *STARTING* AWAL ELEKTROMOTOR PENGGERAK *ID Fan* PADA *BOILER* 40 Ton /Jam DI PABRIK PENGOLAHAN KELAPA SAWIT

### TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

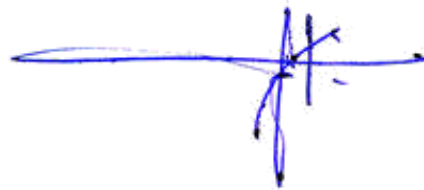
Disusun oleh:

Rudyan Duliar Muhammad

16524042

Yogyakarta, 14 September 2020

Menyetujui,  
Pembimbing 1



Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng.

015240101

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**ANALISIS PENGHEMATAN DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN  
INVERTER VFD/VARIABLE FREQUENCY DRIVE PADA SAAT  
STARTING AWAL ELEKTROMOTOR PENGGERAK ID Fan PADA  
BOILER 40 Ton /Jam DI PABRIK PENGOLAHAN KELAPA SAWIT  
TUGAS AKHIR**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : Rudyan Duliar Muhammad  
NIM : 16524042

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Sebagai Salah Satu Syarat untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

19 Agustus 2020

**Susunan dewan penguji**

Ketua Penguji :   
Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng. :  
Anggota Penguji 1:   
Firdaus, S.T., M.T., Ph.D. :  
Anggota Penguji 2:   
Dzata Farahiyah, S.T., M.Sc. :

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 8 September 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Yusuf Aziz Anwarullah, S.T., M.Sc., Ph.D**

045240101

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang sepengetahuan Saya juga tidak mengandung karya ataupun pendapat yang telah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual dan hak paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan di diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak yang sudah disebutkan sebelumnya.

Yogyakarta, 16 Agustus 2020



Rudyan Duliar Muhammad

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah segala Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah S.W.T, karena atas berkat dan kuasa-Nya serta limpahan rahmatnya lah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi “Analisis Penghematan Daya Listrik Menggunakan Inverter *VFD/Variable Frequency Drive* Pada Saat *Starting* Awal Elektromotor Penggerak *ID Fan* Pada *Boiler* 40 Ton /Jam di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit” dengan baik. Tak lupa pula shalawat beserta salam penulis kirimkan kepada junjungan kita, yaitu Nabi Muhammad SAW, semoga mendapatkan safa’atnya kelak di yaumil akhir.

Tugas Akhir ini wajib ditempuh oleh mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang merupakan persyaratan wajib untuk memperoleh gelar sarjana teknik program S-1 di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Laporan Skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan segala hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua penulis yang telah memberi dukungan moral dan materil.
2. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Medilla Kusriyanto, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia dan Dosen Pembimbing pertama yang telah memberikan bantuan serta pengarahan sehingga Laporan Skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Para Dosen dan Karyawan program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Machrodi selaku Factory Manager PT. Salim Ivomas Pratama Tbk Area Perkebunan Kayangan yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian dan pengambilan data di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Area Kayangan.
6. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia angkatan 2016.
7. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan dalam menyelesaikan Laporan Skripsi ini.

*Wassalamu'alaikumwr.wb*

Yogyakarta, 16 Agustus 2020

Rudyar Duliar Muhammad



## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Arti Singkatan
SLD	Single Line Diagram
VFD	Variable Frequency Drive
IDF	Induced Draft Fan
MCC	Motor Control Center
CB	Circuit Breaker
ETAP	Electrical Transient Analysis Program
CT	Current Transformer
LV	Low Voltage
CPO	Crude Palm Oil
LRC	Loked Rotor Current
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PWM	Pulse Width Modulation
TBS	Tandan Buah Segar
FLA	Full Load Ampere
V	Volt
A	Ampere

kWH	Kilo Watt/Hour
Variable Speed Drive	VSD





# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Studi Literatur.....	4
2.2 Tinjauan Teori.....	7
2.2.1 Motor Induksi.....	7
2.2.2 Teori Motor <i>Starting</i> .....	8
2.2.3 Autotransformator.....	9
2.2.4 Metode Motor <i>Starting Dengan</i> Autotransformator.....	10

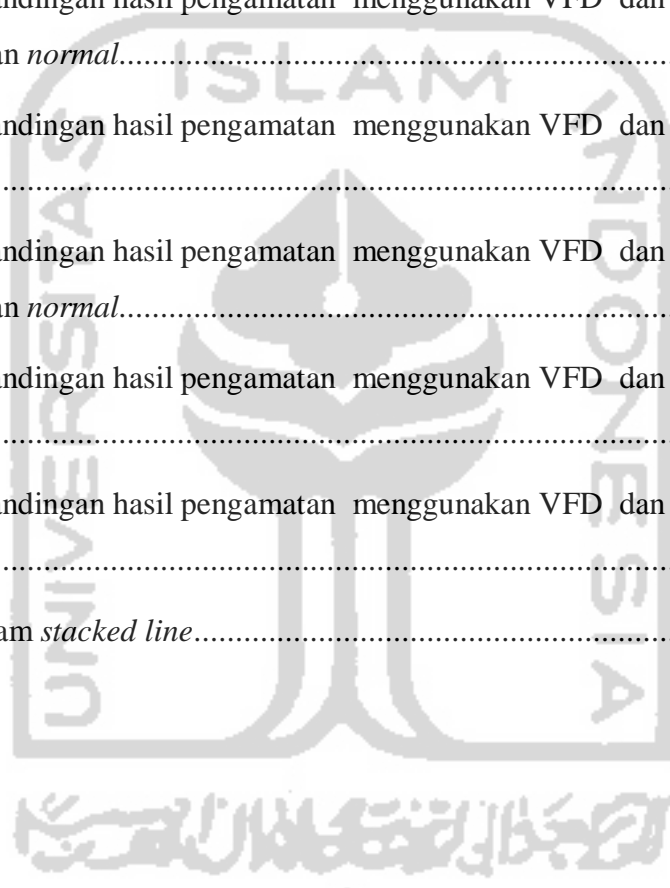
2.2.5 Inverter .....	11
2.2.6 Metode <i>Motor Starting</i> Dengan <i>Variable Frquency Drive</i> (VFD).....	13
2.2.7 <i>Boiler</i> .....	14
2.2.8 <i>Electrical Transient Analysis Program</i> (ETAP) .....	15
2.2.9 <i>Load Flow Analysis</i> .....	15
2.2.10 <i>Short Circuit Analysis</i> .....	16
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	<b>18</b>
3.1 Alat dan Bahan.....	18
3.2 Alur Penelitian .....	18
3.3 Desain Sistem Kelistrikan.....	20
3.3.1 Menentukan Power Sistem.....	20
3.3.2 Alur Kerja Sistem Tenaga Listrik.....	21
3.3.3 Alur Proses Kerja Pembelajaran <i>Motor Starting</i> .....	24
3.3.4 Dataset .....	24
3.3.5 Alur Pengujian <i>Motor Starting</i> Menggunakan <i>Variable Frequency Drive</i> (VFD) dan <i>Autotransformator</i> .....	26
3.3.6 Alur Kerja Sistem (Simulasi) .....	27
3.4 Cara Analisis .....	29
3.4.1 Analisa Simulasi Drop Tegangan ( <i>Load Flow Analysis</i> ).....	29
3.4.2 Analisa Simulasi Gangguan dan ketahanan peralatan ( <i>Short Circuit</i> ).....	30
3.4.3 Analisa Simulasi <i>Motor Starting</i> .....	31
3.4.4 Analisa Ekonomi Penggunaan <i>Variable Frequency Drive</i> (VFD) dan <i>Autotransformator</i> .....	32
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>34</b>
4.1 Klasifikasi Jaringan .....	34

4.2 Pengujian <i>Drop Tegangan</i> .....	34
4.2.1 Pengujian <i>Drop Tegangan Case 1 Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	35
4.2.2 Pengujian <i>Drop Tegangan Case 2 Menggunakan Autotransformator</i> .....	36
4.3 Pengujian Arus Gangguan .....	38
4.3.1 Pengujian Arus Gangguan <i>Case 1 Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	39
4.3.2 Pengujian Arus Gangguan <i>Case 2 Menggunakan Autotransformator</i> .....	40
4.4 Pengujian Motor <i>Starting</i> .....	41
4.4.1 Pengujian Motor <i>Starting Case1 Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD)</i> .....	42
4.4.2 Pengujian Motor <i>Starting Case2 Menggunakan Autotransformator</i> .....	46
4.5 Analisa Ekonomi <i>Starting Motor Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD) dan Autotransformator</i> .....	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	66
5.1 Kesimpulan .....	66
5.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	68
<b>LAMPIRAN</b> .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Belitan pada Autotransformator .....	10
Gambar 2.2 Struktur pada inverter [9] .....	12
Gambar 2.3 Simulasi pengoperasian inverter .....	12
Gambar 2.4 Penampang <i>boiler</i> [10] .....	14
Gambar 3.1 Alur penelitian .....	19
Gambar 3.2 Komponen utama <i>single line diagram</i> stasiun <i>boiler</i> .....	21
Gambar 3.3 Alur kerja sistem tenaga listrik .....	24
Gambar 3.4 Desain <i>single line diagram</i> (SLD) dengan tiga pembangkitan utama .....	25
Gambar 3.5 Alur pengujian <i>motor starting</i> dengan <i>variable frequency drive</i> (VFD) .....	26
Gambar 3.6 Alur pengujian motor <i>starting</i> dengan <i>Autotransformator</i> .....	26
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> simulasi ETAP 12.6 .....	29
Gambar 3.8 Simulasi <i>load flow</i> .....	30
Gambar 3.9 Simulasi <i>short circuit</i> .....	31
Gambar 3.10 Simulasi <i>motor starting dynamic load</i> .....	32
Gambar 4.1 Tegangan terminal motor X13G2917101 <i>case 1</i> .....	43
Gambar 4.2 Tegangan bus saat <i>starting</i> motor <i>case 1</i> dengan VFD .....	44
Gambar 4.3 Tegangan frekuensi motor X13G2917101 <i>case 1</i> .....	45
Gambar 4.4 Tegangan terminal motor X13G2917101 <i>case 2</i> .....	47
Gambar 4.5 Tegangan bus saat <i>starting</i> motor <i>case 2</i> dengan <i>Autotransformator</i> .....	48
Gambar 4.6 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>start</i> .....	50
Gambar 4.7 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat keadaan berjalan <i>normal</i> .....	50

Gambar 4.8 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>start</i> .....	51
Gambar 4.9 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat keadaan berjalan <i>normal</i> .....	51
Gambar 4.10 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>start</i> .....	52
Gambar 4.11 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat keadaan berjalan <i>normal</i> .....	53
Gambar 4.12 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>start</i> .....	54
Gambar 4.13 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat keadaan berjalan <i>normal</i> .....	54
Gambar 4.14 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>start</i> .....	55
Gambar 4.15 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan <i>Autotransformator</i> saat kondisi <i>normal</i> .....	56
Gambar 4.16 Diagram <i>stacked line</i> .....	65



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil simulasi <i>Load Flow case 1</i> .....	35
Tabel 4.2 Hasil simulasi <i>Load Flow case 2</i> .....	37
Tabel 4.3 Hasil simulasi <i>Short Circuit case 1</i> .....	39
Tabel 4.4 Hasil simulasi <i>Short Circuit case 2</i> .....	41
Tabel 4.5 Tegangan terminal motor saat <i>motor starting case 1</i> dengan VFD.....	43
Tabel 4.6 Tegangan bus saat <i>starting motor case 1</i> dengan VFD .....	44
Tabel 4.7 Tegangan frekuensi motor saat <i>starting motor case 1</i> dengan VFD .....	46
Tabel 4.8 Tegangan terminal motor saat <i>starting motor case 2</i> dengan <i>Autotransformator</i> .....	47
Tabel 4.9 Tegangan bus saat <i>starting motor case 2</i> dengan <i>Autotransformator</i> .....	48
Tabel 4.10 Hasil pemakaian energi listrik setelah menggunakan VFD .....	58
Tabel 4.11 Hasil pemakaian energi listrik menggunakan <i>Autotransformator</i> .....	61

## ABSTRAK

Perusahaan industri saat ini umumnya tidak terlepas dari penggunaan energi listrik sebagai salah satu energi yang memiliki peran besar untuk keberlangsungan berjalannya industri tersebut. Mulai dari proses produksi, distribusi dan konsumsi memerlukan adanya energi listrik, tidak terkecuali industri bidang perkebunan kelapa sawit. Sebagai salah satu industri terbesar di Indonesia hingga saat ini, industri kelapa sawit tidak terlepas dari proses pengolahan minyak mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) menjadi minyak makan yang siap digunakan untuk berbagai kebutuhan. Pada pengolahannya, buah kelapa sawit akan di rebus pada mesin *boiler* dengan uap bertekanan tinggi agar dapat mengeluarkan kandungan minyak yang terdapat pada buah kelapa sawit tersebut. Namun, proses perebusan tersebut membutuhkan sumber energi listrik yang besar, dimana uap bertekanan tinggi dihasilkan dari pembakaran air pada *boiler* lalu disalurkan ke mesin perebusan buah kelapa sawit. Proses tersebut membutuhkan sumber energi listrik yang sangat besar, karena hasil pembakaran pada ruang bakar akan dihembuskan keluar melalui cerobong asap atau *exhaust* untuk membuang asap sisa pembakaran. Asap sisa pembakaran tersebut tidak bisa langsung keluar melalui cerobong asap begitu saja, membutuhkan kipas pendorong yang digerakkan oleh motor *Induced Draft Fan* (IDF). Besarnya nilai daya yang dikonsumsi motor listrik tersebut tentu memberikan dampak tersendiri bagi generator diesel yang digunakan sebagai sumber utama pembangkit energi listrik pada stasiun *boiler*. Penelitian ini dimulai dengan observasi salah satu perusahaan pengolahan kelapa sawit yang ada di Provinsi Riau yaitu PT. Salim Ivomas Pratama, dimana kegiatan observasi dilakukan untuk memperoleh data-data *nameplate* peralatan dan data operasional. Data yang telah diperoleh dari perusahaan, akan diolah di *software* ETAP 12.6, dimana data tersebut akan digunakan untuk analisa *Load Flow* dengan besar nilai *drop* tegangan pada *case 1* dan *case 2* adalah 10,68 V, dilanjutkan dengan simulasi *Short Circuit* dimana arus gangguan terbesar terjadi pada bus 3 dan bus 6 yaitu sebesar 0,143 kA; 0,143 kA dan *device capability* simetris, dan asimetris terbesar terjadi pada bus 3 dan bus 6, yaitu sebesar 68 kA; 84,8 kA. Pada saat simulasi motor *starting*, *Drop* tegangan terbesar terjadi pada *starting* motor *case 2* ketika motor tersebut *distart* dengan besar *drop* tegangan 12,2447%. Dari simulasi tersebut, diketahui bahwa penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* saat motor induksi dalam kondisi *start* sangat berpengaruh besar, dimana dengan pembangkit berkapasitas 410 kVA dan 500 kVA, menghasilkan daya aktif sebesar 161,29 kW dengan daya reaktif sebesar

263,391 kVAR ketika menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan ketika menggunakan *Autotransformator* menghasilkan daya aktif sebesar 319,77 kW dengan besar daya reaktif 479,37 kVAR. Penelitian ini diharapkan sebagai salah satu referensi bagi industri bidang kelapa sawit dalam meminimalisir penggunaan bahan bakar fosil dan efisiensi dalam penggunaan energi listrik. Dengan total pemakaian energi listrik sebesar 21.160 kWh diperoleh total pemakaian energi listrik secara keseluruhan untuk bulan Mei 2020 dengan total pemakaian energi listrik sebesar 353.901 kWh, dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 530.851.500 untuk penggunaan metode *starting* dengan *Autotransformator*, dimana hal tersebut sangat tidak efisien dari konsumsi energi maupun biaya yang dikeluarkan.





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Energi merupakan suatu yang krusial saat ini karena energi sangat banyak diperlukan dari berbagai aspek kehidupan tak terkecuali di bidang industri. Penggunaan energi pada sebuah industri sangatlah dibutuhkan, karena hampir keseluruhan proses pada industri itu sendiri membutuhkan berbagai macam jenis energi, mulai dari energi listrik, energi kinetik, energi mekanik, energi cahaya, energi kalor, energi kimia dan energi nuklir. Dari semua jenis-jenis energi tersebut energi listrik merupakan salah satu energi dengan intensitas penggunaan yang sangat besar di seluruh dunia yang bisa kita rasakan manfaatnya hingga saat ini. Indonesia sendiri pada saat ini tengah mengalami kenaikan pasokan energi listrik sebesar 4000 *Mega Watt* (MW) berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) dari sebelumnya pasokan energi listrik di Indonesia sebesar 35.000 *Mega Watt* (MW) [1].

Hal tersebut dapat diartikan bahwa saat ini konsumsi energi listrik di Indonesia dari Sabang – Merauke mengalami kenaikan daya sehingga perlunya tambahan pengoperasian pembangkit yang akan digunakan pada tahun 2019 yang diantaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Lontar dengan kapasitas 315 *Mega Watt* (MW) [2]. Konsumsi energi listrik tak lepas dari gaya hidup sebagian masyarakat pada sebuah Negara itu sendiri. konsumsi energi listrik di Indonesia tercatat terus meningkat setiap tahunnya, hingga data terakhir yang diperoleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2018 menunjukkan angka 1.064 kWh per kapita untuk penggunaan energi listrik [3]. Pelaku industri memegang peran besar dalam penggunaan dan mendorong pertumbuhan energi listrik yang ada di Indonesia karena banyaknya industri dari berbagai bidang yang ada diseluruh Indonesia dan juga mendorong pendapatan negara.

Industri kelapa sawit di Indonesia sudah sangat lama berdiri dan saat ini sudah sangat banyak perusahaan ternama yang bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit seperti PT. Sinarmas Tbk, PT. Musimas Tbk, PT. Salim Ivomas Pratama Tbk dan masih banyak lagi perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang kelapa sawit. Pengolahan kelapa sawit merupakan sebuah

proses buah kelapa sawit yang telah dipanen dan dikumpulkan lalu Tandan Buah Segar (TBS) akan melalui proses perebusan untuk mendapatkan minyak murni yang diperoleh dari Tandan Buah Segar (TBS) dari pelepasan biji kelapa sawit. Pengolahan menjadi minyak mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) pada pengolahan kelapa sawit tentunya membutuhkan suplai energi yang cukup besar tergantung kapasitas pengolahan yang terdapat pada suatu pabrik pengolahan tersebut. Dalam sekali proses untuk menghasilkan minyak mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) pada buah kelapa sawit, membutuhkan sumber energi listrik yang sangat besar dimana untuk menggerakkan sebuah elektromotor *Induced Draft Fan* (IDF) boiler membutuhkan arus sebesar 400 *Ampere* (A) – 500 *Ampere* (A) dimana arus tersebut sangat besar dan membutuhkan suplai energi listrik yang besar.

Untuk itu dibutuhkan lah sebuah penghemat daya untuk menghemat penggunaan listrik pada saat menggerakkan elektromotor *Induced Draft Fan* (IDF) boiler pada sebuah pabrik kelapa sawit dimana sebelumnya untuk menggerakkan elektromotor menggunakan *Autotransformator* dan hal tersebut tidak efisien karena daya yang dihasilkan sangat kecil sedangkan daya yang dibutuhkan besar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penggunaan inverter dapat memberikan efisiensi yang lebih baik dalam hal Penghematan daya untuk menggerakkan elektromotor *Induced Draft Fan* (IDF) boiler pada sebuah pabrik pengolahan kelapa sawit?
2. Apa yang menyebabkan penggunaan *Autotransformator* sangat tidak efisien untuk Menggerakkan sebuah *Induced Draft Fan* (IDF) pada pabrik pengolahan kelapa sawit?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa yang dilakukan pada area stasiun boiler saat menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator*
2. Pembangkit utama sistem stasiun boiler menggunakan dua buah generator diesel berkapasitas 500 kVA dan 410 kVA

3. Sistem stasiun *boiler* menggunakan satu buah *Variable Frequency Drive* (VFD)
4. Sistem stasiun *boiler* menggunakan beban *dynamic* motor induksi 3-phase
5. Desain *Single Line Diagram* (SLD) sistem stasiun *boiler* menggunakan dua bus sebagai *switchgear* dan satu bus sebagai *Motor Control Center* (MCC)
6. Desain *Single Line Diagram* (SLD) sistem stasiun *boiler* menggunakan dua jalur utama sebagai sumber energi listrik ke beban
7. *Tools software* yang digunakan adalah ETAP 12.6
8. *Power system analysis* yang telah dilakukan adalah *load flow*, *short circuit* dan *motor starting*
9. *Power System Analysis* masing-masing dilakukan dengan dua *case* simulasi
10. Analisa yang dilakukan memperoleh daya aktif dan daya reaktif

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan pada penelitian ini adalah melakukan perbandingan penghematan konsumsi daya dan biaya saat starting motor *Induced Draft Fan* (IDF) dengan mensimulasikan sistem tenaga listrik stasiun *boiler* ketika dilakukan *starting* motor menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk mendapatkan efisiensi terbaik. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghemat konsumsi daya listrik saat starting motor ataupun saat pengolahan
2. Menghemat biaya produksi dengan tidak mengurangi hasil produksi
3. Mengurangi konsumsi bahan bakar fosil

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Penelitian serupa sebelumnya sudah banyak dilakukan, seperti *inverter* berbasis *accumulator* sebagai alternatif penghemat daya listrik rumah tangga yang sudah dilakukan pada 2018 lalu [4]. Penelitian tersebut membahas tentang penghematan daya dari penggunaan energi listrik menggunakan *inverter* berbasis *accumulator*, dimana sebuah perangkat elektronik diubah menjadi sumber daya listrik dengan mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik, yang memanfaatkan *accumulator* sebagai sumber daya listrik arus searah. Hasil dari penelitian ini adalah mengetahui penghematan yang diperoleh dari penggunaan *inverter* berbasis *accumulator* dimana pada saat ini penghematan daya listrik merupakan sebuah keharusan yang harus diterapkan pada penggunaan listrik sehari-hari agar tercapainya penggunaan energi listrik yang efisien pada rumah tangga dan industri, ditambah pada era modern seperti sekarang ini, banyaknya kejadian yang marak tentang pemborosan penggunaan listrik pada konsumsi rumah tangga, ditambah lagi aksi curang beberapa oknum yang tidak bertanggung jawab atas pencurian daya dari suatu rumah ke rumah lain dengan tujuan tidak lain mendapatkan keuntungan lebih dari penjualan daya listrik. Hal tersebut sangat tidak efisien tentunya mengingat, semakin lama penduduk yang akan menggunakan listrik akan semakin banyak dan jika dibiarkan hal tersebut dapat mengakibatkan kelangkaan pada sumber daya listrik dimana dengan teknologi yang sudah ada sumber listrik yang dihasilkan masih sama dengan peningkatan daya yang tidak terlalu signifikan, sedangkan penggunaan sumber daya listrik semakin lama semakin banyak.

Penelitian serupa selanjutnya yaitu “kualitas daya listrik industri” dimana pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2015 tersebut mengangkat sebuah masalah efisiensi dari penggunaan energi listrik pada kegiatan industri [5]. Pada penelitian ini, efisiensi merupakan tujuan utama untuk mencapai sebuah keberhasilan penelitian yang telah dilakukan. Namun dengan penggunaan energi listrik yang tentunya tidak bisa mencapai 100% efisien, maka dibutuhkan sebuah cara untuk melakukan penghematan pada penggunaan energi listrik yakni dengan mengoptimalkan kembali sistem kelistrikan tersebut dengan memperhatikan beberapa faktor penunjang yang ada didalam

sistem tersebut, seperti beban-beban *non linear* seperti magnet pada trafo dan mesin berputar, mesin-mesin sinkron, pengelasan, *photovoltaic*, *inverter* dan peralatan elektronik pada kantor.

Pada penelitian [6] yaitu “Penghematan Energi Pada Industri Semen Studi Kasus: Pemasangan VSD’S pada *Fan*” dimana riset tersebut untuk memberikan Rekomendasi batas harmonisa dan mitigasi yang sebaiknya dilakukan dalam perbaikan kualitas daya listrik industri dengan kelebihan memberikan rekomendasi batas harmonisa dan solusi dengan penggunaan peralatan mitigasi dan penyimpanan energi untuk memberikan kualitas daya listrik yang baik. Tujuan tersebut merupakan sebuah solusi dari banyaknya perusahaan industri yang besar, dengan konsumsi energi listrik yang sangat besar, dimana hal tersebut menjadi sebuah ancaman bagi kita semua di masa yang akan datang, jika siklus penggunaan energi yang semakin lama semakin banyak hingga energi tersebut habis. Hal tersebut sejalan dengan bahan bakar fosil yang semakin lama sudah semakin sedikit dan hanya tinggal menunggu waktu saja sampai bahan bakar fosil tersebut benar-benar habis.

Penelitian tersebut memberikan sebuah solusi dengan menggunakan VSD’S *Fan* sebagai penghematan energi yang lebih besar, yang cukup jarang digunakan pada pabrik berkapasitas besar. Namun pada jurnal tersebut tidak terdapat sampel pabrik semen yang ada di Indonesia sebagai perbandingan sekaligus contoh penggunaan energi. Disamping itu, penelitian yang dilakukan masih memiliki kesamaan penggunaan alat penghematan pada kegiatan industri yaitu *Variable Speed Drive* (VSD) yang merupakan sebuah *inverter* dengan fungsi yang sama dengan *Variable Frequency Drive* (VFD) hanya saja *input* yang di terima oleh kedua *inverter* tersebut berbeda, sama halnya dengan *output* yang dihasilkan. Hasil penelitian tersebut juga memiliki kesamaan yakni memberikan harapan baru bagi kegiatan industri secara nyata, dimana dengan penggunaan *inverter Variable Speed Drive* (VSD) dapat melakukan penghematan energi listrik sebesar 499,0464 mWh pertahun.

Suatu sistem tenaga listrik tidak terlepas dari aliran daya dan gangguan hubung singkat yang terdapat didalamnya, maka diperlukannya sebuah analisa dan simulasi terlebih dahulu guna mencegah terjadinya gangguan dan kerusakan pada alat. Hal tersebut dilakukan untuk mencapai penghematan dan efisiensi penggunaan energi listrik dengan memaksimalkan kinerja pada alat yang digunakan seperti pada penelitian yang sudah banyak dilakukan sebelumnya. *Load flow analysis* merupakan salah satu bagian dari *power system analysis* dimana, seperti yang disebutkan

pada penelitian [7] yaitu *load flow analysis* digunakan dengan salah satu tujuannya adalah sebagai evaluasi dari sistem yang akan disimulasikan ataupun akan digunakan untuk berbagai keperluan industri. Pada penelitian [7] tersebut, memiliki kesamaan pembahasan mengenai *load flow analysis* dengan menggunakan ETAP sebagai *software* dalam melakukan analisa dan simulasi pada suatu sistem tenaga listrik, hanya saja sistem tenaga listrik yang dimaksud pada penelitian tersebut adalah jaringan distribusi pada kota Rafah, Palestina.

Penelitian [7] dengan penelitian [8] merupakan suatu tahapan untuk mengetahui nilai-nilai kerugian yang timbul akibat kegagalan pada sistem tenaga listrik, hal tersebut dilakukan untuk mencegah kerusakan-kerusakan yang terjadi ketika sistem dilakukan motor *starting*, dimana pada penelitian ini, aliran daya dan *short circuit* dilakukan untuk mencegah terjadinya arus gangguan dan *drop* tegangan berlebih pada sistem sebelum dilakukannya simulasi motor *starting*.

Penelitian [8] membahas tentang gangguan hubung singkat yang merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan arus yang mengalir menjadi besar, sehingga dapat merusak peralatan bila tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat, hal tersebut sangat berkaitan dengan motor *starting*, karena identik dengan arus awal yang besar yang juga dapat mengganggu kinerja sistem tersebut. Peneliti [7] dan [8] memberikan sebuah gambaran gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, dimana hasil kedua penelitian tersebut sama-sama untuk mencegah kegagalan pada sistem ketika sistem beroperasi.

Penelitian [9] selanjutnya merupakan penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan judul “ Analisis Perbandingan Besarnya Arus *Start* Motor Induksi Berkapasitas Besar Terhadap Jatuh Tegangan Bus”, dimana pada penelitian tersebut membahas perbandingan besar arus *start* motor dengan metode *start* DOL, *Soft Starter* dan *Variable Frequency Drive* (VFD). Penelitian tersebut memiliki kesamaan pada penggunaan metode *Variable Frequency Drive* (VFD) *starting* motor yang identik dengan arus awal yang besar melebihi arus nominalnya, dimana arus yang besar tersebut bisa menimbulkan gangguan pada sistem serta jatuh tegangan pada motor maupun bus sehingga diperlukannya analisa *load flow* dan *short circuit* terlebih dahulu sebelum melakukan simulasi motor *starting*. Namun pada penelitian [9] tidak menampilkan analisa *load flow* dan *short circuit*, namun hanya sebatas perbandingan metode *starting* motor yang sudah disebutkan sebelumnya.

Sama halnya dengan penelitian [9], penelitian [10] juga membahas analisa motor *starting*

namun dengan menggunakan metode *starting* menggunakan *Autotransformator*, hal tersebut juga berkaitan dengan penelitian ini, dengan melakukan perbandingan metode motor *starting* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dengan *Autotransformator*, untuk menghasilkan output penghematan daya yang diperoleh oleh kedua penggunaan metode tersebut agar tercapainya penghematan daya pada kegiatan industri kelapa sawit. Penelitian dengan judul “Analisis Simulasi *Starting* Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan *Autotransformator*” tersebut menggunakan beban motor induksi rotor sangkar dengan simulasi *starting* mengubah nilai tap untuk mengasut motor induksi dengan tujuan memperkecil nilai arus *start* dan torsi pada motor saat *start*.

Dari kedua analisa motor *starting* dengan metode *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* tujuan yang ingin dicapai sama-sama untuk menekan penggunaan energi listrik yang berlebihan seperti yang sudah dibahas pada penelitian [6] dan [4] namun dengan segmentasi yang berbeda, hal tersebut juga untuk menunjang kualitas energi listrik yang baik pada sebuah kegiatan industri seperti pada penelitian [5], dimana untuk mencapai semua itu dibutuhkan proses yang beruntun untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

## **2.2 Tinjauan Teori**

Berikut merupakan tinjauan teori yang digunakan sebagai pengetahuan dasar pada penelitian ini, dimana pada bagian ini peneliti akan membahas teori dasar dari alat-alat yang digunakan pada sistem stasiun *boiler* untuk melakukan analisa terhadap perbandingan motor *starting* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator*, dan juga teori dasar mengenai *software* ETAP 12.6 yang digunakan untuk simulasi pada penelitian ini.

### **2.2.1 Motor Induksi**

Motor induksi merupakan sebuah motor listrik yang paling banyak digunakan pada kegiatan industri, seperti yang digunakan pada industri pengolahan kelapa sawit. Banyaknya penggunaan motor induksi tersebut tak lain di latar belakangnya oleh harganya yang relatif murah, konstruksi yang kuat, sederhana, pemeliharaannya yang tergolong mudah serta memiliki efisiensi tinggi. Motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya sesuai dengan penamaannya sebagai motor induksi. Arus yang terdapat pada rotor motor diperoleh akibat terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan yang relatif antar putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [10].

Kelemahan pada motor induksi yakni masih memiliki kelemahan dalam pengaturan kecepatan. Kesulitan pada motor induksi dalam hal mengatur kecepatan dikarenakan ketika kecepatan pada motor induksi diatur sesuai dengan yang dibutuhkan, maka efisiensi dari motor tersebut juga akan berubah, dimana hal tersebut tidak dijumpai pada motor DC. Secara umum, konstruksi motor induksi tiga fasa terdiri stator dan rotor, dimana stator merupakan bagian mesin yang tidak ikut berputar dan letaknya di bagian luar, sedangkan rotor merupakan bagian dari mesin yang berputar dan terletak pada bagian dalam. Secara umum motor induksi dapat *distart* secara langsung ke rangkaian ataupun dengan menggunakan tegangan yang telah dikurangi ke motor selama motor dalam waktu *starting*. Tegangan yang dikurangi, akan diberikan kepada motor selama waktu *starting* dan disaat yang sama waktu percepatan terus berkurang karena torsi saat *start* juga berkurang [10].

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron, dimana apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan  $n_r$  dan kecepatan medan putar stator adalah  $n_s$ , maka *slip* ( $s$ ) dapat ditentukan pada persamaan (2.1) berikut :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Teori Motor Starting

Motor *starting* merupakan suatu kondisi dimana sebuah motor listrik dalam keadaan *start* atau permulaan, dimana saat motor dalam kondisi *start*, arus awal yang dibutuhkan sangat besar yang disebut dengan *Loked Rotor Current* (LRC) dan motor akan menghasilkan *Loked Rotor Torque*. Arus yang tinggi saat dilakukan *start* disebabkan oleh nilai impedansi yang kecil, sehingga saat motor *distart*, lonjakan arus yang terjadi naik hingga empat sampai tujuh kali dari arus *nominalnya*. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah seperti penurunan tegangan pada bus-bus di sekitar motor tersebut. Jika terjadi penurunan tegangan yang besar saat *start*, motor akan berhenti berputar karena kekurangan suplai tegangan dan jika hal tersebut terjadi dengan frekuensi yang cukup sering, akan mempercepat usia motor tersebut, dan akan merusak peralatan lainnya pada sistem kelistrikan tersebut.



Dalam pengoperasian motor induksi khususnya motor induksi dengan kapasitas yang besar, perlu dilakukan studi terlebih dahulu lalu melakukan simulasi sesuai dengan standar IEEE 399-1997 yaitu :

1. Masalah yang terlihat

Studi motor *starting* harus dilakukan jika *power* motor melebihi 30% dari suplai transformator akan tetapi jika suplai tidak ada pembangkitan lain yang ikut terlibat, suplai dipertimbangkan apabila *power* motor melebihi 10-15% dari *rating* generator.

2. Penurunan Tegangan

Ketika melakukan *starting* pada motor, tingkat tegangan pada terminal motor harus dipertahankan sekitar 80% dari tegangannya atau sesuai dengan standar *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA).

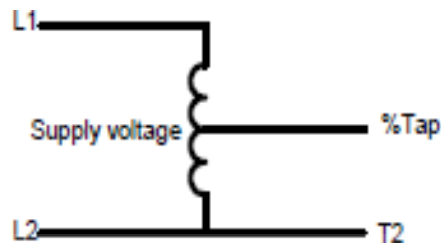
Arus *starting* yang besar akan menimbulkan masalah jatuh tegangan pada sistem kelistrikan dan pada peralatan listrik yang ada di sekitarnya, dimana hal tersebut akan berakibat pada penurunan tegangan bus sistem tersebut. Maka dari itu, perlunya pendataan terlebih dahulu terhadap motor induksi dengan kapasitas besar yang akan dioperasikan, agar mencegah terjadinya kegagalan pada sistem saat motor induksi dalam kondisi menyala. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pendataan motor induksi yaitu :

1. Menyesuaikan *Loked Rotor Current* (LRC) dengan metode *starting* yang akan digunakan
2. *Rating* tegangan pada bus yang berada di sekitar motor tersebut harus sesuai dengan *rating* tegangan motor
3. Jika arus pengasutan besar hingga melebihi arus *nominal*, maka harus menggunakan metode *start* yang sesuai untuk memperkecil nilai lonjakan arus saat *start*.

### 2.2.3 Autotransformator

*Autotransformator* merupakan salah satu jenis dari transformator yang memiliki satu belitan seperti pada Gambar 2.1, dengan tegangan *output* yang dapat diatur. *Autotransformator* memiliki satu belitan primer dan sekunder tidak dapat dilakukan isolasi elektrik seperti pada transformator biasa dengan dua belitan. Namun, secara teori dan operasi mempunyai kesamaan antara *Autotransformator* dengan transformator biasa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1,

dimana sebuah *Autotransformator* terdiri dari belitan tunggal dengan L1 dan L2 membentuk belitan primer dan bagian % tap serta T2 membentuk belitan sekunder[10].



Gambar 2.1 Belitan pada Autotransformator

#### 2.2.4 Metode Motor Starting Dengan Autotransformator

*Starting* menggunakan *Autotransformator* memiliki dua atau tiga *Autotransformator* untuk mengurangi tegangan saat *start*. Jika menggunakan dua *Autotransformator*, maka *start* akan dilakukan dengan menggunakan hubungan *open-delta* dan jika menggunakan tiga *Autotransformator*, maka *start* akan dilakukan dengan menggunakan hubungan bintang atau *star-delta*. Metode ini merupakan salah satu metode yang cukup usang, sangat sedikit digunakan pada industri saat ini, yang sudah banyak menggunakan metode *Variable Frequency Drive* (VFD) maupun *Variable Speed Drive* (VSD) [11].

Pada metode *starting* menggunakan *Autotransformator*, jika rasio dari tap sebesar K, maka tegangan per-fasa yang melalui motor adalah  $\frac{V}{\sqrt{3}}$  yang ditunjukkan pada persamaan (2.2) berikut :

$$I_{\text{start}} = I_{\text{start}} = K \cdot I_{\text{start}} \quad (2.2)$$

Dimana :

K = Tapping pada transformator

$I_{\text{start}}$  = Arus start langsung

Selanjutnya, torsi saat *start*, saat beban penuh dan saat daya masuk dengan menggunakan *Autotransformator* dapat dinyatakan dalam persamaan (2.3) berikut :

$$\frac{T_{start}}{T_{full}} = \left( \frac{P_{in}}{P_{full}} \right)^2 \quad (2.3)$$

$$T_{full} = \frac{T_{start}}{\sqrt{\frac{P_{in}}{P_{full}}}}$$

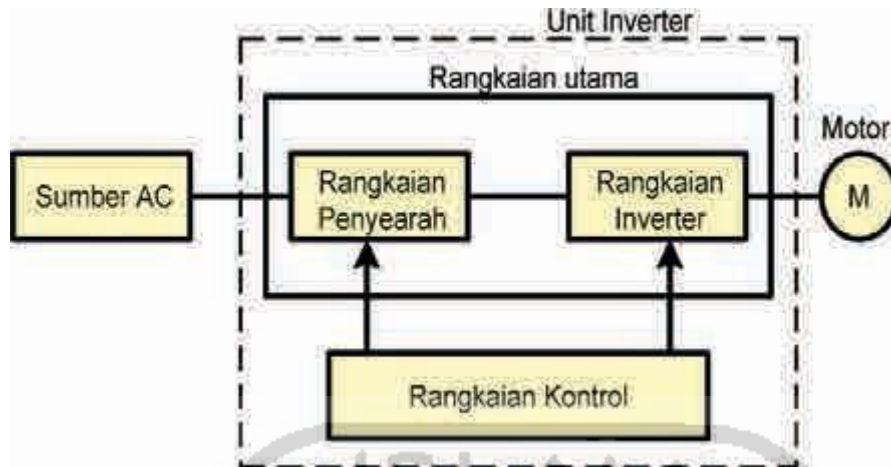
$$T_{full} = \sqrt{\frac{P_{full}}{P_{in}}} \cdot T_{start}$$

Dimana :

- $T_{start}$  = Torsi saat start
- $T_{full}$  = Torsi beban penuh
- $P_{in}$  = Daya masuk
- $V$  = Tegangan nominal
- $I$  = Arus nominal
- $T_{full}$  = Slip beban penuh
- $\omega$  = Putaran nominal

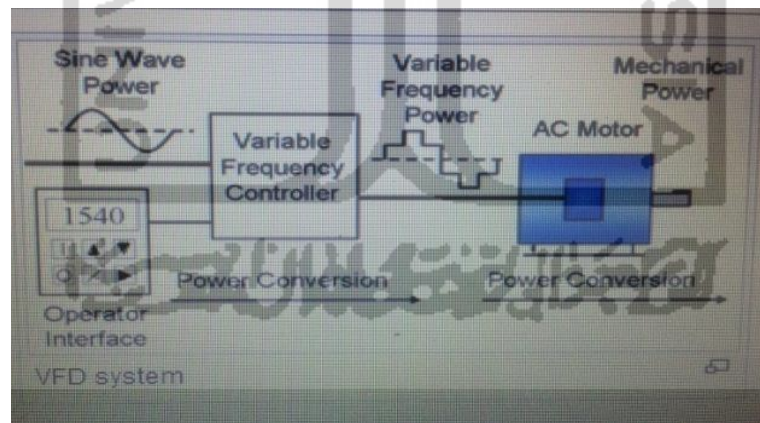
### 2.2.5 Inverter

Inverter merupakan sebuah rangkaian alat yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan AC dengan frekuensi tertentu, seperti struktur inverter yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada saat ini ada beberapa topologi yang terdapat pada inverter yang hanya bisa menghasilkan tegangan keluaran bolak-balik (*push-pull inverter*) hingga yang bisa menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa). Inverter satu fasa, tiga fasa sampai multifasa dan ada juga inverter yang namanya *inverter multilevel* (kapasitor split, *diode clamped* dan susunan kaskade). Pada inverter, terdapat beberapa cara untuk dapat menentukan teknik kendali yang digunakan agar inverter mampu menghasilkan sinyal sinusoidal, cara yang paling sederhana adalah dengan mengatur keterlambatan sudut penyalan inverter pada tiap lengannya [11].



Gambar 2.2 Struktur pada inverter [11]

Adapun cara yang paling umum digunakan yaitu dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) atau biasa disebut modulasi lebar pulsa dimana sinyal kontrol penyaklaran di dapat yaitu dengan cara membandingkan antara sinyal referensi (sinusoidal) dengan sinyal *carrier*. Dengan cara tersebut frekuensi dan tegangan fundamental mempunyai frekuensi yang sama dengan sinyal referensi sinusoidal. Dari penjelasan tersebut, selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 2.3, simulasi pengoperasian inverter pada sebuah industri.



Gambar 2.3 Simulasi pengoperasian inverter

Dalam sebuah industri, inverter menjadi suatu alat yang ataupun komponen yang sangat banyak digunakan karena fungsinya yaitu dapat mengubah arus DC menjadi arus AC meskipun secara umum yang digunakan untuk tegangan masukannya adalah tegangan AC. Selain itu, inverter juga digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor listrik/servo motor atau bisa

disebut *converter drive*. Dengan menggunakan inverter, motor listrik menjadi *variable speed*, kecepatan dari motor listrik tersebut dapat diatur atau di *setting* sesuai dengan kebutuhan. Inverter juga seringkali disebut dengan istilah *Variable Speed Drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD)*.

### 2.2.6 Metode *Motor Starting Dengan Variable Frequency Drive (VFD)*

*Variable Frequency Drive (VFD)* merupakan salah satu jenis inverter dengan prinsip kerja mengubah tegangan *nominal* dari sumber menjadi tegangan variabel sesuai dengan kebutuhan peralatan. Saat motor induksi distart, *Variable Frequency Drive (VFD)* akan berkerja dengan mengatur tegangan *nominal* menjadi tegangan konstan pada setiap frekuensi.

Dimana cara kerja dari *Variable Frequency Drive (VFD)* tersebut dapat dituliskan dengan persamaan (2.4) berikut :

$$\frac{V_{\text{nominal}}}{f_{\text{nominal}}} = \frac{V_{\text{variabel}}}{f_{\text{variabel}}} \quad (2.4)$$

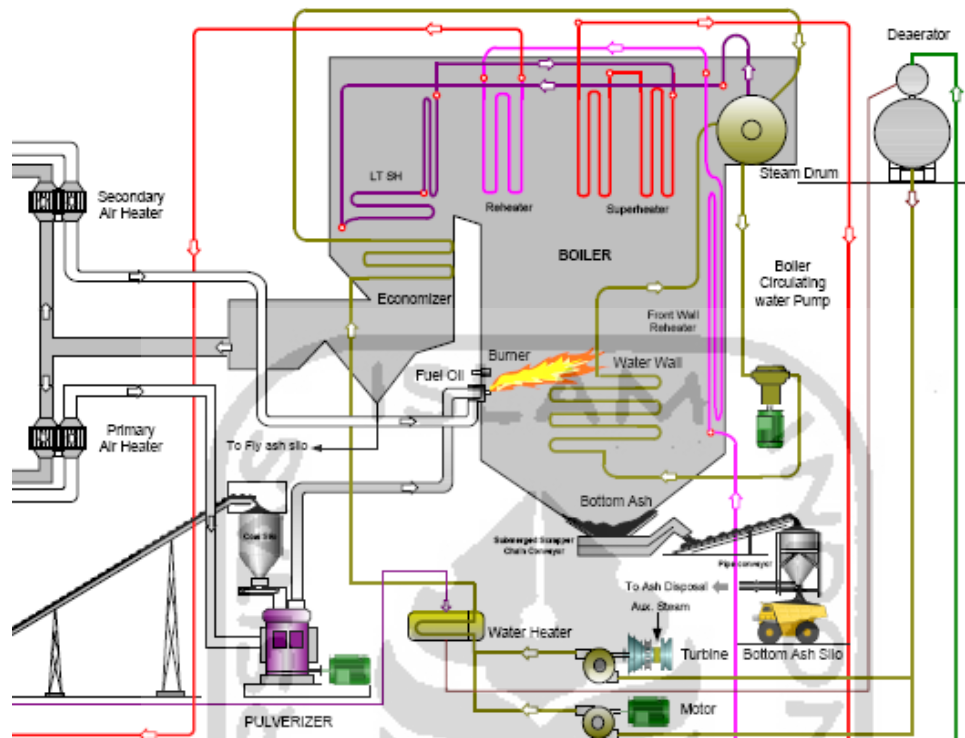
$$= \text{konstanta}$$

Maka, tegangan dan frekuensi pada terminal motor bervariasi dengan rasio yang konstan, seperti pada persamaan (2.3) berikut :

$$\frac{V_{\text{nominal}}}{f_{\text{nominal}}} = \frac{V_{\text{variabel}}}{f_{\text{variabel}}} \quad (2.5)$$

$$\frac{V_{\text{nominal}}}{f_{\text{nominal}}} = \frac{V_{\text{variabel}}}{f_{\text{variabel}}}$$

## 2.2.7 Boiler



Gambar 2.4 Penampang boiler [12]

*Boiler* merupakan sebuah alat untuk menghasilkan uap air, dimana penggunaannya yaitu untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan listrik, seperti pada Gambar 2.4. Proses pembakaran (*furnace*) yang bekerja dengan tekanan dibawah tekanan dari atmosfer selalu dilengkapi dengan *Force Draft Fan* (FDF) dan *Induced Draft Fan* (IDF) untuk menjaga alur tekanan tetap pada *set-point*nya. *Induce Draft Fan* (IDF) adalah kipas yang menyedot udara dari dalam *boiler* keluar menuju cerobong, menghasilkan tekanan negatif pada *boiler*, menjaga sirkulasi udara pembakaran dalam *boiler* tetap normal yakni dari *secondary air Force Draft Fan* (FDF) sebagai pemasok udara pembakaran dengan *Induce Draft Fan* (IDF) sebagai penyedot udara pembakaran seimbang. *Boiler* memiliki baling-baling kipas (*fan blades*) yang dipasang di sebuah *Rotor Fan Wheel*. Besarnya tekanan dan *volume flue-gas* yang dihisap oleh *Induced Draft Fan* (IDF) diatur oleh besarnya sudut dari *blade pitch Induced Draft Fan* (IDF), semakin besar sudut bukanya maka tekanan yang dihisap semakin besar. Besarnya derajat putar *blade pitch* digerakkan oleh *actuator hydraulic servo* menggunakan oli bertekanan menggerakkan *regulating disc*

*moving blade*, dan *regulating shaft* yang menggerakkan *regulating disc moving blade* sisi sebelahnya [12].

### **2.2.8 Electrical Transient Analysis Program (ETAP)**

*Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) merupakan sebuah *software* yang digunakan sebagai simulasi dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik mengenai aliran daya, arus hubung singkat, stabilitas transien dan analisis perhitungan tenaga listrik lainnya. Perhitungan pada ETAP dilakukan berdasarkan data-data yang dimasukkan sesuai dengan data peralatan pada sistem tenaga listrik yang ingin dilakukan simulasi dan analisa. Dengan hasil dari analisis perhitungan program aliran daya pada khususnya, dapat dijadikan pedoman atau sebagai data awal untuk perbaikan faktor daya, dan dapat digunakan untuk menghitung perencanaan suatu sistem tenaga listrik baru. Alasan penggunaan program ETAP, karena ETAP merupakan program aplikasi dengan fungsinya untuk penyelesaian perhitungan *load flow*, *short circuit* dan *motor starting* sesuai pada penelitian ini yang mempunyai perhitungan lebih teliti dan akurat karena dengan pendekatan iterasi-iterasi metode perhitungan untuk bentuk simultan jaringan, daripada dengan perhitungan matematis biasa, walaupun dasar perhitungan dari kedua perhitungan sama yaitu berdasarkan hukum *Kirchoff*. Pada program ETAP juga dilengkapi dengan perpustakaan (*library*) untuk melengkapi data-data masukan. Hasil perhitungan program ETAP berupa laporan teks (*text report*) dari data masukan dan analisis perhitungan yang diinginkan.

### **2.2.9 Load Flow Analysis**

Load flow analysis merupakan salah satu studi yang terdapat di ETAP yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini dipergunakan mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal atau bus tertentu. Keterangan utama yang diperoleh dari suatu studi aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap rel dan daya nyata dan daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran. Data dan informasi tersebut diperlukan untuk menganalisis keadaan sekarang dari sistem guna perencanaan perluasan sistem selanjutnya yang akan datang. Aliran daya dapat menganalisis keadaan suatu sistem kelistrikan industri pada keadaan *steady state*. Besaran yang dihasilkan dari analisis aliran daya adalah daya aktif (P), daya reaktif (Q), daya total/ semu (S), *magnitude* tegangan, *phase angle*, arus, dan frekuensi pada setiap

bus. Dalam proses analisa tentunya sangat diperlukan sebuah *software* untuk mensimulasikan sebuah perhitungan studi kasus mengenai aliran daya, hubung singkat, stabilitas transien, *motor starting* untuk mengetahui beban ataupun hal lainnya yang berhubungan dengan perhitungan tenaga listrik [13]. Pada analisa ini, perhitungan secara manual yang dilakukan untuk mendapatkan hasil drop tegangan yang terbaca pada program ditunjukkan pada persamaan (2.6) berikut :

$$\Delta V = I (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (2.6)$$

Dimana :

$\Delta V$  = Drop tegangan

$I$  = Besar arus

$R$  = Faktor daya

$X$  = Sudut dari faktor daya beban

Parameter-parameter tersebut didapat dari *nameplate* peralatan yang ada pada sistem tenaga listrik yang dilakukan analisa.

### 2.2.10 Short Circuit Analysis

*Short Circuit Analysis* merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui nilai hubung singkat atau arus gangguan saat terjadi hubung singkat yang bisa saja mengalir pada setiap cabang di dalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Sistem proteksi memegang peranan penting dalam kelangsungan dan keamanan terhadap penyaluran daya listrik. Pengamanan pada jaringan transmisi perlu mendapat perhatian yang serius dalam setiap perencanaannya. Sistem transmisi memiliki parameter-parameter dan keadaan sistem yang berubah secara terus menerus, sehingga strategi pengamanannya harus disesuaikan dengan perubahan dinamis dalam hal desain dan pengaturan peralatannya. Sistem proteksi berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari kemungkinan kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan, misalnya gangguan dari alam atau akibat rusaknya peralatan secara tiba-tiba, melokalisir daerah-daerah sistem yang mengalami gangguan sekecil mungkin, dan mengusahakan secepat mungkin untuk mengatasi gangguan yang terjadi di daerah tersebut, sehingga stabilitas sistemnya dapat



terpelihara, dan juga untuk mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik. *Circuit Breaker* (CB) atau biasa juga disebut pemutus tenaga (PMT) merupakan salah satu bagian penting dalam sistem pengamanan jaringan transmisi yang digunakan untuk memutuskan arus beban apabila sedang terjadi gangguan seperti kondisi hubung singkat, untuk mencegah meluasnya gangguan ke jaringan yang lain yang bisa mengakibatkan kerusakan pada peralatan dan mengganggu jalannya operasional pada sistem tenaga listrik tersebut.



## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

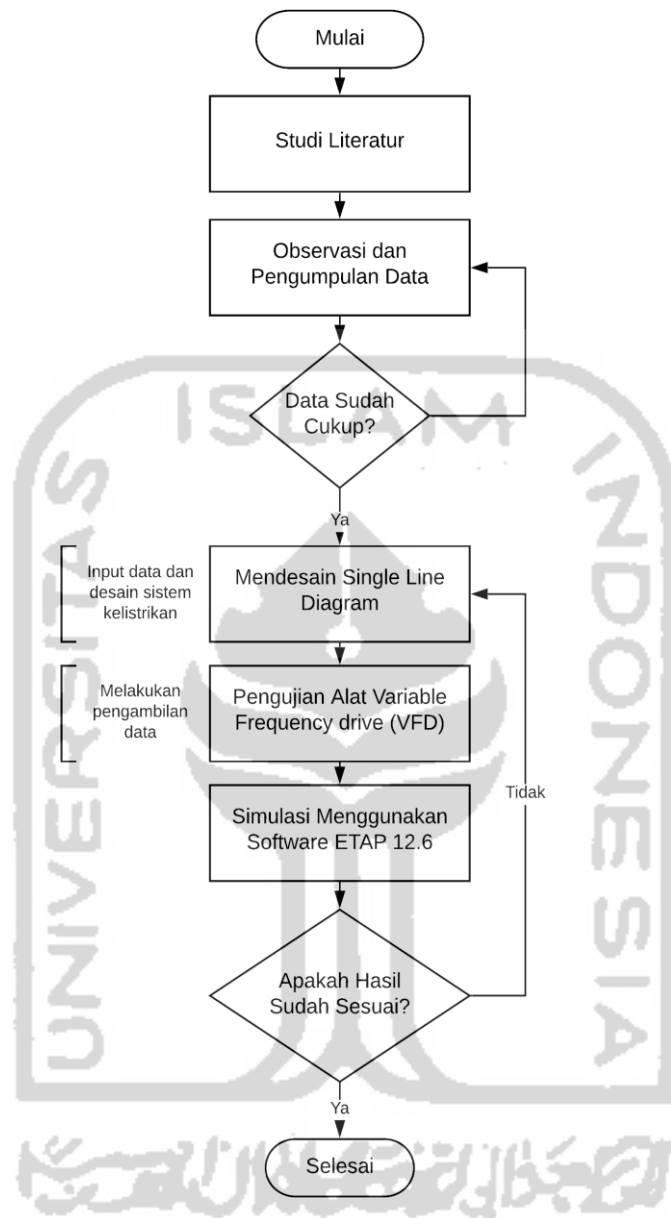
Alat dan bahan yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut

:

1. Variable Frequency Drive Altivar 61 Schneider Electric 380/480V 3 Phase 160 kW
2. Variable Frequency Drive CLMR – ET4A0296AAA 400V 3 Phase 160 kW
3. WFSTIN 3 Phase Induction Motor En60034 IE60034
4. Electrim 3 Phase IEC 34-1
5. Generator set Caterpillar 500 kVA CAT00C15JLXJ03234
6. Generator set Catterpillar 410 kVA
7. Kabel 150  $\square\square^2$
8. Laptop yang sudah ter-install software ETAP 12.6

#### 3.2 Alur Penelitian

Pada suatu penelitian tentu tidak terlepas dari susunan setiap kegiatan yang dilakukan selama penelitian untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik. Adapun alur penelitian yang digunakan peneliti pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Alur penelitian

Pada diagram blok tersebut memberikan informasi secara garis besar dari penelitian ini. Adapun tahap pertama dari penelitian ini adalah mengumpulkan dan membaca literatur dari berbagai sumber jurnal dan penelitian yang sudah dilakukan yang mengangkat isu tentang penggunaan energi listrik pada pabrik pengolahan kelapa sawit.

Tahap kedua, melakukan observasi dan wawancara dengan pihak perusahaan terkait yang akan dilakukannya penelitian, dimana pada tahap kedua ini diperlukan untuk mendapatkan informasi dari alat yang digunakan dan operasional alat tersebut.

Tahap ketiga, mendesain sistem kelistrikan pada lingkup alat yg digunakan untuk motor starting menggunakan *software* ETAP 12.6. Pada tahap ini, *software* ETAP 12.6 selain digunakan untuk mendesain sistem kelistrikan, juga digunakan sebagai simulasi dari motor starting yang akan menggunakan dua perbandingan motor *starting*, yaitu saat menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan saat menggunakan *Autotransformator*. Adapun *nameplate* dari alat yang digunakan diperoleh pada tahap kedua saat observasi dan wawancara.

Tahap keempat, melakukan pengujian pada *Variable Frequency Drive* (VFD) saat pabrik akan beroperasi. Pada tahap ini selain melakukan pengujian alat, juga memperoleh data dari hasil pengujian alat tersebut dengan melakukan pengujian selama lima hari dan setiap pengujian diambil sepuluh *sample* pengujian, saat motor *starting* dan saat motor dalam keadaan berjalan *normal*.

Tahap kelima, melakukan simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6 dengan tujuan untuk membandingkan hasil simulasi yang parameternya sudah diatur untuk menekan lonjakan arus, hasil dari pengambilan data yang didapat dari pengujian alat saat di lapangan dan data yang diperoleh dari operasional pabrik.

Tahap keenam, pada tahap akhir yaitu mencatat hasil dan analisa dari simulasi yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya dan melakukan perbandingan dari setiap data yang diperoleh dengan tujuan menghasilkan output berupa efisiensi dari setiap penggunaan energi listrik pada saat motor *starting* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator*.

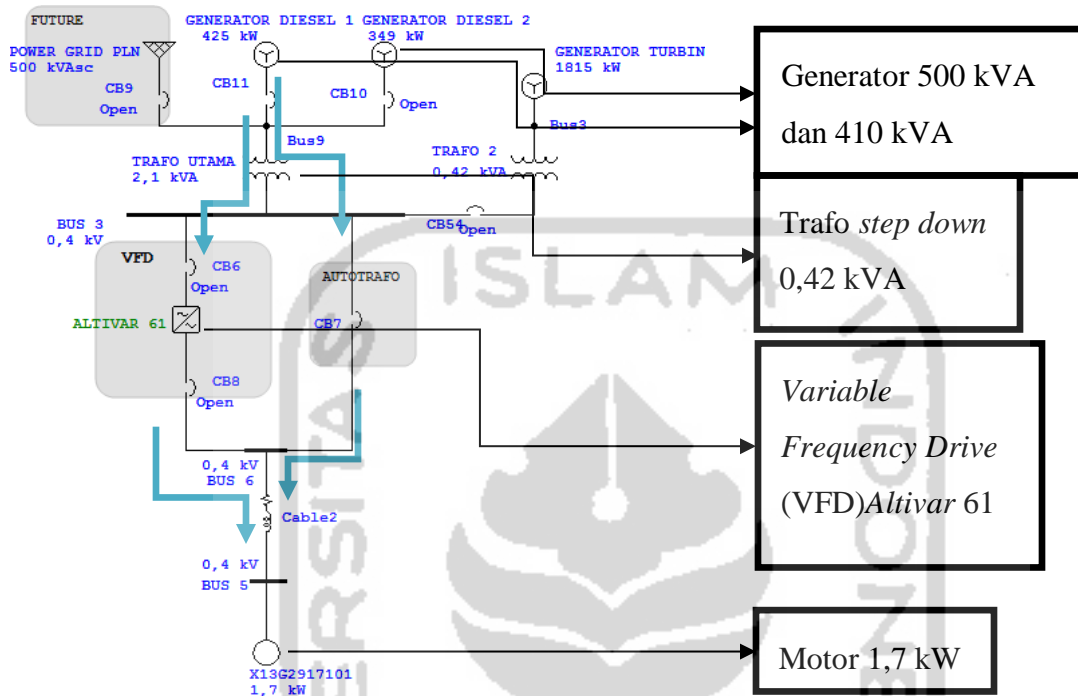
### **3.3 Desain Sistem Kelistrikan**

Pada bagian ini peneliti akan menjelaskan tentang bagaimana dalam desain sistem kelistrikan dibuat menggunakan *software* ETAP12.6.

#### **3.3.1 Menentukan Power Sistem**

Pertama dalam mendesain sistem tenaga listrik menggunakan *software* ETAP 12.6 terlebih dahulu mengetahui jenis *power system* yang digunakan pada suatu sistem kelistrikan tersebut

apakah menggunakan *generator* atau *power grid* dimana biasanya *power grid* dapat berupa *generator* dengan kapasitas yang besar atau sebuah gardu induk.



Gambar 3.2 Komponen utama *single line diagram* stasiun boiler

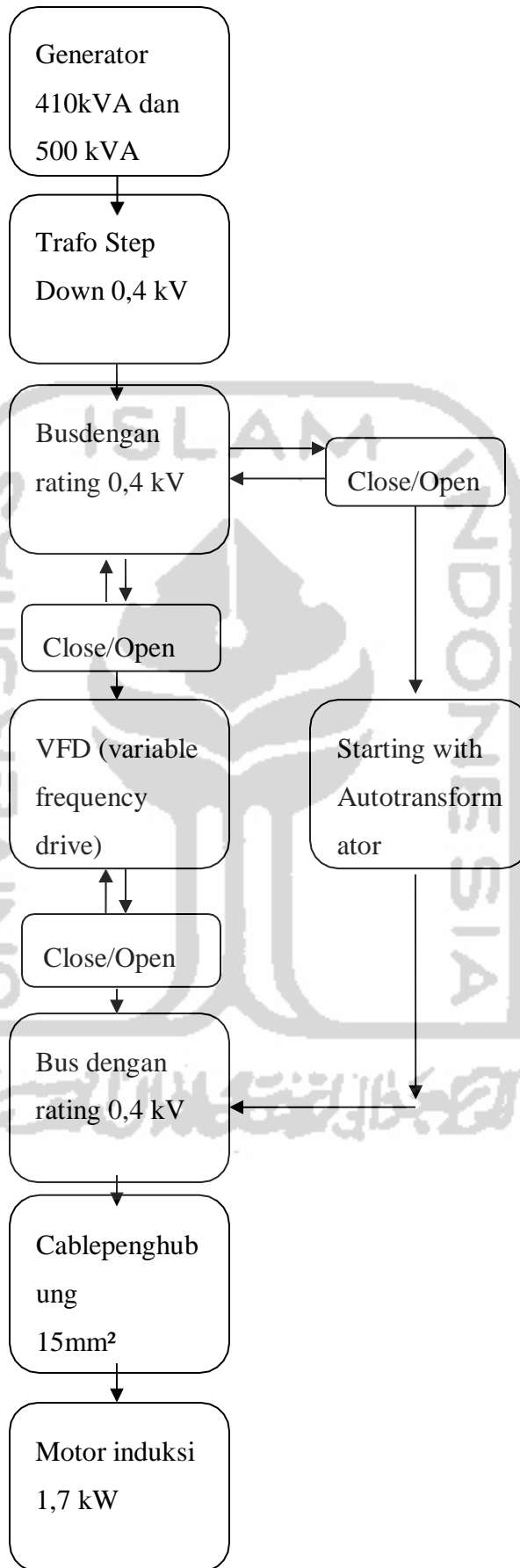
Desain *Single Line Diagram* (SLD) pada Gambar 3.2 merupakan alur kerja dari sistem tenaga listrik untuk operasional *starting* awal motor X13G2917101 pada boiler dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengatur frekuensi pada *starting* motor induksi agar tidak terjadi lonjakan arus yang berlebihan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada alat dan biaya operasional yang besar.

### 3.3.2 Alur Kerja Sistem Tenaga Listrik

Secara garis besar alur kerja sistem tenaga listrik untuk *starting* motor dapat dilihat pada Gambar 3.3 dimana diawali dengan generator yang menghasilkan listrik dengan tegangan sebesar 2.135 kVA lalu diturunkan melalui trafo *step down* 0,4 kV karena peralatan yang digunakan mempunyai *rating* tegangan 0,4 kV selanjutnya diteruskan oleh bus dengan *rating* tegangan 0,4 kV sebagai penyalur tenaga listrik ke semua peralatan. Selanjutnya daya listrik akan masuk ke *Variable Frequency Drive* (VFD) sebagai alat untuk menstabilkan frekuensi dan tegangan yang

akan masuk ke motor agar saat motor melakukan *start* tidak terjadi vibrasi berlebih pada *motor* akibat lonjakan arus dan tegangan yang terjadi.





Gambar 3.3 Alur kerja sistem tenaga listrik

Penggunaan transformator *step-down* pada *power system analysis* tersebut sebagai penurun *level* tegangan dari *level* tegangan tinggi ke tegangan rendah, karena penggunaan alat yang memiliki *rating* tegangan 0,4 kV. Selanjutnya terdapat dua jalur sistem pada *single line diagram* (SLD) tersebut, dimana pada jalur utama yaitu melalui *variable frequency drive* (VFD) dan jalur kedua melalui *Autotransformator*. Pada masing-masing jalur terdapat *circuit breaker* (CB) sebagai pemutus arus pada *level* tegangan 0,4 kV digunakan saat akan melakukan simulasi *load flow*, *short circuit* dan *motor starting* sebagai perbandingan terhadap penggunaan dari dua metode motor *starting*.

### 3.3.3 Alur Proses Kerja Pembelajaran Motor Starting

Sebelum sistem tenaga listrik pada sebuah industri berjalan, tentu ada pembelajaran terlebih dahulu, pembelajaran yang dilakukan pertama adalah melakukan observasi pada pabrik kelapa sawit yang akan dilakukan penelitian, dengan tujuan memperoleh data *nameplate* pada setiap peralatan sistem tenaga listrik tersebut. Selanjutnya dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 yang telah di *install* pada laptop, dapat dilakukan desain dari *single line diagram* (SLD) stasiun *boiler*. Dengan meng-*input* data-data yang diperoleh dari *nameplate* masing-masing peralatan, maka simulasi dapat dilakukan sebagai pembelajaran *motor starting* yang ada pada pabrik kelapa sawit tersebut. Namun sebelum melakukan simulasi *motor starting*, terlebih dahulu melakukan simulasi *load flow* dan *short circuit* pada sistem tenaga listrik tersebut. Hal tersebut berguna untuk mengetahui drop tegangan pada bus sebagai penghubung setiap peralatan pada sistem tenaga listrik dan juga mengetahui ketahanan peralatan yang dimiliki pada sistem tenaga listrik tersebut. Pada tahap ini peneliti akan membagi setiap simulasi dengan dua *case*, dimana pada *case* pertama motor *starting* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan pada *case* kedua motor *starting* menggunakan *Autotransformator*.

### 3.3.4 Dataset

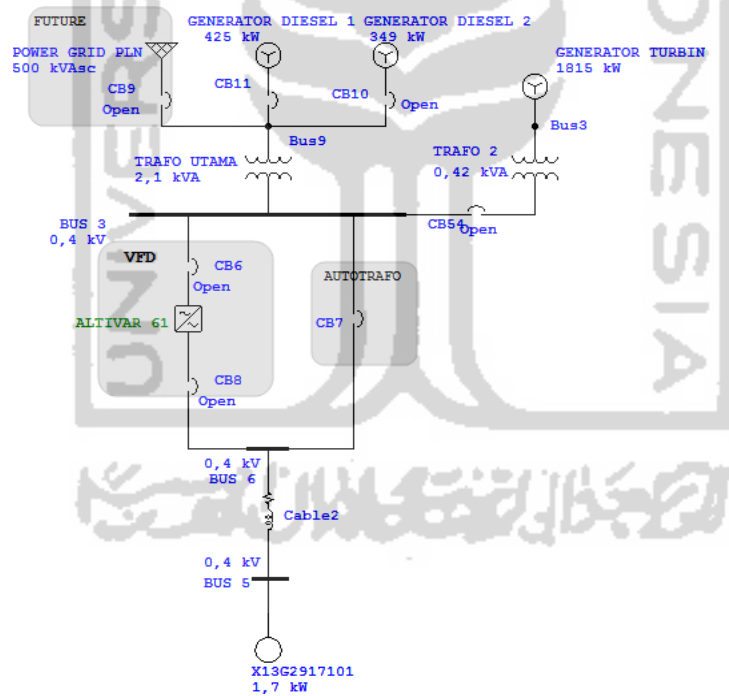
Data yang digunakan peneliti pada penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari *nameplate* peralatan industri yang digunakan pada pabrik pengolahan kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama tbk untuk keperluan desain *single line diagram* (SLD) pada area stasiun *boiler*



yang merupakan area komponen listrik utama pada pabrik pengolahan kelapa sawit. Adapun data dari peralatan yang diperoleh untuk keperluan desain *single line diagram* (SLD) adalah :

1. Data Generator set diesel 1 Catterpillar 3 phase 500 kVA
2. Data Generator set diesel 2 Catterpillar 3 phase 410 kVA
3. Data Generator set turbin Electrim 3 Phase IEC 34-1
4. Data Transformator step down 0,4 kV
5. Data Schneider Altivar 61 variable frequency drive (VFD)
6. Data Kabel penghubung
9. Data Motor Induksi WFSTIN 3 Phase En60034 IE60034

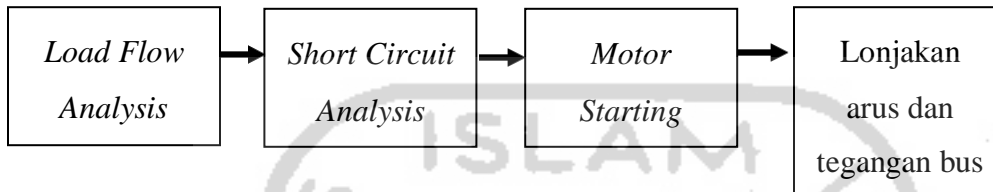
Dari nameplate yang sudah diperoleh, maka single line diagram bisa di desain seperti pada Gambar 3.4 berikut :



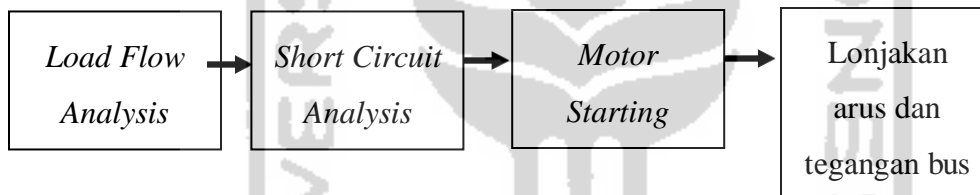
Gambar 3.4 Desain *single line diagram* (SLD) dengan tiga pembangkitan utama

### 3.3.5 Alur Pengujian *Motor Starting* Menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* dan *Autotransformator*

Alur pengujian motor *starting* dengan menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* dan menggunakan *Autotransformator* dari awal proses hingga proses perbandingan hasil dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Alur pengujian *motor starting* dengan *variable frequency drive (VFD)*



Gambar 3.6 Alur pengujian *motor starting* dengan *Autotransformator*

Pada tahap pertama, yaitu melakukan pengujian drop tegangan dengan *load flow analysis* untuk mengetahui *drop* tegangan yang terjadi pada bus akibat pembebanan pada peralatan. Pada tahap ini trafo memberikan peran penting pada pembebanan semua peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik tersebut karena drop tegangan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada trafo karena pembebanan yang berlebihan. Pada pengujian *drop* tegangan pada penelitian ini, diberlakukan simulasi pengujian dengan dua *case* yang berbeda, dimana pada *case* pertama akan dilakukan pengujian *drop* tegangan dengan menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)* dan pada *case* kedua dilakukan pengujian *drop* tegangan menggunakan *Autotransformator* untuk mendapatkan perbandingan hasil dari kelayakan penggunaan *Variable Frequency Drive (VFD)* ataupun *Autotransformator*.

Selanjutnya, pada pengujian tahap kedua yakni melakukan pengujian ketahanan dari peralatan dengan melakukan *short circuit analysis* untuk mengetahui ketahanan peralatan pada MCC yang merupakan tempat dari beban suatu sistem tenaga listrik. MCC pada stasiun *boiler* tersebut merupakan MCC yang berisi beban dengan kategori beban *low voltage* (LV) karena rata-rata beban memiliki *rating* tegangan 0,4 kV. Pada pengujian ketahanan peralatan, MCC akan diberi *fault* atau gangguan berupa arus yang berlebihan, untuk mengetahui ketahanan peralatan pada MCC tersebut jika terjadi lonjakan arus secara mendadak yang bisa diakibatkan oleh sistem ataupun petir. Pada pengujian *short circuit*, akan diberlakukan dua *case* pengujian, dimana pada *case* pertama, pengujian akan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan pada *case* kedua akan menggunakan *Autotransformator*.

Pada pengujian tahap selanjutnya yang merupakan pengujian terakhir adalah melakukan pengujian lonjakan arus pada *motor* dan tegangan pada *motor* dan *bus*. Pengujian ini merupakan pengujian inti pada penelitian ini, karena permasalahan yang dihadapi pada industri pengolahan kelapa sawit adalah ketidak stabilan saat *motor starting*, dimana penggunaan *generator sets* sangat mempengaruhi faktor produksi dan investasi sebuah industri besar, khususnya pabrik pengolahan kelapa sawit. Pada pengujian *motor starting*, lonjakan arus dan tegangan pada terminal *motor*, serta tegangan pada *bus*, menjadi fokus bagi peneliti pada penelitian ini, pengujian *motor starting* dilakukan untuk mensimulasikan *start* awal elektromotor sebagai penggerak *induces draft fan* (IDF) yang merupakan pendorong uap hasil pembakaran pada stasiun *boiler* yang membutuhkan dorongan kuat untuk mengeluarkan uap hasil pembakaran melalui *exhaust*. Pada pengujian tahap ini, diberlakukan dua *case* pengujian, dimana pada pengujian *motor starting case* pertama menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), dan pada pengujian kedua menggunakan *Autotransformator*. Perbandingan dari penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* tersebut berupa grafik lonjakan arus pada terminal *motor*, tegangan pada terminal *motor* dan tegangan pada *bus*.

### **3.3.6 Alur Kerja Sistem (Simulasi)**

Untuk mempermudah penjelasan mengenai simulasi sistem tenaga listrik, peneliti memberikan penjelasan dalam bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 3.7, dimana pada tahap awal merupakan *input* data *nameplate* peralatan yang sudah diperoleh saat melakukan observasi, setelah data pada setiap komponen untuk mendesain *single line diagram* (SLD) sudah

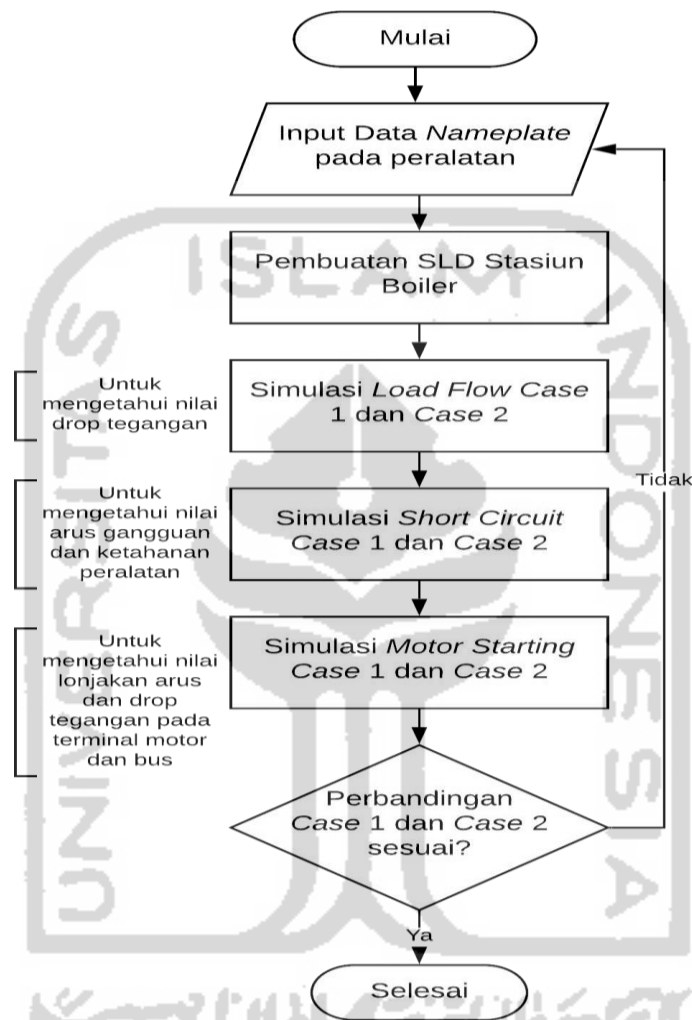
sesuai selanjutnya desain *single line diagram* (SLD) pada stasiun *boiler* dengan urutan peralatan sesuai dengan peralatan yang ada di lapangan.

Pada tahap berikutnya peneliti melakukan simulasi *load flow* terhadap *single line diagram* (SLD) untuk mengetahui drop tegangan pada yang terjadi pada setiap MCC dengan melakukan dua kali simulasi, dimana pada simulasi *load flow case* pertama, simulasi drop tegangan dilakukan dengan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Variable Frequency Drive*(VFD) dan perintah *open* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Autotransfromator* dan generator yang aktif untuk sebagai sumber arus hanya satu generator saja yakni generator satu dengan *rating* tegangan 500 kV. Pada simulasi *load flow case* kedua, mengaktifkan kedua generator, yakni generator 500 kV dengan generator 410 kV dan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *autotransformator* dan perintah *open* pada aliran arus menuju *variable frequency drive*. Pada tahap selanjutnya, yakni melakukan simulasi terhadap *short circuit* untuk mengetahui arus gangguan yang terjadi dan mengetahui ketahanan peralatan yang ada pada MCC. Pada simulasi *short circuit case* pertama, simulasi arus gangguan dilakukan dengan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Variable Frequency Drive*(VFD) dan perintah *open* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Autotransfromator* dan generator yang aktif untuk sebagai sumber arus hanya satu generator saja yakni generator satu dengan *rating* tegangan 500 kV.

Pada simulasi *short circuit case* kedua, mengaktifkan kedua generator, yakni generator 500 kV dengan generator 410 kV dan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Autotransformator* dan perintah *open* pada aliran arus menuju *Variable Frequency Drive* (VFD). Tahapan berikutnya, yakni melakukan simulasi *motor starting* untuk mengetahui lonjakan arus yang terjadi pada terminal motor, tegangan pada terminal motor dan tegangan pada *bus*.

Simulasi *motor starting case* pertama, dengan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Variable Frequency Drive*(VFD) dan perintah *open* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Autotransfromator* dan generator yang aktif untuk sebagai sumber arus hanya satu generator saja yakni generator satu dengan *rating* tegangan 500 kV. Pada simulasi *motor starting case* kedua, mengaktifkan kedua generator, yakni

generator 500 kV dengan generator 410 kV dan memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker low voltage* pada aliran arus menuju *Autotransformer* dan perintah *open* pada aliran arus menuju *Variable Frequency Drive (VFD)*.



Gambar 3.7 Flowchart simulasi ETAP 12.6

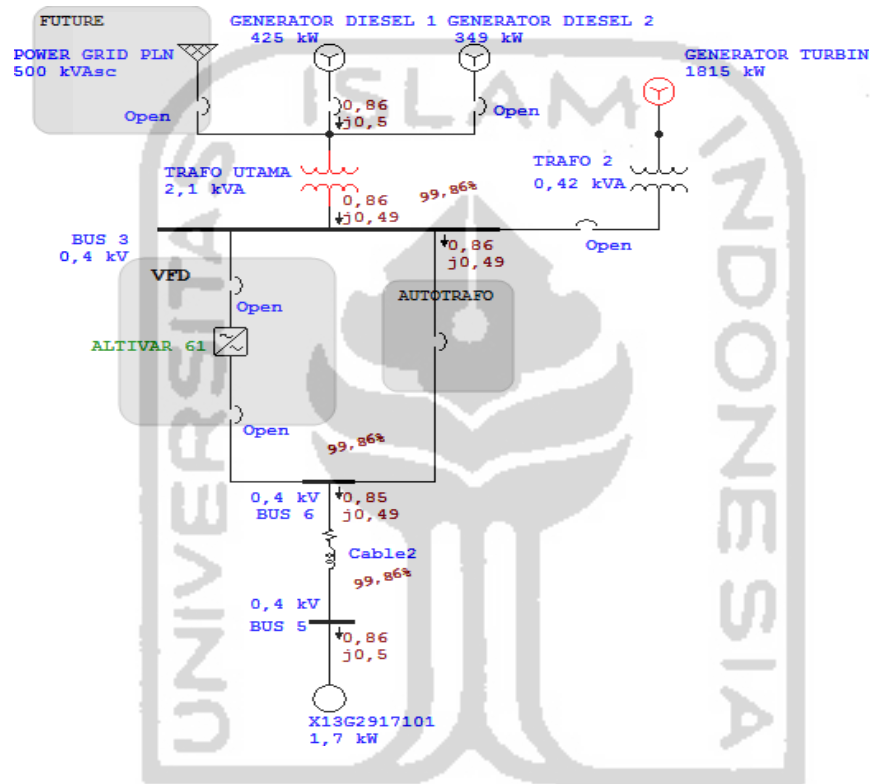
### 3.4 Cara Analisis

Pada bagian ini, peneliti akan menjelaskan langkah-langkah dalam melakukan analisa dari penelitian yang sudah dilakukan.

#### 3.4.1 Analisa Simulasi Drop Tegangan (*Load Flow Analysis*)

Pada *load flow analysis*, tujuan yang ingin dicapai pada analisa ini adalah mengetahui nilai *drop* tegangan yang terjadi pada bus sebelum melakukan simulasi terhadap *start* motor, seperti

simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.8. Pengambilan data simulasi *load flow* dilakukan dengan dua *case* simulasi, dimana pada *case* pertama simulasi akan menggunakan *variable frequency drive* saat *running load flow* dan pada *case* kedua simulasi *running* menggunakan *Autotransformer*. Data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut merupakan data yang bersumber dari simulasi menggunakan ETAP 12.6 yang menampilkan persentase *drop* tegangan pada setiap MCC sistem tenaga listrik pada stasiun *boiler*.

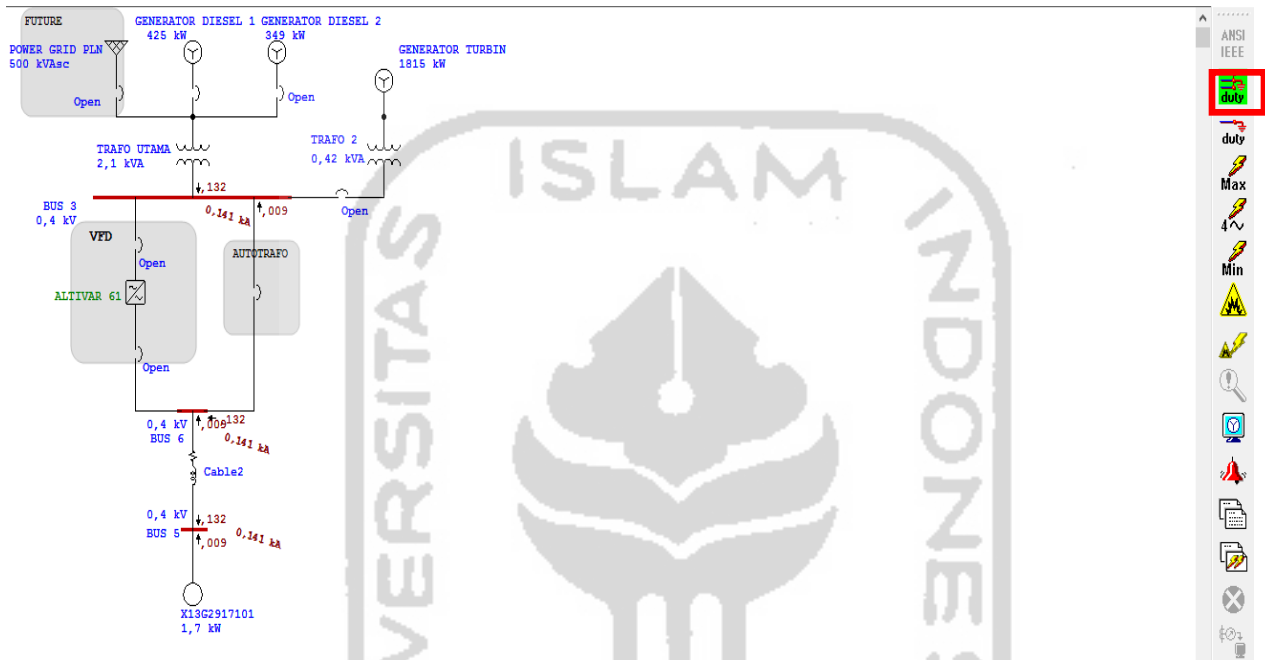


Gambar 3.8 Simulasi *load flow*

### 3.4.2 Analisa Simulasi Gangguan dan ketahanan peralatan (*Short Circuit*)

Pada bagian ini, analisa yang dilakukan berhubungan dengan gangguan hubung singkat yang sewaktu-waktu bisa terjadi pada sistem tenaga listrik, namun dengan adanya perkiraan terlebih dahulu dengan melakukan simulasi *short circuit* pada sistem tenaga listrik, dapat meminimalisir terjadinya gangguan pada sistem dan peralatan yang ada, dan juga memberikan opsi untuk pemilihan peralatan yang akan di gunakan pada sistem tenaga listrik tersebut. Analisa ini menghasilkan *output* berupa ketahanan peralatan yang terjadi pada MCC. Pengambilan data simulasi *short circuit* dilakukan dengan dua *case* simulasi, dimana pada *case* pertama simulasi akan

menggunakan *variable frequency drive* saat *running short circuit* dan pada *case* kedua simulasi *running* dengan menggunakan *autotransformator*. Data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut merupakan data yang bersumber dari simulasi menggunakan ETAP 12.6 yang menampilkan ketahanan peralatan setiap MCC sistem tenaga listrik pada stasiun *boiler*. Adapun contoh simulasi pada analisa ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.

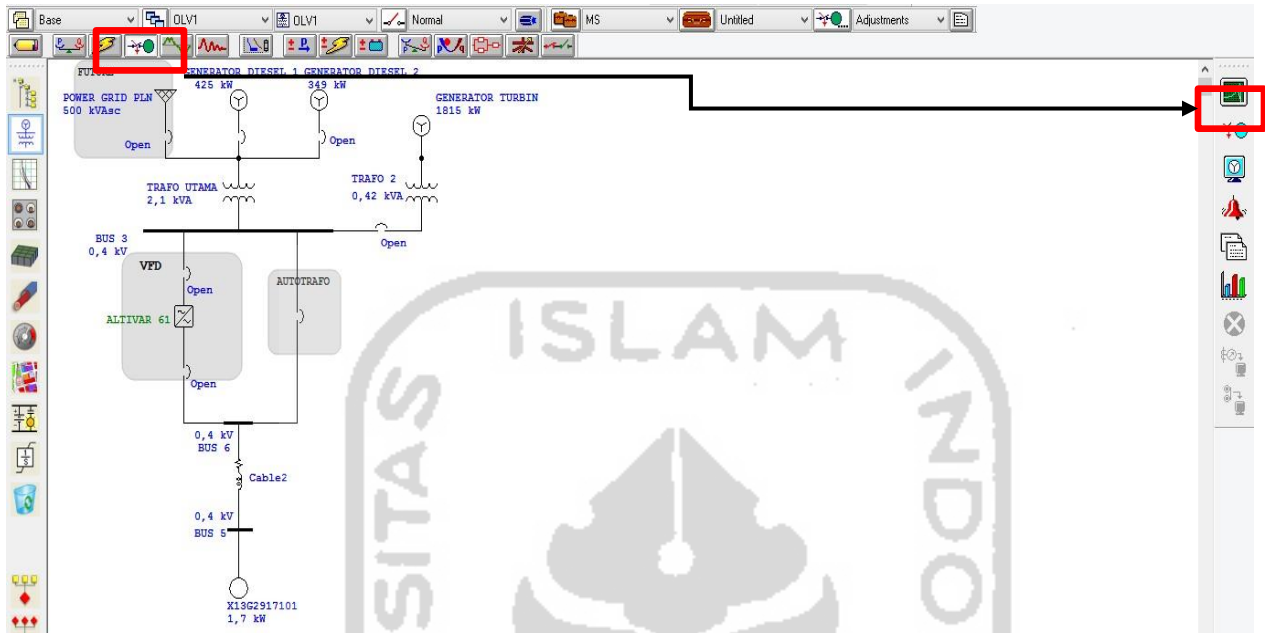


Gambar 3.9 Simulasi *short circuit*

### 3.4.3 Analisa Simulasi Motor Starting

Analisa dengan simulasi *motor starting* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui nilai drop tegangan pada MCC, lonjakan arus pada motor dan frekuensi yang dihasilkan motor ketika saat *start* atau dalam keadaan *load* pada sistem tenaga listrik, seperti yang dapat dilihat Gambar 3.10. Pada analisa *motor starting* ini, simulasi *motor starting* yang digunakan adalah *motor starting dynamic load*, dimana simulasi *motor starting* menggunakan *dynamic load* bertujuan untuk mengetahui data dari hasil simulasi *motor starting* dengan menggunakan alat *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Variable Speed Drive* (VSD) dimana *motor starting dynamic load* menampilkan lebih banyak parameter hasil dari simulasi *motor starting* jika dibandingkan dengan *motor starting* dengan simulasi *static load*. Namun untuk penelitian ini

menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) sesuai dengan kondisi sistem tenaga listrik yang ada pada stasiun *boiler*.



Gambar 3.10 Simulasi *motor starting dynamic load*

Pengambilan data simulasi *motor starting* dilakukan dengan dua *case* simulasi, dimana pada *case* pertama simulasi akan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) saat *running motor starting* dan pada *case* kedua simulasi *running* dengan menggunakan *Autotransformator*. Data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut merupakan data yang bersumber dari simulasi menggunakan ETAP 12.6 yang menampilkan *drop* tegangan pada MCC, lonjakan arus pada motor dan frekuensi yang dihasilkan motor ketika saat *start* atau dalam keadaan *load*. Pada analisa ini juga menampilkan hasil pengamatan secara langsung dari *motor starting*, saat akan dilakukan *starting* awal untuk pengolahan kelapa sawit.

### 3.4.4 Analisa Ekonomi Penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator*

Analisa ini dilakukan dengan cara memperoleh terlebih dahulu data pengoperasian perusahaan PT. Salim Ivomas Pratama tbk selama satu bulan, dimana data tersebut berisikan pemakaian sumber listrik yang dibangkitkan oleh generator 500 kVA dan generator 410 kVA yang ada pada area stasiun *boiler*. Dari data pemakaian listrik yang sudah di peroleh, data tersebut dibandingkan dari penghematan listrik yang di dihasilkan dan penggunaan biaya saat motor dalam



keadaan *start* dan dalam keadaan *continuous* dengan menghitung biaya per kWh pada penggunaan untuk industri, dimana pada persamaan (3.1) :

$$\begin{aligned}
 & \text{Biaya} = \text{Biaya} + \text{Biaya} \quad (3.1) \\
 & \times \text{Biaya} \text{ (Biaya)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh biaya yang dikeluarkan selama satu bulan pengoperasian pabrik selama pengolahan minyak kelapa sawit berlangsung.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Klasifikasi Jaringan

Berikut ini merupakan klasifikasi jaringan kelistrikan pada stasiun *boiler* di PT. Salim Ivomas Pratama Tbk unit pengolahan PKS Kayangan, yaitu :

1. Menggunakan dua *generator diesel* sebagai sumber tenaga listrik utama dalam unit pengolahan stasiun *boiler*, menggunakan satu sumber tenaga listrik dari PLN sebagai penyumbang energi listrik untuk area perumahan karyawan dan *staff* dan menggunakan satu *generator turbin* sebagai suplai energi listrik untuk gedung perkantoran unit pengolahan PKS Kayangan. Namun untuk pembahasan penelitian ini, peneliti hanya membahas pada dua *generator diesel* untuk pengolahan stasiun *boiler*.
2. Mempunyai tiga buah *busbar* pada area stasiun *boiler*
3. Terdapat satu unit trafo pada area pengolahan stasiun *boiler*, yaitu trafo *step-down* untuk dua unit *generator diesel* dengan kapasitas 2,1 kVA dan satu unit trafo *step-down* berkapasitas 0,42 kVA untuk satu unit *generator turbin*. Keseluruhan trafo menggunakan *rating* tegangan *low voltage* 0,4 kV. Untuk pembahasan penelitian ini, peneliti hanya membahas pada satu trafo saja, yakni trafo 2,1 kVA.
4. Beban yang digunakan hanya satu jenis beban saja, yaitu beban motor dinamis atau motor (*dynamic load*). Pada area stasiun *boiler* terdapat satu unit motor induksi 3-*phase* dengan daya 1,7 kW sebagai penggerak *induces draft fan* (IDF).
5. Menggunakan satu unit *variable frequency drive* (VFD) dengan *rating* tegangan 0,4 kV dan daya 147 kW.

#### 4.2 Pengujian Drop Tegangan

Metode yang digunakan untuk pengujian drop tegangan pada MCC sistem tenaga listrik stasiun *boiler* menggunakan *load flow analysis*, dimana peneliti akan melakukan *running load flow* pada sistem tersebut dan dilakukan dengan dua *case* simulasi, dimana *case* pertama pengujian drop tegangan dilakukan dengan kondisi memberikan perintah *closed* pada *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8, dimana *circuit breaker* tersebut menghubungkan aliran daya pada *variable frequency drive* (VFD) dan kondisi lainnya *circuit breaker* 7 yang menghubungkan aliran daya pada

*Autotransformator* dalam keadaan *open*. Setelah melakukan *running load flow* pada simulasi, maka didapatkan hasil berupa persentase drop tegangan yang terjadi pada pada MCC stasiun *boiler* ketika kondisi *load flow* berjalan menggunakan *variable frequency drive* (VFD) dan dengan menggunakan *Autotransformator*. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar nilai drop tegangan yang terjadi saat diberikan aliran daya pada sistem stasiun *boiler*, sebelum melakukan pengujian lebih lanjut pada *motor starting*.

#### 4.2.1 Pengujian Drop Tegangan Case 1 Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD)

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* di suplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV. Kondisi generator diesel 1 dalam keadaan menyala dan generator diesel 2 dalam keadaan mati, *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *closed* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *open* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*.

Simulasi pada *case* ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai drop tegangan yang terjadi saat diberikan aliran daya pada sistem stasiun *boiler* dengan menggunakan *variable frequency drive* (VFD). Hasil pengujian drop tegangan pada simulasi *load flow case* ini ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil simulasi *Load Flow case* 1

BUS ID	Rating Voltage(kV)	LF Case-1		LF Case-2	
		kV	%	kV	%
BUS 3	0,4	0,399	99,83	0,399	99,86
BUS 6	0,4	0,399	100	0,399	99,86
BUS 5	0,4	0,399	100	0,399	99,86

Dari hasil simulasi *load flow* yang ditunjukkan Tabel 4.1, terlihat bahwa perbedaan penggunaan *variable frequency drive* (VFD) dengan *Autotransformator* cukup memberikan hasil yang signifikan dari pengujian drop tegangan pada sistem stasiun *boiler*, hal tersebut terjadi karena tegangan tetap yang masuk dari suplai menuju *Variable Frequency Drive* (VFD) diubah menjadi tegangan *variable* yang diatur secara otomatis sesuai dengan kebutuhan peralatan dan tidak mengikuti tegangan awal saat suplai diberikan ke berbagai peralatan.

Pada persentase drop tegangan simulasi *load flow case* pertama, terlihat bahwa drop tegangan sebesar 99,83%, hal tersebut terjadi karena aliran daya masih belum melewati *Variable Frequency Drive* (VFD) dan ketika sudah masuk ke dalam sistem *Variable Frequency Drive* (VFD), tegangan akan diubah menjadi tegangan *variable* yang diatur sesuai dengan kebutuhan peralatan. Hal tersebut bisa terlihat ketika aliran daya sudah melewati *Variable Frequency Drive* (VFD) dimana persentase *drop* tegangan menjadi 100%, hal tersebut sangat baik bagi sistem secara keseluruhan, terutama bagi trafo, karena tidak ada pembebanan berlebih yang dapat mengakibatkan kerusakan pada trafo.

#### **4.2.2 Pengujian Drop Tegangan Case 2 Menggunakan *Autotransformator***

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* di suplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV sama seperti *case* pertama. Kondisi generator diesel 1 dan generator diesel 2 dalam keadaan menyala, namun berkebalikan pada *case* pertama yakni kondisi *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *open* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *closed* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*.

Simulasi pada *case* ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai drop tegangan saat diberikan aliran daya dengan menggunakan *Autotransformator* saat melakukan *running* dengan menggunakan ETAP 12.6. Hasil pengujian drop tegangan pada simulasi *load flow case* ini ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil simulasi *Load Flow case 2*

BUS ID	Rating Voltage(kV)	LF Case-1		LF Case-2	
		kV	%	kV	%
BUS 3	0,4	0,399	99,83	0,399	99,86
BUS 6	0,4	0,399	100	0,399	99,86
BUS 5	0,4	0,399	100	0,399	99,86

Pada Tabel 4.2 menyatakan bahwa simulasi *load flow case2*, besar nilai *drop* tegangan yang terjadi pada bus 1, bus 6 dan bus 5 lebih besar dibandingkan dengan simulasi *load flow case 1*. Hal tersebut dikarenakan tegangan  $|V|$  yang melewati *Autotransformator* merupakan tegangan sekunder  $|V_2|$  yang rendah, dimana tegangan  $|V|$  tersebut dinaikkan hingga mencapai nilai *nominal* secara bertahap. Hal lain yang menyebabkan *drop* tegangan pada penggunaan *Autotransformator* lebih besar dibandingkan dengan penggunaan *variable frequency drive* (VFD) adalah lonjakan arus yang besar, karena pada *variable frequency drive* (VFD) nilai frekuensi dan tegangan  $|V|$  yang masuk diatur sesuai dengan kebutuhan sehingga tegangan yang dihasilkan oleh *Variable Frequency Drive* (VFD) lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan *Autotransformator*. Besar nilai *drop* tegangan yang terjadi pada simulasi *load flow case 2* adalah 99,86% di keseluruhan bus karena penggunaan autotransformator tidak mempengaruhi frekuensi  $|V|$ . Berdasarkan hasil dari simulasi *load flow case 1* dan *case 2* maka dapat dituliskan nilai *drop* tegangan yang terjadi pada sistem stasiun *boiler* berdasarkan persamaan (4.1) berikut [13] :

$$\Delta V = V (V_{bus} + V_{bus}) \quad (4.1)$$

Keterangan :

$\Delta V =$  Drop tegangan

$I =$  Besar arus

$K =$  Faktor daya

$R =$  Tahanan saluran (ohm)

$$\begin{aligned}\Delta V &= I \cdot R \cdot K \cdot \sqrt{3} \\ &= 10,68 \text{ V}\end{aligned}\quad (4.1)$$

Maka, rugi tegangan  $|\Delta V|$  pada sistem tenaga listrik stasiun *boiler* adalah 10,68 V.

### 4.3 Pengujian Arus Gangguan

Metode yang digunakan pada pengujian arus gangguan MCC sistem stasiun *boiler* adalah *short circuit analysis*, dimana peneliti akan melakukan *fault* pada keseluruhan MCC dengan bus id bus 3, bus 6 dan bus 5. Pengujian arus gangguan yang terdapat pada sistem stasiun *boiler* dilakukan dengan dua tahap pengujian dengan simulasi *short circuit analysis*, dimana tahap pengujian pertama yaitu simulasi *short circuit case 1*, dilakukan dengan memberikan *fault* pada MCC dengan bus id bus 3, bus 6 dan bus 5 dan dengan kondisi *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *closed* dan *circuit breaker* 7 dalam keadaan *open*. Kondisi tersebut dimaksudkan untuk mengetahui arus gangguan yang terjadi ketika diberikan hubung singkat dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) yang menjadi jalur utama arus listrik ketika *circuit breaker* 7 dalam keadaan *open*.

Pada pengujian kedua, yaitu simulasi *short circuit case 2*, sistem diberikan *fault* di ketiga MCC seperti dengan simulasi *short circuit case 1*, namun yang membedakan simulasi *short circuit case 1* dengan simulasi *short circuit case 2* adalah kondisi pada *circuit breaker*, dimana pada simulasi *short circuit case 2*, *circuit breaker* 7 dalam keadaan *closed* sedangkan *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *open*. Kondisi tersebut dimaksudkan untuk mengetahui arus gangguan yang terjadi ketika diberikan hubung singkat dengan menggunakan *Autotransformator*

yang menjadi jalur utama arus listrik ketika *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *open*.

#### 4.3.1 Pengujian Arus Gangguan Case 1 Menggunakan *Variable Frequency Drive (VFD)*

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* di suplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV. Kondisi generator diesel 1 dalam keadaan menyala dan generator diesel 2 dalam keadaan mati, *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *closed* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *open* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*.

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui arus gangguan yang terdapat pada sistem stasiun *boiler* sebelum akan melakukan simulasi *motor starting* guna memperkirakan dan mencegah gangguan yang terjadi sesaat sebelum pengoperasian sistem secara penuh dengan pembebanan motor 1,7 kW. Hasil dari simulasi *short circuit case 1* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Hasil simulasi *Short Circuit case 1*

Bus Information		Device Information	Momentary Duty		Device Capability	
ID	kV	Type	Asymm.	Asymm.	Asymm.	Asymm.
			kA rms	kA rms	kA rms	kA rms
BUS 3	0,4	MCC	0,133	0,193	68	84,8
BUS 6	0,4	MCC	0,423	0,598	68	84,8
BUS 5	0,4	MCC	0,423	0,423	68	58

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa nilai arus hubung singkat *momentary* simetris, asimetris terbesar terjadi pada bus 6 yaitu sebesar 0,423 kA; 0,598 kA dan *device capability* simetris, dan asimetris terbesar terjadi pada bus 3 dan bus 6, yaitu sebesar 68 kA; 84,8 kA.

Nilai arus hubung singkat yang terjadi pada *busbar* 6 masih lebih kecil jika dibandingkan ketahanan peralatannya, baik itu arus hubung singkat simetris dan arus hubung singkat asimetris. Hal ini menunjukkan bahwa, simulasi *short circuit case 1*, arus gangguan yang terjadi pada semua *busbar* masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan ketahanan peralatannya, yang disebabkan secara keseluruhan sistem *boiler* merupakan sebuah sistem tenaga listrik yang masih cukup sederhana dan memiliki beban yang tergolong kecil dan juga penggunaan kabel pada sistem sangat pendek yaitu hanya 15 meter dimana arus gangguan sangat berpengaruh pada panjang dan jenis kabel yang digunakan.

#### **4.3.2 Pengujian Arus Gangguan Case 2 Menggunakan Autotransformator**

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* disuplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV. Kondisi generator diesel 1 dan generator diesel 2 dalam keadaan menyala, *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *open* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *closed* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*. Hasil dari simulasi *short circuit case 2* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut :



Tabel 4.4 Hasil simulasi *Short Circuit case 2*

Bus Information		Device Information	Momentary Duty		Device Capability	
ID	kV	Type	symm.	Asymm.	symm.	Asymm.
			kA rms	kA rms	kA rms	kA rms
BUS 3	0,4	MCC	0,143	0,143	68	84,8
BUS 6	0,4	MCC	0,143	0,143	68	84,8
BUS 5	0,4	MCC	0,143	0,143	68	58

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai arus hubung singkat *momentary* simetris, asimetris terbesar terjadi pada bus 3 dan bus 6 yaitu sebesar 0,143 kA; 0,143 kA dan *device capability* simetris, dan asimetris terbesar terjadi pada bus 3 dan bus 6, yaitu sebesar 68 kA; 84,8 kA.

Nilai arus hubung singkat *momentary* yang terjadi pada sistem stasiun *boiler* masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kapabilitas peralatannya, baik arus hubung singkat simetris dan arus hubung singkat asimetris. Hal tersebut menunjukkan bahwa, pengujian arus gangguan *case 2* Menggunakan *Autotransformator* semua *busbar* yang berada di sistem stasiun *boiler* masih mampu untuk menahan arus hubung singkat, selama nilai kapabilitas peralatannya masih lebih besar dari pada besar nilai arus gangguan.

#### 4.4 Pengujian Motor Starting

Pengujian *motor starting* pada penelitian ini diperlukan untuk melihat kestabilan sistem ketika sebuah motor di jalankan dan untuk melihat lonjakan arus yang terjadi jika suplai diberikan

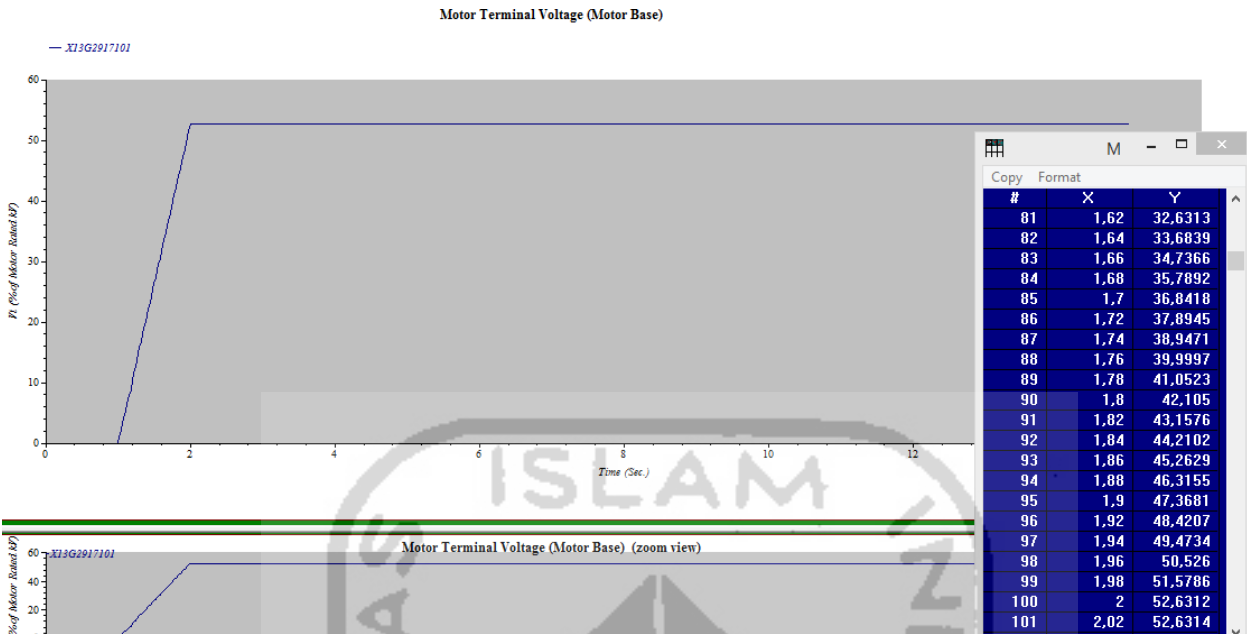
secara bersamaan ataupun secara terpisah dengan dua sistem generator diesel sebagai pembangkitan utama.

Motor yang digunakan di stasiun *boiler* merupakan jenis motor induksi. Saat motor induksi *distart* maka motor tersebut akan menarik arus yang besar yang disebut sebagai *Locked Rotor Current* (LRC) dan selanjutnya akan menghasilkan gaya putar atau torsi yang disebut sebagai *Locked Rotor Torque*. Arus *start* yang tinggi juga dapat disebabkan oleh nilai impedansi ketika dilakukan *start*. Ketika motor induksi *distart* arus yang dibutuhkan dapat mencapai 4 sampai 7 kali lipat dari arus nominalnya hal ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada bus-bus disekitar motor yang dilakukan *start* tersebut. Untuk mengetahui pengaruh *motor starting* yang ada pada stasiun *boiler* maka diperlukan analisis *motor starting* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

#### **4.4.1 Pengujian Motor Starting Case1 Menggunakan Variable Frequency Drive (VFD)**

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* di suplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV. Kondisi generator diesel 1 dalam keadaan menyala dan generator diesel 2 dalam keadaan mati, *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *closed* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *open* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*.

Pengujian motor *starting* pada *case* ini bertujuan mensimulasikan motor *starting* pada sistem stasiun boiler dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengetahui pengaruh *starting* motor X13G2917101 terhadap kestabilan pada sistem stasiun *boiler* ketika semua bebannya di suplai oleh satu trafo dan dengan penggunaan satu generator diesel sebagai pembangkitan utama pada sistem *boiler*. Hasil simulasi pengujian motor *starting* ditunjukkan oleh Gambar 4.1 berikut ini :



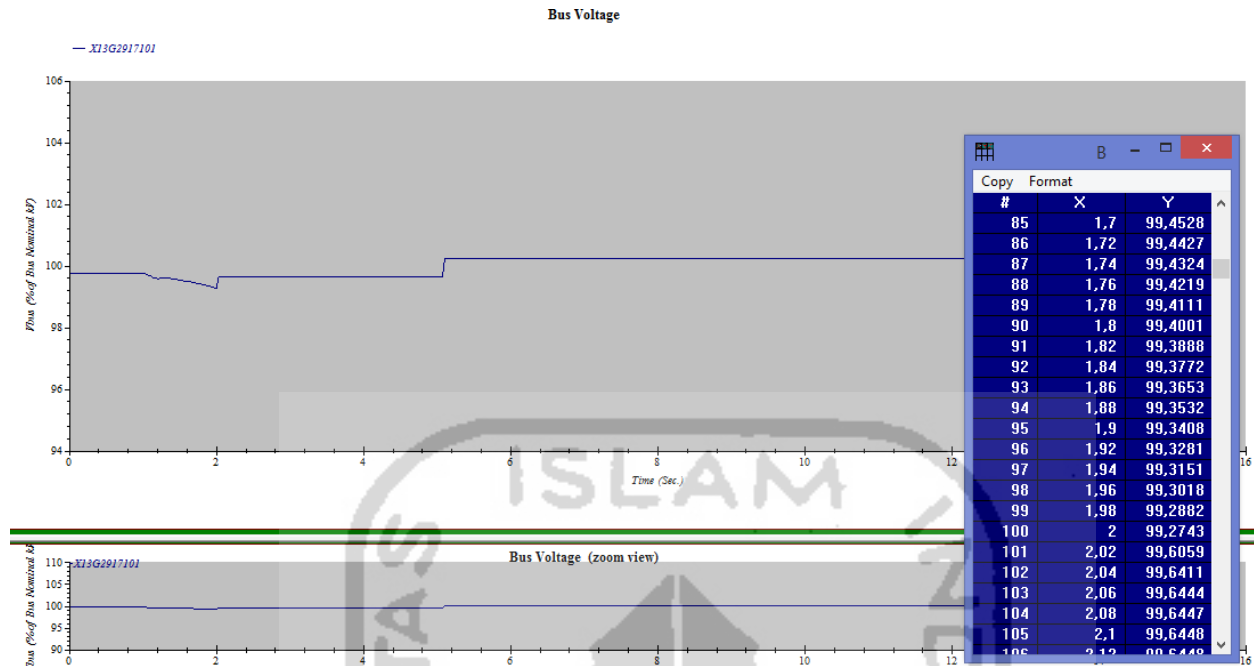
Gambar 4.1 Tegangan terminal motor X13G2917101 case 1

Tabel 4.5 Tegangan terminal motor saat *motor starting* case 1 dengan VFD

TEGANGAN TERMINAL MOTOR		
% V Sebelum Start	% V Ketika Start	% V Steady State
0	1,05253	52,6213

Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.1 tersebut, terlihat bahwa pada detik ke- 0 sampai detik ke- 1, tegangan pada terminal motor bernilai 0. Selanjutnya pada detik ke- 1,02 motor X13G2917101 di *start* dengan lama *start* adalah 1 detik. Terlihat bahwa pada detik ke- 1,02 tegangan pada motor naik menjadi 1,05253%. Butuh waktu selama 1 detik bagi motor untuk mencapai kondisi *steady state*. Setelah mencapai kondisi *steady state*, tegangan pada terminal motor meningkat menjadi 52,6213%. Ketika saat di *start*, motor tidak bisa langsung mencapai kondisi *steady state* nya, karena membutuhkan waktu terlebih dahulu untuk meng-*energize* komponen-komponen yang ada di dalamnya.

Setelah mengetahui tegangan pada terminal motor, simulasi ini juga menampilkan tegangan pada bus yang di tunjukan pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Tegangan bus saat *starting* motor *case 1* dengan VFD

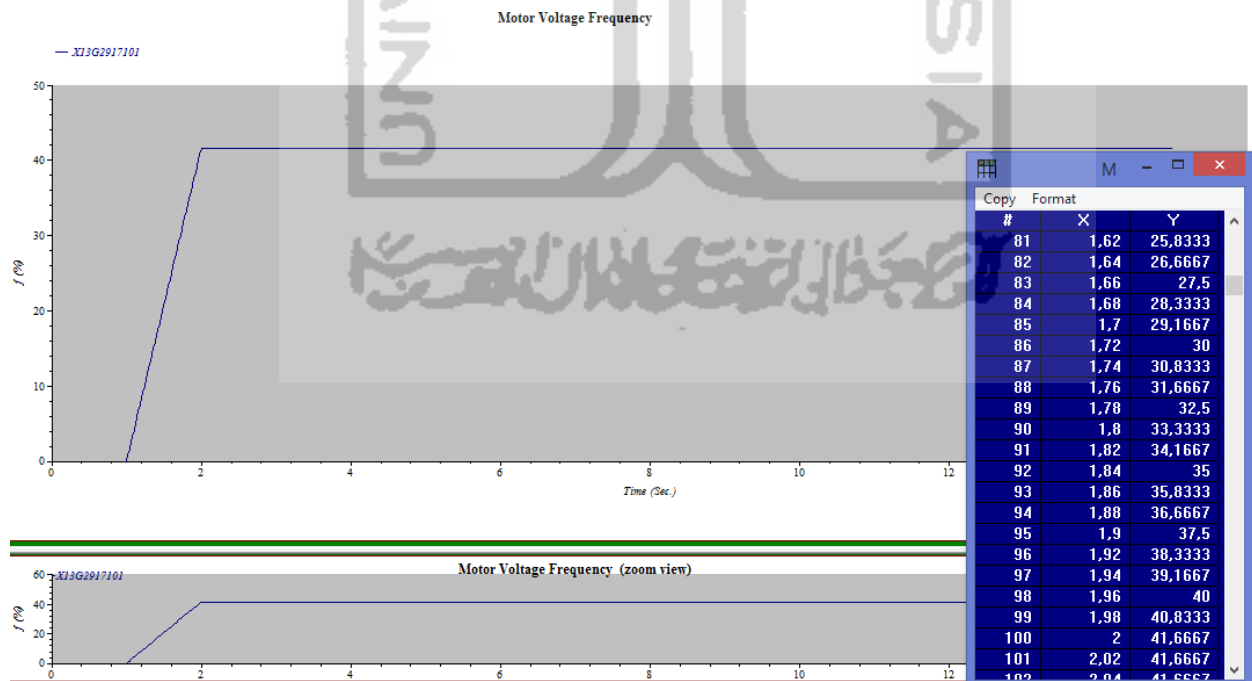
Tabel 4.6 Tegangan bus saat *starting* motor *case 1* dengan VFD

TEGANGAN BUS		
% V Sebelum Start	% V Ketika Start	% V Steady State
99,75	99,7458	100,238

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.2, Sebelum di *start*, tegangan yang ada di bus 5 sebesar 99,75%. Ketika motor X13G2917101 distart pada detik ke- 1,02, terjadi *drop* tegangan pada bus tersebut. Hal ini terjadi karena ketika motor distart, motor tersebut membutuhkan arus yang besar melebihi dari *full load amperenya*. Hal ini menyebabkan *drop* tegangan pada bus di sekitar motor tersebut ketika distart. *Drop* tegangan yang terjadi ketika motor tersebut distart adalah 0,0042% yaitu menjadi 99,7458% dari tegangan bus. *Drop* tegangan tersebut masih sangat kecil saat *starting* motor, hal tersebut disebabkan penggunaan beban motor dengan daya yang kecil yakni 1,7 kW dan penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada sistem *starting* motor memberikan

dampak mengecilnya arus saat *starting* motor dan memperkecil *drop* tegangan yang terjadi pada bus di sekitar motor tersebut. *Drop* tegangan yang besar harus dihindari karena dapat menyebabkan gangguan pada peng-operasian beban yang lain. *Drop* tegangan tersebut terjadi selama durasi motor X13G2917101 distart, yaitu selama 1 detik. Pada detik ke- 2 tegangan naik menjadi 99,2743% dimana *Variable Frequency Drive* (VFD) menaikkan kembali tegangan ke kondisi *steady state* secara bertahap. Tegangan baru mencapai kondisi *steady state* pada detik ke- 5,1 dengan tegangan 100,238%. Terjadi kenaikan besar tegangan pada bus karena, *Variable Frequency Drive* (VFD) mengatur kembali frekuensi tegangan nominal menjadi tegangan variabel, di sini lah peran dari *Variable Frequency Drive* (VFD) tersebut mengatur frekuensi tegangan sesuai dengan yang dibutuhkan peralatan.

Hasil analisa *starting* motor selanjutnya adalah frekuensi tegangan yang merupakan salah satu faktor penting dalam menstabilkan tegangan saat motor distart, dimana seperti yang sudah dibahas pada hasil drop tegangan pada bus simulasi *starting* motor case 1, bahwa saat motor distart, akan timbul *drop* tegangan yang terjadi pada bus di sekitar motor tersebut, dimana *Variable Frequency Drive* (VFD) memperkecil nilai *drop* tegangan dari frekuensi tegangan nominal menjadi frekuensi tegangan variabel sesuai dengan kebutuhan. Frekuensi tegangan pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut :



Gambar 4.3 Tegangan frekuensimotor X13G2917101 case 1

Tabel 4.7 Tegangan frekuensi motor saat *starting* motor *case* 1 dengan VFD

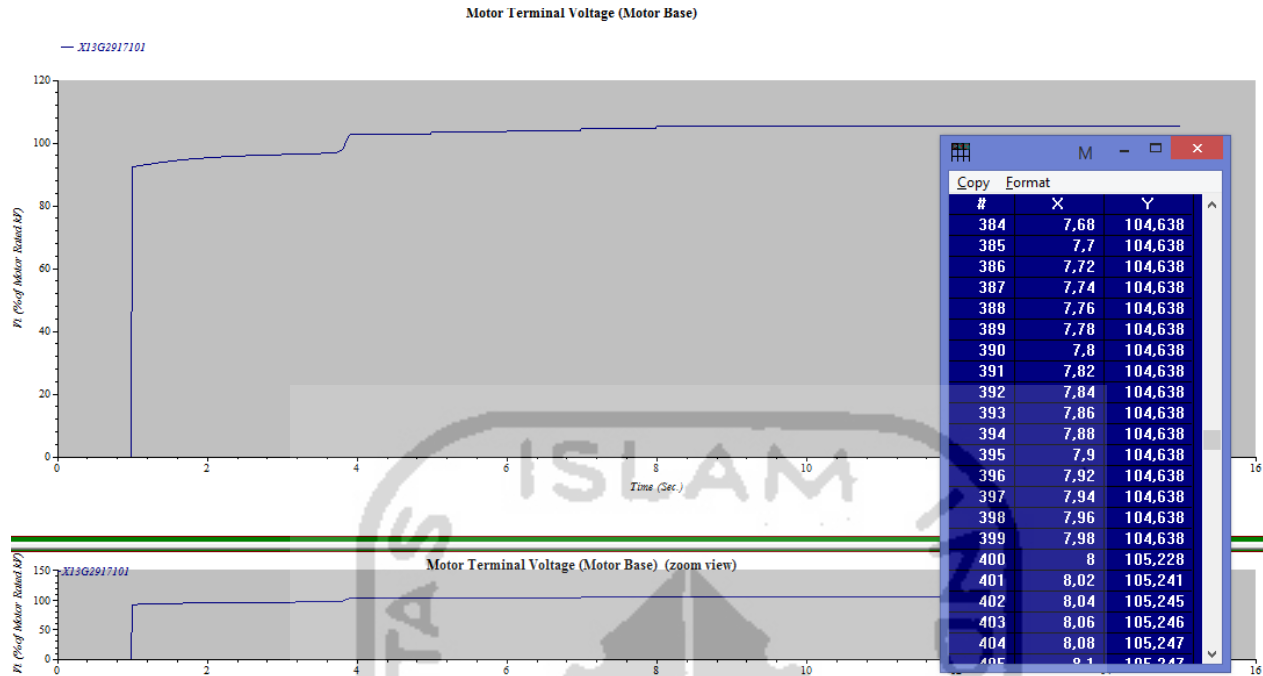
MOTOR VOLTAGE FREQUENCY		
% □ Sebelum Start	% □ Ketika Start	% □ Steady State
0	0,833335	41,6667

Pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.3 tersebut, dapat dilihat bahwa pada detik ke- 0 sampai detik ke- 1,02, frekuensi tegangan pada motor X13G2917101 masih bernilai 0. Kemudian pada detik ke- 1,02 motor X13G2917101 distart dengan lama *start* adalah 1 detik. Terlihat bahwa pada detik ke- 1,02, frekuensi tegangan pada motor naik menjadi 0,833335%. Saat motor distart frekuensi tegangan pada motor naik secara bertahap selama 1 detik untuk mencapai titik *steady state*. Pada detik ke- 2, frekuensi tegangan naik menjadi 41,6667% yang merupakan titik *steady state*. Secara keseluruhan, frekuensi tegangan pada motor membutuhkan waktu selama 2 detik untuk mencapai kondisi *steady state*. *Variable Frequency Drive* (VFD) mengubah input frekuensi tegangan *nominal* dari sumber menjadi frekuensi tegangan variabel untuk di teruskan ke beban motor X13G2917101.

#### 4.4.2 Pengujian Motor *Starting Case*2 Menggunakan *Autotransformator*

Pada *case* ini, beban pada sistem stasiun *boiler* di suplai oleh satu trafo *low voltage* dengan *rating* tegangan 0,4 kV. Kondisi generator diesel 1 dan generator diesel 2 dalam keadaan menyala, *circuit breaker* 6 dan *circuit breaker* 8 dalam keadaan *open* dan kondisi *circuit breaker* 7 dalam keadaan *closed* dan beban motor X13G2917101 dalam keadaan *on*.

Pengujian motor *starting* pada *case* ini bertujuan mensimulasikan motor *starting* pada sistem stasiun *boiler* dengan menggunakan *Autotransformator* untuk mengetahui pengaruh *starting* motor X13G2917101 terhadap kestabilan pada sistem stasiun *boiler* ketika semua bebannya di suplai oleh satu trafo dan dengan penggunaan dua generator diesel sebagai pembangkitan utama pada sistem *boiler*.



Gambar 4.4 Tegangan terminal motor X13G2917101 case 2

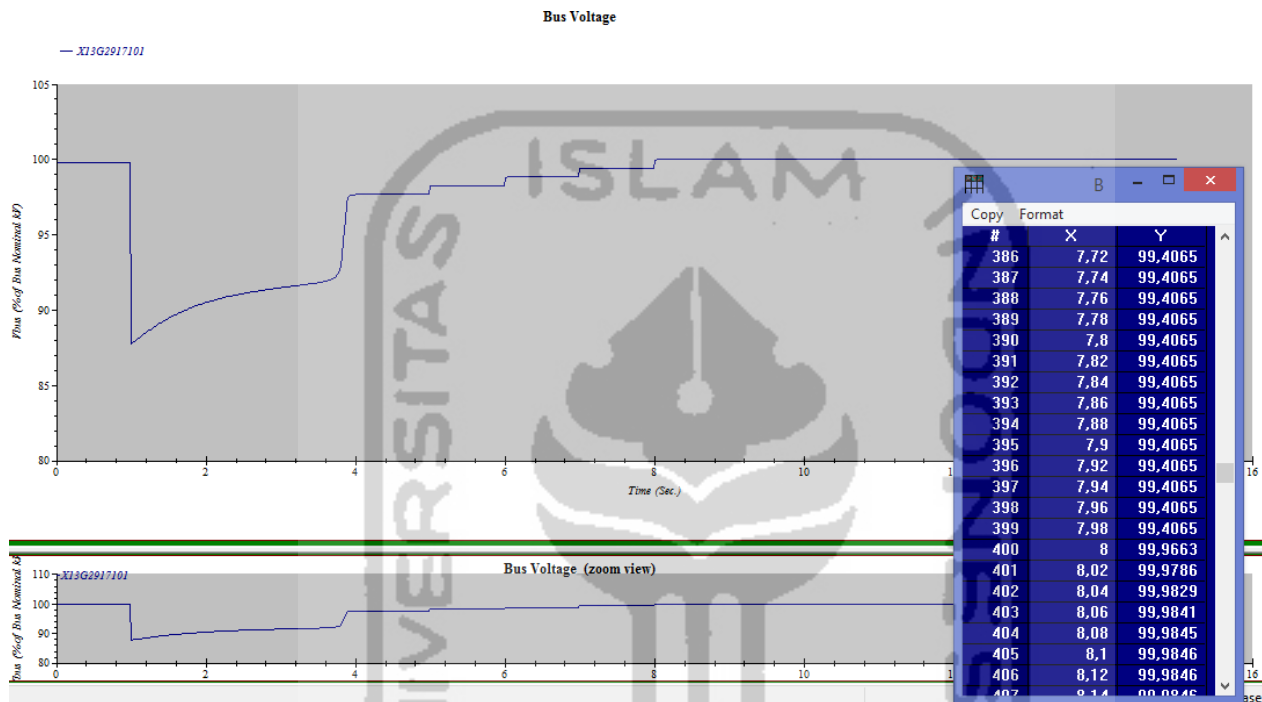
Tabel 4.8 Tegangan terminal motor saat *starting* motor case 2 dengan *Autotransformator*

TEGANGAN TERMINAL MOTOR		
% V Sebelum Start	% V Ketika Start	% V Steady State
0	92,374	105,247

Dari data Tabel 4.8 dan Gambar 4.4, terlihat bahwa pada detik ke- 0 sampai detik ke- 1, tegangan pada terminal motor bernilai 0. Selanjutnya pada detik ke- 1 motor X13G2917101 di *start* dengan lama *start* adalah 8,08 detik. Terlihat bahwa pada detik ke- 1 tegangan pada motor naik menjadi 92,374%. Butuh waktu selama 7,08 detik bagi motor untuk mencapai kondisi *steady state*. Lamanya motor untuk mencapai kondisi *steady state* karena, *Autotransformator* membutuhkan waktu untuk menaikkan tegangan sekunder ke tegangan nominalnya secara berangsur-angsur. Setelah mencapai kondisi *steady state*, tegangan pada terminal motor meningkat

menjadi 105,247%. Ketika saat di *start*, motor tidak bisa langsung mencapai kondisi *steady state* nya, karena membutuhkan waktu terlebih dahulu untuk meng-*energize* komponen-komponen yang ada di dalamnya.

Setelah mengetahui tegangan pada terminal motor, simulasi ini juga menampilkan tegangan pada bus yang di tunjukan pada Gambar 4.5 berikut :



Gambar 4.6 Tegangan bussaat *starting* motor case 2 dengan Autotransformator

Tabel 4.9 Tegangan bus saat *starting* motor case 2 dengan Autotransformator

TEGANGAN BUS		
% V Sebelum Start	% V Ketika Start	% V Steady State
99,751	87,7553	99,9846

Hasil pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.5, sesaat motor sebelum di *start*, tegangan yang ada di bus 5 sebesar 99,751%. Ketika motor X13G2917101 di *start* pada detik ke- 1, terjadi *drop* tegangan pada bus tersebut. Hal ini terjadi karena ketika motor di *start*, motor tersebut membutuhkan arus



yang besar melebihi dari *full load amperenya*. Hal ini menyebabkan *drop* tegangan pada bus di sekitar motor tersebut ketika *distart*. *Drop* tegangan yang terjadi ketika motor tersebut *distart* adalah 12,2447% yaitu menjadi 87,7553% pada tegangan bus. *Drop* tegangan tersebut sangat besar saat *starting* motor, hal tersebut disebabkan *Autotransformator* membutuhkan waktu untuk menaikkan tegangan mencapai tegangan nominal secara bertahap. *Drop* tegangan yang besar harus dihindari karena dapat menyebabkan gangguan pada peng-operasian beban yang lain. *Drop* tegangan tersebut terjadi selama durasi motor X13G2917101 *distart*, yaitu selama 0,8 detik ketika saat motor *distart*. Pada detik ke- 1,08 tegangan naik menjadi 88,0542%. Tegangan baru mencapai kondisi *steady state* pada detik ke- 8,1 dengan tegangan 99,9846%. Butuh waktu 7,1 detik bagi *Autotransformator* untuk menaikkan ke tegangan *nominal*.

Pada *case* ini, tidak terdapat hasil frekuensi tegangan ketika motor *distart*, karena penggunaan *Autotransformator* pada simulasi *starting* motor tidak mengatur tegangan nominal menjadi tegangan variabel dengan frekuensi, namun hanya memperkecil *drop* tegangan dan menaikkan tegangan secara bertahap ke tegangan nominalnya kembali.

Pengujian motor *starting case* 1 dan *case* 2, peneliti tidak hanya mensimulasikan sistem *starting* motor pada stasiun *boiler* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6, namun juga melakukan pengamatan langsung dari pengujian *starting* motor dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan menggunakan *Autotransformator*. Pada setiap pengamatan *start* dan dalam keadaan *normal* pada motor, diberikan 5 sampel dengan masing-masing sampel diambil selama 1 menit dan untuk 5 menit pertama merupakan waktu dimana motor dalam keadaan *start*, dan 5 menit terakhir motor dalam keadaan *normal*. Pada pengamatan *starting* motor menggunakan *autotransformator*, sampel yang diambil ada 10 sampel dimana 5 sampel pada saat *start* dan 5 sampel pada saat keadaan *normal*.

Hasil dari pengamatan tersebut diperoleh data *starting* motor pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 berikut :

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	25 Hz	140 A	771	43 %	207 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	163 A	1500	53 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	222 A	1500	74 %	366 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	230 A	1500	76 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	225 A	1500	68%	360 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.7 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan Autotransformator saat kondisi start

Pengambilan Data 1 (Saat Keadaan Normal)

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	50 Hz	223 A	1500	75 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	221 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	222 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	221 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	175 A	1500	57%	357 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.8 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan Autotransformator saat keadaan berjalan normal

Pada saat *start*, arus pada motor mencapai 230 A untuk titik tertingginya dengan tegangan yang secara terus menerus ketika *start* dilakukan, mengikuti *speed* motor (*rpm*) yang juga semakin lama semakin tinggi hingga sampai pada titik 1500 *rpm*. Saat kondisi ruang bakar (*boiler*) pada kondisi dingin atau dibawah suhu optimal saat *start* awal, arus yang dibutuhkan motor *Induces Draft Fan* (IDF) untuk membuang uap sisa pembakaran yaitu 140 A – 225 A, namun saat kondisi ruang bakar (*boiler*) untuk turbin dalam kondisi dengan suhu yang optimal dan berjalan normal, maka arus yang dibutuhkan juga semakin kecil, hingga ke titik 180 A.

Dalam kondisi motor distart menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), lonjakan arus yang terjadi tidak melebihi 300 A dan ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady*

state, lonjakan arus saat *start* secara bertahap berkurang hingga pada titik 175 A. Namun ketika motor distart menggunakan *Autotransformator*, lonjakan arus yang terjadi sangat besar hingga melebihi *Full Load Ampere* (FLA) pada motor yakni 600 A dari *Full Load Ampere* (FLA) motor 288 Amps. ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, arus yang terjadi masih tetap sama yakni 600 A. Hal tersebut tidak efisien dengan status pada sistem pengolahan pabrik kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk adalah *intermitten*.

Sementara itu, hasil pengamatan di hari ke- 2 yang dilakukan pada tanggal 24 Februari 2020, dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 di bawah ini :

**Pengambilan Data 2 (Saat Start)**

24 Februari 2020

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan <i>Autotransformator</i>				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	32 Hz	143 A	967	47 %	260 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	176 A	1500	58 %	362 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	181 A	1500	60%	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	170 A	1500	56 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	173 A	1500	57%	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.9 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat kondisi *start*

**Pengambilan Data 2 (Saat Keadaan Normal)**

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan <i>Autotransformator</i>				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	50 Hz	206 A	1500	69 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	206 A	1500	69 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	199 A	1500	67 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	190 A	1500	69 %	362 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	180 A	1500	60 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.10 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat keadaan berjalan *normal*

Pada saat *start*, arus pada motor mencapai 181 A untuk titik tertingginya dengan tegangan yang secara terus menerus ketika *start* dilakukan, mengikuti *speed* motor (*rpm*) yang juga semakin lama semakin tinggi hingga sampai pada titik 1500 *rpm*. Saat kondisi ruang bakar (*boiler*) pada

kondisi dingin atau dibawah suhu optimal saat *start* awal, arus yang dibutuhkan motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk membuang uap sisa pembakaran yaitu 143 A – 181 A. Pada pengamatan ini, lonjakan arus saat *starting* motor lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pengamatan pertama, hal tersebut disebabkan oleh operasional yang tidak menentu dalam melakukan pemanasan ruang bakar (*boiler*), dimana pemanasan ruang bakar dapat dilakukan selama 15 - 30 menit untuk mendapatkan suhu yang optimal pada ruang bakar (*boiler*) sebelum motor *distart*. Arus *start* yang stabil dan kecil diperlukan agar tidak terjadi vibrasi berlebih dan *overheat* pada motor yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan.

Dalam kondisi motor *distart* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), lonjakan arus yang terjadi tidak melebihi 300 A dan ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, lonjakan arus saat *start* secara bertahap berkurang hingga pada titik 180 A. Namun ketika motor *distart* menggunakan *Autotransformator*, lonjakan arus yang terjadi sangat besar hingga melebihi *Full Load Ampere* (FLA) pada motor yakni 600 A dari *Full Load Ampere* (FLA) motor 288 Amps. ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, arus yang terjadi masih tetap sama yakni 600 A. Hal tersebut tidak efisien dengan status pada sistem pengolahan pabrik kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk adalah *intermitten*.

Sementara itu, hasil pengamatan di hari ke- 3 yang dilakukan pada tanggal 26 Februari 2020, dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 di bawah ini :

**Pengambilan Data 3 (Saat Start)**

26 Februari 2020

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan <u>Autotransformator</u>				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	32 Hz	145 A	973	48 %	261 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	211 A	1500	71 %	366 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	212 A	1500	71%	366 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	219 A	1500	74%	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	213 A	1500	72%	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.11 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat kondisi *start*

**Pengambilan Data 3 (Saat Keadaan Normal)**

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	50 Hz	213 A	1500	71 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	206 A	1500	69 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	206 A	1500	69 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	199 A	1500	67 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	180 A	1500	63 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.12 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat keadaan berjalan *normal*

Pada saat *start*, arus pada motor mencapai 219 A untuk titik tertingginya dengan tegangan yang secara terus menerus naik ketika *start* dilakukan, mengikuti *speed* motor (*rpm*) yang juga semakin lama semakin tinggi hingga sampai pada titik 1500 *rpm*. Saat kondisi ruang bakar (*boiler*) pada kondisi dingin atau dibawah suhu optimal saat *start* awal, arus yang dibutuhkan motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk membuang uap sisa pembakaran yaitu 145 A – 219 A. Saat kondisi pembakaran pada *boiler* dalam keadaan stabil, dimana menghasilkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan memberikan dampak baik bagi sirkulasi udara yang ada pada ruang bakar (*boiler*). Arus yang stabil saat *start* ataupun saat kondisi *normal* diperlukan untuk menjaga sirkulasi pembuangan dengan hasil pembakaran yang berjalan dengan baik. Saat kondisi pembakaran pada *boiler* dalam keadaan stabil, dimana menghasilkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan memberikan dampak baik bagi sirkulasi udara yang ada pada ruang bakar (*boiler*).

Dalam kondisi motor distart menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), lonjakan arus yang terjadi tidak melebihi 300 A dan ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, lonjakan arus saat *start* secara bertahap berkurang hingga pada titik 180 A. Namun ketika motor distart menggunakan *Autotransformator*, lonjakan arus yang terjadi sangat besar hingga melebihi *Full Load Ampere* (FLA) pada motor yakni 600 A dari *Full Load Ampere* (FLA) motor 288 Amps. ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, arus yang terjadi masih tetap sama yakni 600 A. Hal tersebut tidak efisien dengan status pada sistem pengolahan pabrik kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk adalah *intermitten*. Selanjutnya untuk hasil

pengamatan di hari ke- 4 yang dilakukan pada tanggal 27 Februari 2020, dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 di bawah ini :

Pengambilan Data 4 (Saat Start)

27 Februari 2020

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	18 Hz	143 A	541	35 %	144 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	234 A	1400	55 %	363 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	48 Hz	250 A	1455	86 %	362 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	213 A	1500	72%	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	210 A	1500	60%	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.13 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan Autotransformator saat kondisi start

Pengambilan Data 4 (Saat Keadaan Normal)

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	50 Hz	206 A	1500	69 %	364 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	206 A	1500	69 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	199 A	1500	67 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	190 A	1500	69 %	362 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	180 A	1500	60 %	365 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.14 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan Autotransformator saat keadaan berjalan normal

Pada saat *start*, arus pada motor mencapai 143 A untuk titik tertingginya dengan tegangan yang secara terus menerus naik ketika *start* dilakukan, mengikuti speed motor (*rpm*) yang juga semakin lama semakin tinggi hingga sampai pada titik 1500 *rpm*. Saat kondisi ruang bakar (*boiler*) pada kondisi dingin atau dibawah suhu optimal saat *start* awal, arus yang dibutuhkan motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk membuang uap sisa pembakaran yaitu 143 A – 250 A. Saat kondisi pembakaran pada *boiler* dalam keadaan stabil, dimana menghasilkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan memberikan dampak baik bagi sirkulasi udara yang ada pada ruang bakar (*boiler*). Pada saat *start*, kondisi *boiler* belum pada kondisi suhu yang ideal, sehingga pada kondisi tersebut, motor akan memerlukan daya lebih untuk

meningkatkan sirkulasi udara pada ruang bakar (*boiler*), hingga pembakaran tersebut menghasilkan uap bertekanan tinggi yang ideal.

Dalam kondisi motor *distart* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), lonjakan arus yang terjadi tidak melebihi 300 A dan ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, lonjakan arus saat *start* secara bertahap berkurang hingga pada titik 180 A. Namun ketika motor *distart* menggunakan *Autotransformator*, lonjakan arus yang terjadi sangat besar hingga melebihi *Full Load Ampere* (FLA) pada motor yakni 600 A dari *Full Load Ampere* (FLA) motor 288 Amps. ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, arus yang terjadi masih tetap sama yakni 600 A. Hal tersebut tidak efisien dengan status pada sistem pengolahan pabrik kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk adalah *intermitten*. Untuk hasil pengamatan di hari ke- 4 yang dilakukan pada tanggal 27 Februari 2020, dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 di bawah ini :

Pengambilan Data 5 (Saat Start)

28 Februari 2020

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan <u>Autotransformator</u>				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	36 Hz	161 A	1101	64 %	297 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	222 A	1500	74 %	356 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	222 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	223 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	225 A	1500	68%	360 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.15 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat kondisi *start*

**Pengambilan Data 5 (Saat Keadaan Normal)**

No	Starting Motor ID Fan (VFD)					Starting Motor ID Fan Autotransformator				
	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)	Frequency (Hz)	Motor Current (A)	Motor Speed (rpm)	Motor Torque (%)	Motor Voltage (V)
1.	50 Hz	225 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
2.	50 Hz	221 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
3.	50 Hz	222 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
4.	50 Hz	221 A	1500	74 %	358 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V
5.	50 Hz	175 A	1500	57%	357 V	50 Hz	600 A	1500	-	380 V

Gambar 4.16 Perbandingan hasil pengamatan menggunakan VFD dan *Autotransformator* saat kondisi *normal*

Tegangan yang secara terus menerus naik ketika *start* dilakukan, mengikuti *speed* motor (*rpm*) yang juga semakin lama semakin tinggi hingga sampai pada titik 1500 *rpm*. Saat kondisi ruang bakar (*boiler*) pada kondisi dingin atau dibawah suhu optimal saat *start* awal, arus yang dibutuhkan motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk membuang uap sisa pembakaran yaitu 143 A – 250 A. Saat kondisi pembakaran pada *boiler* dalam keadaan stabil, dimana menghasilkan panas yang cukup untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang akan memberikan dampak baik bagi sirkulasi udara yang ada pada ruang bakar (*boiler*). Arus saat *start* cukup tinggi jika dibandingkan beberapa percobaan sebelumnya, hal tersebut dikarenakan, pada saat *VFD* (*Variable Frequency Drive*) dihidupkan, kondisi suhu pada ruang bakar (*Boiler*) belum mencapai titik optimal, sehingga memerlukan waktu bagi Motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk memberikan sirkulasi udara yang cukup baik pada ruang bakar. Saat kondisi *normal* (3 – 10 menit), arus saat kondisi *normal* secara bertahap menurun karena suhu pada ruang bakar (*Boiler*) sudah mencapai suhu yang optimal dan sirkulasi udara pada ruang bakar juga sudah pada kondisi yang stabil.

Dalam kondisi motor distart menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), lonjakan arus yang terjadi tidak melebihi 300 A dan ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, lonjakan arus saat *start* secara bertahap berkurang hingga pada titik 175 A. Namun ketika motor distart menggunakan *Autotransformator*, lonjakan arus yang terjadi sangat besar hingga melebihi *Full Load Ampere* (FLA) pada motor yakni 600 A dari *Full Load Ampere* (FLA) motor 288 Amps. ketika motor dalam kondisi berjalan *normal* atau *steady state*, arus yang terjadi masih tetap sama yakni 600 A. Dari simulasi dan pengolahan data percobaan yang sudah dilakukan,



diketahui bahwa penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* saat motor induksi dalam kondisi *start* sangat berpengaruh besar, dimana dengan pembangkit berkapasitas 410 kVA dan 500 kVA, menghasilkan daya aktif sebesar 161,29 kW dengan daya reaktif sebesar 263,391 kVAR ketika menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan ketika menggunakan *Autotransformator* menghasilkan daya aktif sebesar 319,77 kW dengan besar daya reaktif 479,37 kVAR. Hal tersebut tidak efisien dengan status pada sistem pengolahan pabrik kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk adalah *intermitten*.

#### **4.5 Analisa Ekonomi *Starting Motor* Menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator***

Analisa ini merupakan bagian dari analisa motor *starting* yang sudah dibahas sebelumnya, pada analisa ini, data yang diperoleh merupakan data yang bersumber dari pemakaian listrik *non* PLN PT. Salim Ivomas Pratama Tbk untuk pengoperasian stasiun *boiler*. Analisa ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbandingan pengoperasian stasiun *boiler* menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan menggunakan *Autotransformator* saat *starting* motor induksi 3-phase dengan melakukan perhitungan penghematan energi listrik, penghematan biaya per-bulan dan investasi jangka panjang dari penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD) dan *Autotransformator* sebagai perbandingan efisiensi kedua alat tersebut.

Analisa ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data pemakaian energi listrik PT. Salim Ivomas Pratama Tbk untuk pemakaian bulan Mei 2020 yang dihitung mulai dari tanggal 4 Mei sampai tanggal 31 Mei 2020. Data yang diperoleh merupakan hasil dari pengoperasian sistem *boiler* dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.10 Hasil pemakaian energi listrik setelah menggunakan VFD

Tanggal	kWH Meter			CT/5	kWH (4 x5)
	Awal Bulan	Akhir Bulan	Selisih kWH Meter (3-2)	1150	
1	2	3	4	5	6
04 Mei 2020	11.292	11.295	3	230	690
05 Mei 2020	11.295	11.300	5	230	1.150
06 Mei 2020	11.300	11.302	2	230	460
07 Mei 2020	11.302	11.302	0	230	0
08 Mei 2020	11.302	11.305	3	230	690
09 Mei 2020	11.305	11.307	2	230	460
10 Mei 2020	11.307	11.307	0	230	0
11 Mei 2020	11.307	11.309	2	230	460
12 Mei 2020	11.309	11.312	3	230	690
13 Mei 2020	11.312	11.312	0	230	0
14 Mei 2020	11.312	11.312	0	230	0
15 Mei 2020	11.312	11.313	1	230	230
16 Mei 2020	11.313	11.315	2	230	460
17 Mei 2020	11.315	11.315	0	230	0

18 Mei 2020	11.315	11.318	3	230	690
19 Mei 2020	11.318	11.320	2	230	460
20 Mei 2020	11.320	11.321	1	230	230
21 Mei 2020	11.321	11.321	0	230	0
22 Mei 2020	11.321	11.323	2	230	460
23 Mei 2020	11.323	11.323	0	230	0
24 Mei 2020	11.325	11.325	0	230	0
25 Mei 2020	11.325	11.325	0	230	0
26 Mei 2020	11.325	11.326	1	230	230
27 Mei 2020	11.326	11.328	3	230	690
28 Mei 2020	11.328	11.329	1	230	230
29 Mei 2020	11.329	11.331	2	230	460
30 Mei 2020	11.331	11.332	1	230	230
31 Mei 2020	11.332	11.332	0	230	0
	Jumlah				8.970

Data tersebut merupakan pemakaian listrik pada pabrik pengolahan kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk selama bulan Mei 2020. Penggunaan energi listrik tersebut menggunakan sumber *non* PLN, dengan satu generator diesel berkapasitas 500 kVA sebagai sumber utamanya. Penggunaan satu generator diesel berkapasitas 500 kVA, merupakan salah satu penghematan yang dapat diperoleh dari penggunaan *Variable Frequency Drive* (VFD). Dapat dilihat bahwa total

kWh meter pada pengolahan bulan Mei yaitu 8.970 kWh dengan pemakaian energi listrik perhari 11.292 kWh hingga 11.332 kWh untuk pemakaian terbesar dan dengan selisih pemakaian energi listrik terbesar 5 kWh. Selisih kWh tersebut diperoleh dengan menggunakan perhitungan (4.3) berikut :

$$\begin{aligned} & \text{□□□□□□ □□□} \\ &= \text{□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□ - □□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□} \\ &= \text{□□□□□□ □□ □□□□□□□□ □□□□□□ □□□□ □□ □□□□ □□□□} \end{aligned} \tag{4.3}$$

Hasil perhitungan tersebut dikonversikan menjadi arus yang lebih kecil, menggunakan *Current Transformer* (CT) dengan rasio  $\frac{1150}{5}$  yang menampilkan nilai pembacaan arus dengan nilai yang lebih kecil menggunakan perhitungan (4.4) berikut :

$$\text{□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□ □□□□ □□□□ □□□□ (□□□□) □} \tag{4.4}$$

Arus yang telah dikonversi oleh *Current Transformer* (CT) akan di konversi kembali ke arus sebenarnya, dimana arus yang sudah dikonversikan oleh *Current Transformer* (CT) dijumlahkan secara keseluruhan. Setelah itu dapat dihitung total pemakaian keseluruhan energi listrik selama satu bulan dengan menggunakan persamaan(4.5) berikut :

$$\begin{aligned} & \text{□□□□□ □□□ □□□□□□} \\ & \times \text{□□□□□ □□□ □□□ (□□□□□□□□} \\ & = \text{□□. □. □□□} \end{aligned} \tag{4.5}$$

Dengan total pemakaian energi listrik sebesar 8.970 kWh, maka dapat di hitung kWh pemakaian generator diesel berkapasitas 500 kVA untuk pemakaian bulan Mei dengan menggunakan persamaan (4.6) berikut :

$$\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square \times \square.\square\square\square \times \square,\square\% \quad (4.6)$$

Dari persamaan (4.6) tersebut, diperoleh total pemakaian energilistrik secara keseluruhan untuk bulan Mei 2020 dengan total pemakaian energi listrik sebesar 150.023,25 kWh, dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 225.034.875. yang diperoleh dari persamaan (4.5).

Setelah mengetahui pemakaian energi listrik beserta besar biaya yang dikeluarkan dari penggunaan generator diesel berkapasitas 500 kVA dengan menggunakan metode *starting Variable Frequency Drive* (VFD), maka dapat dilanjutkan analisa penggunaan energi listrik menggunakan metode *starting motor* dengan *Autotransformator*, dimana pada analisa ini menggunakan dua buah generator diesel dengan masing-masing berkapasitas 500 kVA dan 410 kVA. Penggunaan dua buah generator diesel tersebut bertujuan untuk mengatasi lonjakan arus yang sangat besar ketika motor induksi pada *Induced Draft Fan* (IDF) dilakukan *start*.

Data yang diperoleh merupakan hasil dari pengoperasian sistem *boiler* dengan menggunakan *Autotransformator* yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut :

Tabel 4.11 Hasil pemakaian energi listrik menggunakan *Autotransformator*

Tanggal	kWH Meter			CT/5	kWH (4 x5)
	Awal Bulan	Akhir Bulan	Selisih kWH Meter (3-2)	1150	
1	2	3	4	5	6
04 Mei 2020	34.940	34.945	5	230	1.150
05 Mei 2020	34.945	34.952	7	230	1.610
06 Mei 2020	34.952	34.955	3	230	690

07 Mei 2020	34.955	34.955	0	230	0
08 Mei 2020	34.955	34.960	5	230	1.150
09 Mei 2020	34.960	34.964	4	230	920
10 Mei 2020	34.964	34.966	2	230	460
11 Mei 2020	34.966	34.970	4	230	920
12 Mei 2020	34.970	34.974	4	230	920
13 Mei 2020	34.974	34.977	3	230	690
14 Mei 2020	34.977	34.980	3	230	690
15 Mei 2020	34.980	34.983	3	230	690
16 Mei 2020	34.983	34.987	4	230	920
17 Mei 2020	34.987	34.987	0	230	0
18 Mei 2020	34.987	34.992	5	230	1.150
19 Mei 2020	34.992	34.997	5	230	1.150
20 Mei 2020	34.997	35.002	5	230	1.150
21 Mei 2020	35.002	35.002	0	230	0
22 Mei 2020	35.002	35.007	5	230	1.150
23 Mei 2020	35.007	35.011	4	230	920
24 Mei 2020	35.011	35.011	0	230	0
25 Mei 2020	35.011	35.011	0	230	0

26 Mei 2020	35.011	35.016	5	230	1.150
27 Mei 2020	35.016	35.020	4	230	920
28 Mei 2020	35.020	35.023	3	230	690
29 Mei 2020	35.023	35.027	4	230	920
30 Mei 2020	35.027	35.030	3	230	690
31 Mei 2020	35.030	35.032	2	230	460
	Jumlah				21.160

Data tersebut merupakan pemakaian listrik pada pabrik pengolahan kelapa sawit PT. Salim Ivomas Pratama Tbk selama bulan Mei 2020. Penggunaan energi listrik tersebut menggunakan sumber *non* PLN, dengan mengoperasikan dua buah generator diesel masing-masing berkapasitas 500 kVA dan 410 kVA sebagai sumber utamanya. Penggunaan dua buah generator diesel tersebut untuk mencukupi suplai energi listrik pada saat *starting* motor *Induced Draft Fan* (IDF) untuk mencegah terjadinya kerusakan pada generator dan peralatan lainnya. Dapat dilihat bahwa total kWh meter pada pengolahan bulan Mei dengan menggunakan metode *starting* motor menggunakan *Autotransformator* yaitu 21.160 kWh dengan pemakaian energi listrik perhari 34.974 kWh hingga 35.032 kWh untuk pemakaian terbesar dan dengan selisih pemakaian energi listrik terbesar 7 kWh.

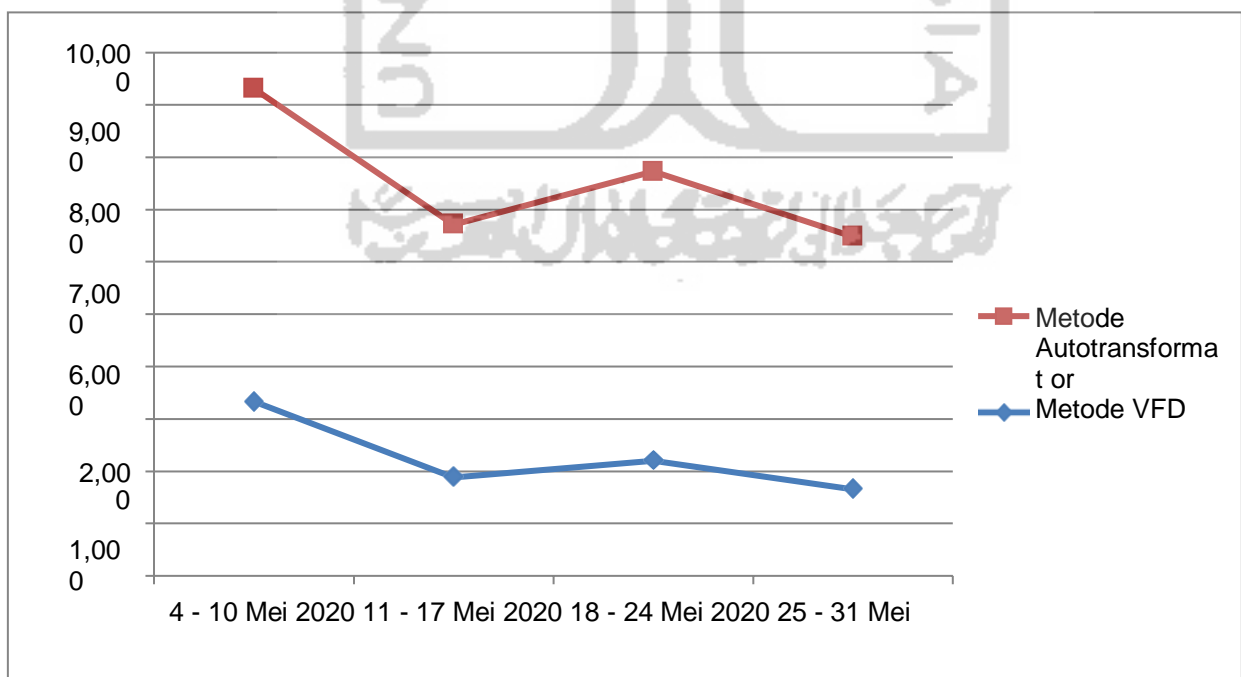
Besarnya nilai kWh pada data pengolahan tersebut, disebabkan lonjakan arus saat *starting* yang sangat tinggi hingga dua kali lipat, dimana ketika menggunakan metode *Variable Frequency Drive* (VFD) lonjakan arus tidak melebihi 250 A namun ketika metode *starting* motor menggunakan *Autotransformator* terjadi lonjakan arus hingga 600 A dimana *Autotransformator* membutuhkan waktu untuk menurunkan lonjakan arus tersebut selama tiga step dengan mengatur persentase *tapping* pada *Autotransformator* untuk menurunkan lonjakan arus yang besar menjadi arus *nominal* kembali.

Dilain sisi, besarnya lonjakan arus yang terjadi menimbulkan kerugian, dari segi biaya, efisiensi peralatan, serta dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang berlebihan jika penggunaan *Autotransformator* tersebut terus digunakan pada industri kelapa sawit.

Dengan menggunakan persamaan yang sama seperti pada persamaan (4.3), maka didapat lah selisih kWh dari penggunaan energi listrik perhari selama bulan Mei 2020.

Selanjutnya hasil perhitungan tersebut dikonversikan menjadi arus yang lebih kecil, menggunakan *Current Transformer* (CT) dengan rasio  $\frac{1150}{5}$  yang menampilkan nilai pembacaan arus dengan nilai yang lebih kecil menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan (4.4). Setelah itu dapat dihitung total pemakaian keseluruhan energi listrik selama satu bulan seperti persamaan (4.5). Dengan total pemakaian energi listrik sebesar 21.160 kWh, maka dapat dihitung kWh pemakaian generator diesel berkapasitas 500 kVA untuk pemakaian bulan Mei dengan persamaan (4.6). Diperoleh total pemakaian energi listrik secara keseluruhan untuk bulan Mei 2020 dengan total pemakaian energi listrik sebesar 353.901 kWh, dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 530.851.500.

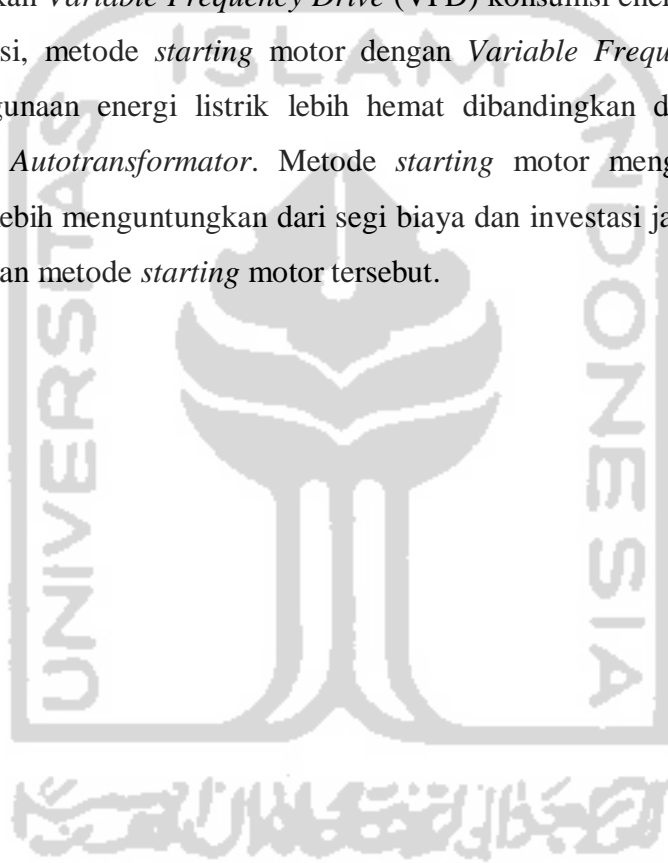
Dari data dan hasil perhitungan pemakaian energi listrik selama pengolahan periode bulan Mei 2020, maka dapat dilakukan perbandingan dengan menggunakan diagram *stacked line* perbandingan kedua metode yang digunakan seperti pada Gambar 4.16 berikut :





Gambar 4.17 Diagram *stacked line*

Dari diagram tersebut menjelaskan bahwa, hasil penggunaan kedua metode *starting* motor sangat berbeda dari segi konsumsi energi listrik selama pengolahan bulan Mei 2020. Metode *starting* motor dengan *Autotransformator* mengkonsumsi energi listrik sangat banyak dalam pengolahan tersebut, dimana konsumsi energi listrik tertinggi pada awal bulan Mei, yaitu tanggal 4 – 10 Mei 2020, dan berangsur turun hingga akhir bulan, sedangkan dengan menggunakan metode *starting* motor menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) konsumsi energi listrik jauh lebih sedikit. Dari segi efisiensi, metode *starting* motor dengan *Variable Frequency Drive* (VFD) memiliki efisiensi penggunaan energi listrik lebih hemat dibandingkan dengan penggunaan metode *starting* dengan *Autotransformator*. Metode *starting* motor menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) lebih menguntungkan dari segi biaya dan investasi jangka panjang yang didapatkan dari penggunaan metode *starting* motor tersebut.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan pada penelitian tentang “Analisis Penghematan Daya Listrik Menggunakan Inverter *VFD/Variable Frequency Drive* Pada Saat *Starting* Awal Eelektromotor Penggerak *ID Fan* Pada *Boiler* 40 Ton /Jam di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit” yaitu sebagai berikut :

1. Motor induksi 3-phase penggerak *Induced Draft Fan* (IDF) yang terdapat pada sistem *boiler* mempunyai kapasitas daya yang besar untuk mendorong uap dari hasil pembakaran pada *boiler*, konsumsi daya yang dibutuhkan juga besar.
2. Kapasitas yang besar pada motor induksi 3-phase penggerak *Induced Draft Fan* (IDF) berakibat pada arus saat *starting* yang besar, sehingga penggunaan satu buah generator tidak cukup untuk *handle* arus *starting* yang besar.
3. Penggunaan metode *starting* motor dengan menggunakan *Autotransformator* tidak efisien dalam mengurangi lonjakan arus yang terjadi saat *starting* motor.
4. Penggunaan metode *starting* motor dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) jauh lebih efisien dalam menekan lonjakan arus saat *starting* motor.
5. Penggunaan metode *starting* motor dengan menggunakan *Autotransformator* menimbulkan kerugian berupa, efisiensi penggunaan energi listrik yang rendah, biaya operasional yang lebih besar dan pencemaran lingkungan lebih besar karena menggunakan dua buah generator diesel dengan kapasitas besar.
6. Metode *starting* motor dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) lebih menguntungkan dengan efisiensi energi listrik yang tinggi, biaya operasional lebih rendah dengan hasil produksi yang bisa dimaksimalkan dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang secara tidak langsung mengurangi pencemaran lingkungan.
7. Penggunaan metode *starting* motor dengan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) memberikan keuntungan tersendiri bagi perusahaan, terutama bidang kelapa sawit dengan investasi jangka panjang dari penggunaan alat inverter *Variable Frequency Drive* (VFD).

8. Penghematan yang dihasilkan saat menggunakan VFD melebihi 100% dibandingkan menggunakan *Autotransformator* dari segi konsumsi daya dan biaya yang dikeluarkan pada operasional pabrik.

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan peneliti untuk pelaku industri pengolahan kelapa sawit untuk selalu mencegah perluasan pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh industri dengan meningkatkan efisiensi dan penghematan penggunaan sumber energi listrik adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan terlebih dahulu melakukan analisa dan simulasi *load flow* dan *short circuit* dengan *software* analisis kelistrikan pada sistem tenaga listrik, untuk mencegah terjadinya *drop* tegangan yang berlebihan dan gangguan hubung singkat, sebelum melakukan *starting* motor induksi.
2. Kedepannya, dalam perancangan sistem tenaga listrik pada industri kelapa sawit, lebih baik menggunakan sistem penghematan daya menggunakan inverter *Variable Frequency Drive* (VFD) ataupun *Variable Speed Drive* (VSD).
3. Mengurangi penggunaan metode *starting* motor menggunakan *Autotransformator*, untuk menekan penggunaan energi listrik yang berlebihan dan biaya operasional.
4. Beralih menggunakan metode *starting* motor menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk memperoleh efisiensi yang tinggi dari penggunaan energi listrik dan menekan biaya operasional dengan tidak mengurangi hasil produksi dan juga sebagai investasi jangka panjang pada perusahaan.
5. Ketika akan melakukan *start* pada motor penggerak *Induced Draft Fan* (IDF), terlebih dahulu memanaskan suhu ruang bakar pada *boiler* sampai ke titik panas optimal yakni sekitar 10 – 15 menit dari awal pembakaran untuk menekan arus saat *starting* yang besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN, “Progress 35.000 MW Menggembirakan,” *pln.co.id*, 2018. [Online]. Available: <https://www.pln.co.id/media/siaran-pers/2018/03/progress-35-000-mw-menggembirakan>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [2] PLN, “PLTU Lontar,” *pln.co.id*, 2019. [Online]. Available: <https://www.pln.co.id/media/siaran-pers/2019/03/progress-pembangunan-pltu-lontar-extension-1x315-mw-capai-8786>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [3] Kementrian ESDM Republik Indonesia, “Menuju Rasio Elektrifikasi 99 Persen pada 2019 - Kementerian ESDM Republik Indonesia,” *esdm.go.id*, 2018. [Online]. Available: <http://ebtke.esdm.go.id/post/2018/04/27/1945/menuju.rasio.elektrifikasi.99.persen.pada.2019>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [4] Y. Apriani and T. Barlian, “INVERTER BERBASIS ACCUMULATOR SEBAGAI ALTERNATIF PENGHEMAT DAYA LISTRIK RUMAH TANGGA,” *J. SURYA ENERGY*, vol. 3, no. 1, p. 203, Aug. 2018.
- [5] M. H. Rizal, “Kualitas Daya Listrik Industri,” no. November, pp. 1–3, 2015.
- [6] T. Prayudi, “PENGHEMATAN ENERGI PADA INDUSTRI SEMEN Studi Kasus: Pemasangan VSD’S pada Fan,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 10, no. 1, p. 62, 2019.
- [7] N. M. Mahdi, “Power flow analysis of Rafah governorate distribution network using ETAP software,” no. May 2013, 2013.
- [8] Amira and A. Effendi, “STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT 1 FASA KE TANAH PADA SUTT 150 KV UNTUK SETTING RELAY OCR ( APLIKASI GI PIP – PAUH LIMO ) Amira \* Asnal Effendi \*\* Mahasiswa \*, Dosen \*\* Jurusan Teknik Elektro , Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang,” *J. Tek. elektro ITP*, vol. 3, no. 2, pp. 95–104, 2014.
- [9] A. Nurmalitawati, Aztrid dan Rahardjo, “Analisis Perbandingan Besarnya Arus Start Motor Induksi Berkapasitas Besar Terhadap Jatuh Tegangan Bus,” *Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Indones.*, vol. 3, no. 6, pp. 1–16, 2014.

- [10] R. D. Aprido Silalahi, "Analisis Simulasi Starting Motor Induksi Rotor," *Anal. SIMULASI Start. Mot. INDUKSI ROTOR SANGKAR DENGAN AUTOTRANSFORMATOR*, pp. 1–6, 2013.
- [11] H. Haryanto, "Pembuatan Modul Inverter sebagai Kendali Kecepatan Putaran Motor Induksi Pendahuluan Metodologi Penelitian," 1826.
- [12] K. M. Nurul and H. Akhmad, "Simulasi Sistem Kontrol Induced Draft Fan Sebagai Furnace Pressure Control Pada Boiler Pltu Paiton Unit 7 &8," *EEPIS Final Proj.*, no. Id, pp. 1–5, 2010.
- [13] D. A. Maulana and D. Nugroho, "ANALISA SUSUT DAYA DAN DROP TEGANGAN TERHADAP JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20KV PADA GARDU INDUK PANDEAN LAMPER SEMARANG," pp. 382–389, 2019.



# LAMPIRAN

Lampiran 2

Data Pemakaian Listrik Non PLN  
PT. Salim Ivomas Pratama, Tbk – PKS Kayangan

Genset 2 : Catterpillar 410 KVA

Tanggal	KWH METER			CT/5 1150:5	KWH (4 x 5)
	AWAL BULAN	AKHIR BULAN	SELISIH KWH METER (3-2)		
1	2	3	4	5	6
04 Mei 2020	23.648	23.650	1,7	230	391
05 Mei 2020	23.650	23.652	1,8	230	414
06 Mei 2020	23.652	23.653	1,9	230	437
07 Mei 2020	23.653	23.653	0,0	230	0
08 Mei 2020	23.653	23.655	1,4	230	322
09 Mei 2020	23.655	23.657	2,4	230	552
10 Mei 2020	23.657	23.659	2,2	230	506
11 Mei 2020	23.659	23.661	1,6	230	368
12 Mei 2020	23.661	23.662	1,3	230	299
13 Mei 2020	23.662	23.665	2,4	230	552
14 Mei 2020	23.665	23.668	2,9	230	667
15 Mei 2020	23.668	23.670	2,1	230	483
16 Mei 2020	23.670	23.672	2,0	230	460
17 Mei 2020	23.672	23.672	0,7	230	161
18 Mei 2020	23.672	23.674	1,9	230	437
19 Mei 2020	23.674	23.677	3,1	230	713
20 Mei 2020	23.677	23.681	3,4	230	782
21 Mei 2020	23.681	23.681	0,0	230	0
22 Mei 2020	23.681	23.684	3,0	230	690
23 Mei 2020	23.684	23.686	2,0	230	460
24 Mei 2020	23.686	23.686	0,3	230	69
25 Mei 2020	23.686	23.686	0,0	230	0
26 Mei 2020	23.686	23.690	3,7	230	851
27 Mei 2020	23.690	23.692	2,1	230	483
28 Mei 2020	23.692	23.694	2,0	230	460
29 Mei 2020	23.694	23.696	1,8	230	414
30 Mei 2020	23.696	23.698	1,9	230	437
31 Mei 2020	23.698	23.700	2,7	230	621
	<b>Jumlah</b>				<b>12.029</b>

Total KWH Genset =  $12.029 \times 1.115 \times 1,5\% = 201.185$   
**TOTAL = 201.185**

Rokan Hilir, 05 Juni 2020  
 PT Salim Ivomas Pratama, Tbk – PKS Kayangan  
 PIMPINAN PERUSAHAAN

*PT. Salim Ivomas Pratama*  
 Kayangan Factory

MACHRODI  
 MANAGER

Data pemakaian listrik PT. Salim Ivomas Pratama menggunakan genset diesel 410 kVA

Lampiran 2

Data Pemakaian Listrik Non PLN  
PT. Salim Ivomas Pratama, Tbk. – PKS Kayangan

Genset 3 : Catterpillar 500 KVA

Tanggal	KWH METER			CT/5	KWH (4 x 5)
	AWAL BULAN	AKHIR BULAN	SELISIH KWH METER (3-2)	1150:5	
1	2	3	4	5	6
04 Mei 2020	11.292	11.295	2,8	230	644
05 Mei 2020	11.295	11.300	5,1	230	1.179
06 Mei 2020	11.300	11.302	2,0	230	460
07 Mei 2020	11.302	11.302	0,0	230	0
08 Mei 2020	11.302	11.305	3,0	230	690
09 Mei 2020	11.305	11.307	1,6	230	368
10 Mei 2020	11.307	11.307	0,0	230	0
11 Mei 2020	11.307	11.309	2,1	230	483
12 Mei 2020	11.309	11.312	2,8	230	644
13 Mei 2020	11.312	11.312	0,0	230	0
14 Mei 2020	11.312	11.312	0,5	230	115
15 Mei 2020	11.312	11.313	0,9	230	207
16 Mei 2020	11.313	11.315	1,9	230	437
17 Mei 2020	11.315	11.315	0,0	230	0
18 Mei 2020	11.315	11.318	2,9	230	667
19 Mei 2020	11.318	11.320	1,6	230	368
20 Mei 2020	11.320	11.321	1,6	230	368
21 Mei 2020	11.321	11.321	0,0	230	0
22 Mei 2020	11.321	11.323	2,0	230	460
23 Mei 2020	11.323	11.325	1,5	230	345
24 Mei 2020	11.325	11.325	0,0	230	0
25 Mei 2020	11.325	11.325	0,0	230	0
26 Mei 2020	11.325	11.326	1,3	230	299
27 Mei 2020	11.326	11.328	2,5	230	575
28 Mei 2020	11.328	11.329	0,9	230	207
29 Mei 2020	11.329	11.331	1,4	230	322
30 Mei 2020	11.331	11.332	1,1	230	253
31 Mei 2020	11.332	11.332	0,0	230	0
	<b>Jumlah</b>			230	<b>9.085</b>

Total KWH Genset =  $9.085 \times 1.115 \times 1,5\% = 151.947$   
**TOTAL = 151.947**

Rokan Hilir, 05 Juni 2020  
 PT Salim Ivomas Pratama, Tbk – PKS Kayangan  
 PIMPINAN PERUSAHAAN

PT. Salim Ivomas  
 Kayangan Factory

MACHRODI  
 MANAGER

Data pemakaian listrik PT. Salim Ivomas Pratama menggunakan genset diesel 500 kVa

# Perhitungan Nilai Pajak Penerangan Jalan untuk Listrik dari sumber sendiri (non PLN)

## 1. Jika menggunakan Alat Ukur KWH Meter

<b>NJTL</b> = Jumlah Kwh/bulan x FD x Harga Satuan Listrik	
Jumlah Kwh/Bulan	= Hasil nilai pemakaian yang tertera dalam KWH Meter
FD (faktor daya)	= Perbandingan atas jumlah daya output pembangkit listrik dengan kapasitas daya pembangkit => 0,85
Harga Satuan Listrik	= Harga satuan KWH yang ditetapkan sesuai Kapasitas Pembangkit (> 200 Kva s.d 3.200 Kva = Rp. 1.115,-)
<b>Contoh</b>	Kapasitas Pembangkit >= 500 Kva
Jumlah KWH	= 80.000 kwh (500 x 8 Jam x 20 hari operasi)
Kapasitas Pembangkit	= 500 Kva
FD (Faktor Daya)	= 0,85
Harga Satuan Listrik (industri, 200 kva)	= Rp 1.115 * (untuk > 200 KVA)
NJTL	= 75.820.000 (KWH x FD x Harga Satuan)
Maka besar Pokok Pajak	=> NJTL x Tarif (1,5%) = 1.137.300

## 2. Jika TIDAK menggunakan Alat Ukur KWH Meter atau CURAH

<b>NJTL</b> = KVA x FD x Jam Nyala x Harga Satuan Listrik	
KVA	= Kapasitas Daya Pembangkit
FD (faktor daya)	= Standar koefisien efisiensi pembangkit yaitu $\phi = 0,85$
Jam Nyala	= Waktu (jam) Pemakaian Pembangkit setiap hari yang diakumulasi dalam 1 bulan (ditetapkan secara Jabatan oleh BAPENDA berdasarkan pendataan selama tidak menggunakan KWH meter)
Harga Satuan Listrik	= Harga satuan KWH yang ditetapkan sesuai Kapasitas Pembangkit
<b>Contoh</b>	
Kapasitas Pembangkit	= 500 Kva
FD (Koefisien)	= 0,85
Jam Nyala	= 8 Jam kerja x 20 Har = 160 Jam
Harga Satuan Listrik (industri, 200 kva)	= Rp 1.115
NJTL	= Kva x FD x Jam x Satuan Harga = Rp 75.820.000
Maka besar Pokok Pajak	=> NJTL x Tarif (1,5%) = 1.137.300

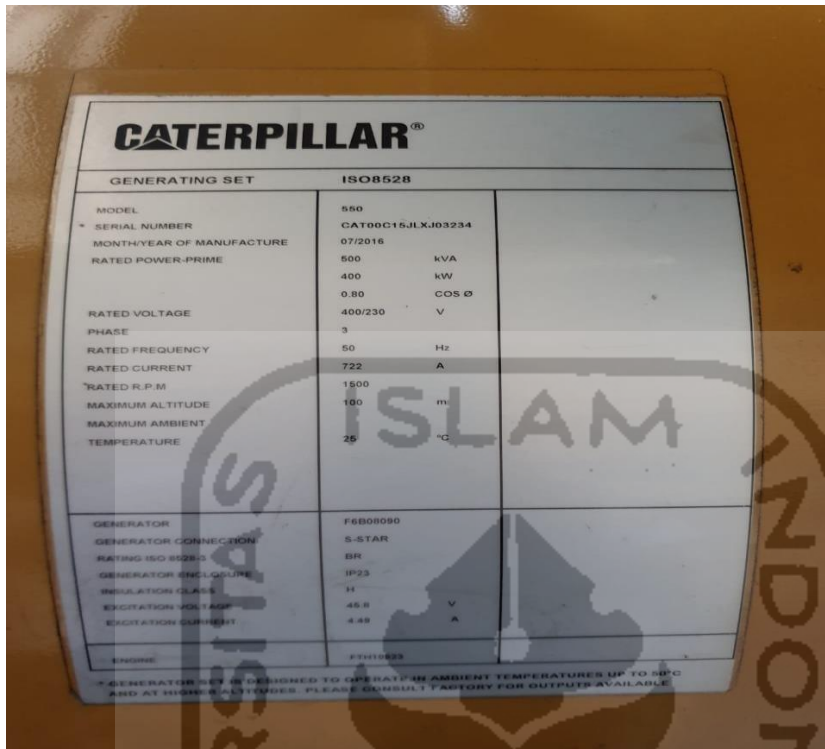
## 3. Jika hanya peruntukan CADANGAN saja (listrik utama PLN)

<b>NJTL</b> = KVA x FD x Biaya Beban atas Daya	
KVA	= Kapasitas Daya Pembangkit
FD (faktor daya)	= Standar koefisien efisiensi pembangkit yaitu $\phi = 0,85$
Biaya Beban Daya	= Biaya Beban atas daya sebagaimana dimaksud pada ayat (3) berpedoman pada Penyesuaian Tarif Dasar Listrik oleh Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia dengan rumus : " <i>Biaya Beban = Minimum Jam Nyala (40 Jam) x Harga Satuan Listrik Kapasitas Pembangkit</i> "
Harga Satuan Listrik	= Harga satuan KWH yang ditetapkan sesuai Kapasitas Pembangkit
<b>Contoh</b>	
Kapasitas Pembangkit	= 500 Kva
FD (Koefisien)	= 0,85
Harga Satuan Listrik	= Rp 1.115 (industri, 200 kva)
Biaya Beban (gol 200 kVA)	= 40 Jam x 1115 = Rp 44.600
NJTL	= Kva x FD x Jam Minimum (40 jam) x Satuan Harga = Rp 18.955.000
Maka besar Pokok Pajak	=> NJTL x Tarif (1,5%) = Rp 284.325

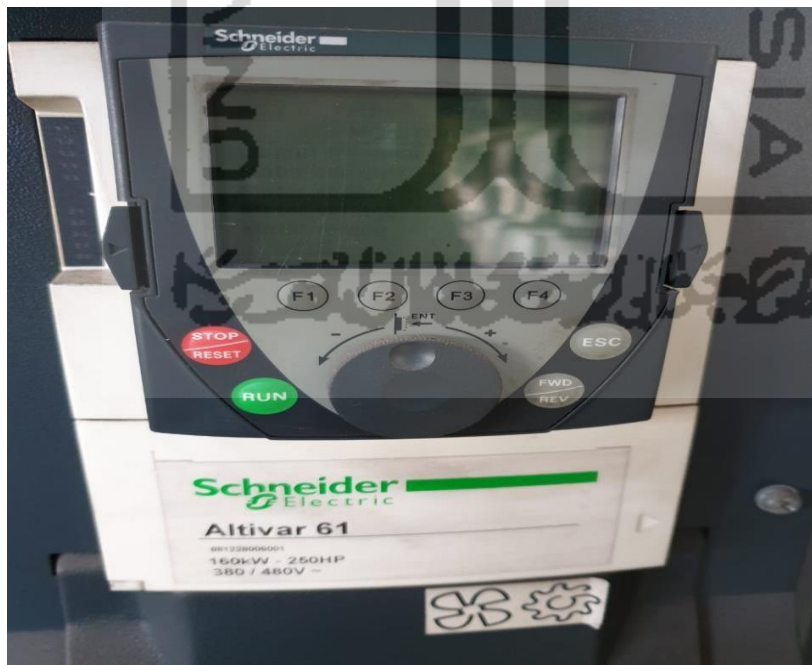
Dasar : peraturan bupati way kanan no.11 Tahun 2011

Dasar penetapan nilai pajak dengan penggunaan sumber secara mandiri

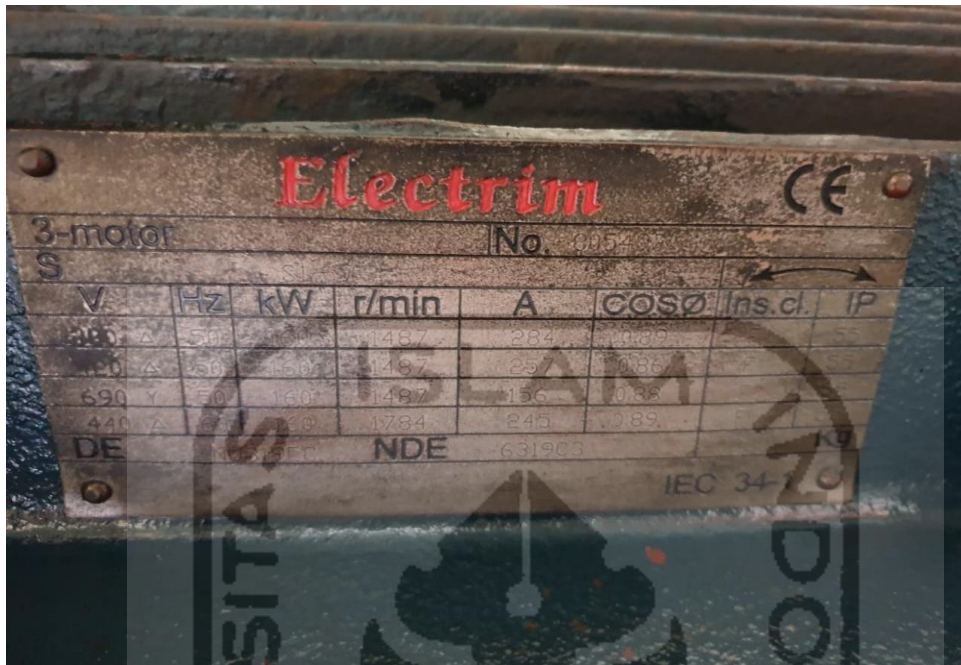




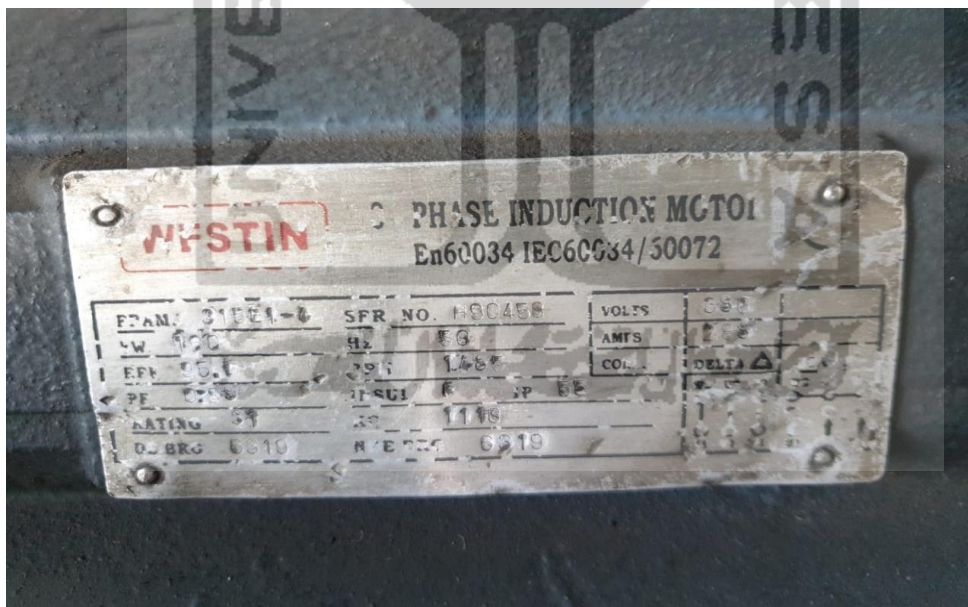
Nameplate generator diesel 500 kVA PT. Salim Ivomas Pratama



Variable Frequency Drive (VFD) yang digunakan pada PT. Salim Ivomas Pratama



Nameplate motor induksi 3-phase *Induced Draft Fan* (IDF)



Nameplate motor induksi 3-phase *Induced Draft Fan* (IDF)