

**ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)  
UNTUK MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC**

**SKRIPSI**



Disusun Oleh  
**MAZID AMNAN**  
NIM : 08.12.020

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

2013

RESEARCH AND DEVELOPMENT IN THE  
FIELD OF TECHNOLOGY IN THE  
CONSTRUCTION OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM  
WITH A HIGH EFFICIENCY

BY:  
NAME: [REDACTED]  
NPM: [REDACTED]  
[REDACTED]

ABSTRACT

RESEARCH AND DEVELOPMENT IN THE  
FIELD OF TECHNOLOGY IN THE  
CONSTRUCTION OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM  
WITH A HIGH EFFICIENCY

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) UNTUK  
MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM KELISTRIKAN  
PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK MENGGUNAKAN SOFTWARE  
PSCAD/EMTDC**

**SKRIPSI**

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai  
gelar Sarjana Teknik Strata satu (S-1)*

Disusun oleh :

**MAZID AMNAN  
0812020**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1**



**M. Ibrahim Ashari, ST, MT  
NIP.Y.1030100358**

**Diperiksa dan disetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP. Y.1038900209**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Choirul Saleh, MT  
NIP. Y.1018800190**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK KOMPUTER  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2013**

## SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mazid Amnan  
NIM : 0812020  
Program studi : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah hasil karya sendiri, tidak merupakan plagiasi dari karya orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain, kecuali dicantumkan sumbernya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, dan apabila di kemudian hari ada pelanggaran atas surat pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksinya.

Malang, Maret 2013  
Yang Membuat Pernyataan



**Mazid Amnan**  
NIM : 0812020

**ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) UNTUK  
MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM KELISTRIKAN  
PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK MENGGUNAKAN SOFTWARE  
PSCAD/EMTDC**

**Mazid Amnan**  
**(08.12.020)**

**Dosen pembimbing**  
**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
**Ir. Choirul Saleh, MT**

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional Malang  
Jln. Raya Karanglo Km 2 Malang  
Email : [Mazid\\_arnan@yahoo.com](mailto:Mazid_arnan@yahoo.com)

**Abstrak**

Kualitas tegangan yang baik adalah hal yang wajib dipenuhi untuk menunjang proses produksi pada suatu industri. Gangguan penurunan tegangans esaat (*voltage sag*) merupakan salah satu gejala atau gangguan yang umumnya terjadi karena starting dan pelepasan beban berkapasitas besar serta penggunaan beban non linier yang cukup banyak dalam pengendalian motor listrik untuk menunjang proses produksi. Penurunan tegangan ini dapat mempengaruhi kerja dari mesin dan peralatan-peralatan elektronika yang ada. *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)* merupakan salah satu alat kompensasi yang dapat mengatasi permasalahan tegangan sesaat (*voltage sag*). Penelitian ini dilakukan di PT. Wiharta Karya Agung Gresik dan akan dilakukan pemodelan serta simulasi dengan software *PSCAD/EMTDC power simulation* dengan menggunakan *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)*. Dari simulasi tersebut didapatkan perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah kompensasi *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)* pada saat terjadi gangguan tegangan sesaat (*voltage sag*) yang awalnya dari 0.885380 pu atau 336.4444 V meningkat menjadi 1.004494 pu atau 381.7077 V.

Kata kunci : *DVR, voltage sag, software PSCAD/EMTDC power simulation.*

## Abstract

Voltage quality are proper that must be fulfilled to support the production process in an industry. Instantaneous fault voltage drop (voltage sag) is one symptom or fault that generally occurs due to starting and release the large capacity load and the use of non-linear loads are enough many in control of the electric motor to support the production process. This voltage drop may affect the operation of machine and electronic equipment available. *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)* is one of tool equipment compensation that can correct the problem instantaneous voltage (voltage sag). This research performed at PT. WihartaKaryaAgung Gresik and the will be performed by modeling and simulation software *PSCAD / EMTDC power simulation* using *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)*. From the comparison of the simulation is obtained voltage values before and after compensation *DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR)* during a fault instantaneous voltage (*voltage sag*) initially from 0.885380 pu or 336.4444 V increased to 1.004494 pu or 381.7077 V.

Keywords : *DVR, voltage sag, software PSCAD/EMTDC power simulation*

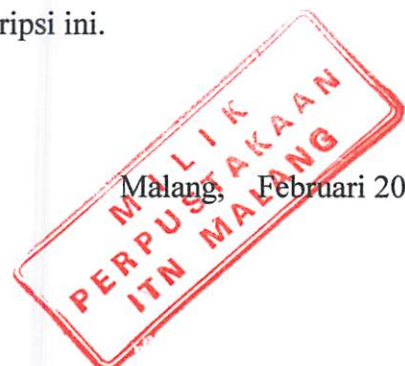
## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul **“ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) UNTUK MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC”** dapat terselesaikan.

Penyusunan skripsi ini dilakukan guna salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ibrahim ashari ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan motivasi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna, untuk itu diharapkan saran dan masukan demi penyempurnaan penulisan skripsi ini.



Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Sistem tenaga listrik.....	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	6
2.2.1 Sistem Distribusi Primer.....	7
2.2.2 Sistem Distribusi Skunder .....	8
2.3 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	8
2.3.1 Jaringan Distribusi Konfigurasi radial.....	8
2.3.2 Jaringan Distribusi Konfigurasi Loop .....	9
2.3.3 Jaringan Distribusi Konfigurasi Spindel .....	10
2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan .....	10
2.5 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	11
2.5.1 Daya Aktif (P) .....	11
2.5.2 Daya Reaktif (Q) .....	11
2.5.3 Daya Semu (S).....	12
2.5.4 Faktor Daya .....	13
2.6 Voltage Sag.....	14



2.6.1	Perhitungan Nilai Voltage Sag Dalam Sistem.....	16
2.6.2	Pengaruh Voltage Sag Pada Peralatan.....	17
2.7	Model Dynamic Voltage Restorer .....	18
2.7.1	Prinsip Dasar Operasi Dynamic Voltage Restorer .....	18
2.7.2	Kompensasi DVR Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	19
2.7.3	Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap DVR .....	20
2.8	Peralatan Elektronika Daya.....	20
2.8.1	Transistor Bipolar .....	20
2.8.2	Voltage Source Converter (VSC).....	21
2.8.3	Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT).....	21
2.9	Pengendali Proporsional Integral (PI).....	22
2.10	Kontrol PWM Berbasis Sinusoida .....	23
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1	Sistematika Penelitian .....	24
3.2	Data Yang Digunakan Dalam Penelitian .....	25
3.2.1	Single Line PT. Wiharta Karya Agung Gresik.....	25
3.2.2	Data Kapasitas Trafo .....	26
3.2.3	Data Beban .....	26
3.3	Lokasidan Waktu Pengambilan Data.....	29
3.4	Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation.....	29
3.4.1	Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation.....	31
3.5	Algoritma Simulasi Software PSCAD/EMTDC.....	33
3.6	Flowchart .....	35
3.6.1	Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC.....	35
3.6.2	Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM.....	36
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL dan ANALISA HASIL.....</b>	<b>37</b>
4.1	Perbaikan Kualitas Tegangan menggunakan Software PSCAD/EMTDC Power Simulation .....	37
4.2	Single Line PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam Software PSCAD/EMTDC Power Simulation.....	37
4.3	Pemodelan DVR Pada Sistem.....	38
4.3.1	Sistem Kontrol Pengendali DVR.....	38

4.4 Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Voltage Sag Menggunakan DVR.....	40
4.4.1 Analisa dan Simulasi Sebelum Kompensasi DVR.....	40
4.4.2 Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi DVR .....	40
4.4.3 Hasil Simulasi Sesudah Kompensasi DVR .....	42
4.4.4 Tabel Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi DVR .....	43
4.4.5 Tabel Hasil Simulasi Sesudah Kompensasi DVR.....	44
4.4.6 Tabel Hasil Simulasi Perbandingan Dengan dan Tanpa Kompensasi DVR .....	45
4.5 Perhitungan Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebelum dan Sesudah Kompensasi .....	45
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Sistem tenaga listrik .....	5
Gambar 2.2	: Diagram satu garis system tenaga listrik.....	6
Gambar 2.3	: Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	7
Gambar 2.4	: Jaringan distribusi konfigurasi Radial.....	9
Gambar 2.5	: Jaringan distribusi konfigurasi Loop.....	9
Gambar 2.6	: Jaringan distribusi konfigurasi Spindel.....	10
Gambar 2.7	: Segitiga daya.....	13
Gambar 2.8	: Ilustrasi voltage sag pada sistem.....	14
Gambar 2.9	: Standart IEEE 1159-1995, IEEE recommended practice for monitoring electric power quality .....	15
Gambar2.10	: Model pembagi tegangan untuk voltage sag.....	16
Gambar2.11	: Diagram fungsional DVR.....	18
Gambar2.12	: Prinsip kerja operasi DVR.....	19
Gambar2.13	: Diagram kotak pengendali PI .....	22
Gambar2.14	: Hubungan Input-Output pengendali PI dalam fungsi waktu .....	22
Gambar 3.1	: Single line Diagram PT. Wiharta Karya Agung Gresik .....	25
Gambar 3.2	: Logo PSCAD .....	29
Gambar 3.3	: Tampilan utama software PSCAD/EMTDC power simulation.....	31
Gambar 3.4	:Tampilan master library .....	32
Gambar 3.5	: Tampilan modul utama .....	32
Gambar 3.6	: Tampilan single line system kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam simulasi software PSCAD/EMTDC .....	33
Gambar 3.7	: Flowchart penyelesaian masalah .....	35
Gambar 3.8	: Flowchart desain rangkaian control PWM .....	36
Gambar 4.1	: Simtem kelistrikan PT. WihartaKaryaAgung Gresik dalam software PSCAD/EMTDC power simulation.....	37
Gambar 4.2	: DVR dalam sistem.....	38
Gambar 4.3	: Rangkaian pengendali PI untuk pengendali DVR.....	38

Gambar 4.4 : Rangkaian PWM untuk pengendali DVR.....	39
Gambar 4.5 : Rangkaian sinyal komparator untuk pengendali DVR.....	39
Gambar 4.6 : DVR dalam keseluruhan sistem.....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Data trafo .....	26
Tabel 3.2 : Data beban pabrik 1 .....	26
Tabel 3.3 : Data beban pabrik 2 .....	28
Tabel 4.1 : Hasil nilai keluaran saat terjadi voltage sag sebelum kompensasi DVR pada panel extruder .....	43
Tabel 4.2 : Hasil nilai keluaran saat terjadi voltage sag sesudah kompensasi DVR pada panel extruder .....	44
Tabel 4.3 : Hasil perbandingan nilai tegangan saat terjadi voltage sag dengan dan tanpa kompensasi DVR .....	45
Tabel 4.6 : Prosentase tegangan optimasi pada panel extruder.....	47

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 : Bentuk gelombang tegangan rms saat terjadi voltage sag sebelum kompensasi DVR .....	41
Grafik4.2 : Bentuk tegangan gelombang 3 fasa saat terjadi voltage sag sebelumdikompensasi DVR.....	41
Grafik 4.3 : Bentuk gelombang tegangan pada panel extruder saat terjadi voltage sag sebelum dikompensasi DVR .....	41
Grafik 4.4 : Bentuk gelombang tegangan rms sesudah dikompensasi DVR .....	42
Grafik 4.5 : Bentuk gelombang tegangan 3 fasa sesudah kompensasi DVR.....	42
Grafik 4.6 : Bentuk gelombang tegangan pada panel extruder sesudah dikompensasi DVR.....	43

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di dalam suatu industri diperlukan kehandalan sistem dan kualitas energi listriknya, hal ini dikarenakan semakin buruk kualitas daya listrik dari suatu sistem kelistrikan maka biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang timbul juga akan semakin besar.

Pada dunia industri khususnya di PT. Wiharta Karya Agung Gresik yang bergerak di industri tenun plastik penggunaan motor listrik kapasitas besar sangat diperlukan untuk mendukung proses produksi, tetapi tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan motor listrik berdaya besar tersebut memiliki dampak yang merugikan yaitu pada saat starting. Adanya arus start besar yang secara tiba-tiba ditarik dari sistem tenaga listrik dapat menyebabkan terjadinya *voltage sag*. Dimana dalam standart IEEE 1159-1995 *voltage sag* ini didefinisikan sebagai penurunan besaran tegangan efektif (rms) pada frekuensi daya antara 0,1 sampai 0,9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit. *Voltage sag* merupakan masalah kualitas tagangan yang sering terjadi di industri. Gangguan yang terjadi akan berdampak buruk pada performa sistem dan memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan listrik yang lain.

Salah satu cara untuk mengantisipasi *voltage sag* adalah dengan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. Dengan perhitungan dan bantuan penggunaan software *PSCAD/EMTDC power simulation* dalam penelitian ini, maka kita dapat mensimulasikan pemasangan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* dan pengaruhnya pada kualitas tegangan pada saat terjadi gangguan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini adalah :

- Bagaimana performa sistem jaringan distribusi pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam kondisi base case ?
- Bagaimana terjadinya voltage sag pada sistem jaringan distribusi PT Wiharta Karya Agung Gresik pada kondisi base case ?
- Bagaimana performa sistem distribusi pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam kondisi setelah pemasangan *DVR* ?
- Bagaimana efek dari pemasangan *DVR* pada sistem jaringan distribusi PT. Wiharta Karya Agung Secara Keseluruhan ?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dalam pembuatan skripsi ini adalah :

- Menganalisa performa sistem jaringan distribusi pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik.
- Untuk melihat pengaruh *voltage sag* pada sistem jaringan distribusi PT. Wiharta Karya Agung Gresik.
- Merancang pemasangan *DVR* untuk memperbaiki kualitas tegangan pada sistem jaringan distribusi PT. Wiharta Karya Agung Gresik.
- Menganalisa hasil pemasangan *DVR* terhadap kualitas tegangan pada sistem jaringan distribusi PT. Wiharta Karya Agung Gresik.

Manfaat dari penelitian ini adalah agar gangguan yang terjadi berupa *voltage sag* didalam sistem kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik bisa diminimalisir sehingga keandalan sistem bisa terjamin.

## 1.4 Batasan Masalah

Pemodelan dalam mengatasi tegangan kedip (*Voltage Sag*) menggunakan *DVR*, permasalahannya dibatasi pada :

1. Study case adalah PT. Wiharta Karya Agung Gresik.
2. Data yang digunakan hanya data yang dapat diberikan oleh perusahaan.



3. Peralatan FACTS yang digunakan hanya *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) dan tidak membahas peralatan lainnya.
4. Gangguan yang disimulasikan adalah *voltage sag*.
5. Tidak membahas masalah distorsi harmonisa.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Adapun metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi literatur

Pengumpulan materi dan studi literatur Melakukan pengumpulan materi dan studi literatur yang berhubungan dengan DVR.

### 2. Pengumpulan data

Bentuk data yang digunakan :

- Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka yang ada di PT. Wiharta Karya Agung Gresik.
- Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram.

### 3. Menganalisa data-data yang telah dikumpulkan.

### 4. Kesimpulan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### Bab 1 : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

### Bab 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori-teori serta pustaka yang dipakai pada waktu penelitian. Teori-teori ini diambil dari buku literatur dan internet.

**Bab 3 : METODE PENELITIAN**

Berisikan tentang prosedur penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data lapangan dan melakukan analisa menggunakan software PSCAD/EMTDC.

**Bab 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan pembahasan berisikan tentang hasil dari analisa dari pemasangan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) dan perbandingan antara kondisi kualitas tegangan yang lama dengan kondisi kualitas tegangan baru setelah dilakukan penelitian.

**Bab 5 : KESIMPULAN DAN SARAN**

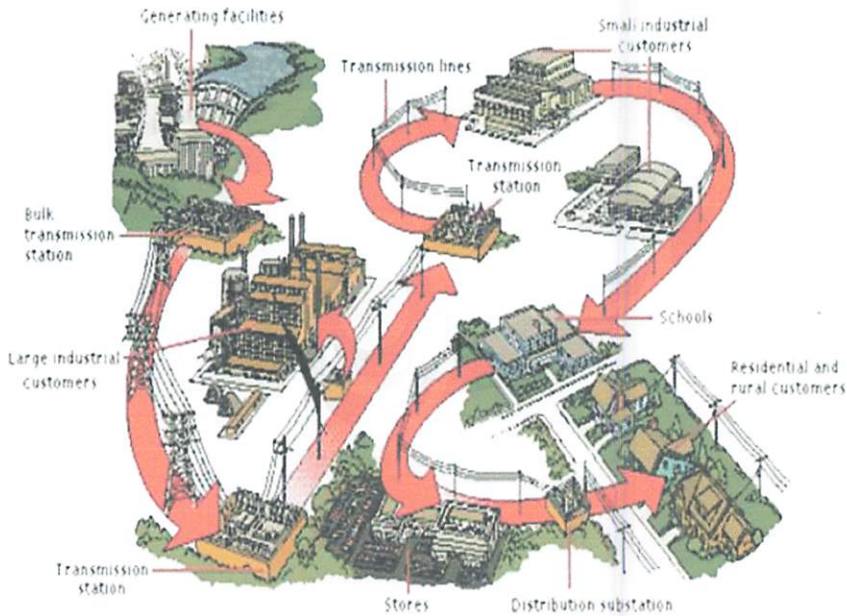
Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik<sup>[2]</sup>

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Pada pusat listrik dilakukan pembangkitan tenaga listrik dengan cara memanfaatkan generator sinkron. Tenaga listrik yang telah dihasilkan pada pusat listrik akan ditransmisikan ke beban melalui saluran transmisi. Sebelum ditransmisikan, tegangan dinaikan dengan menggunakan transformator penaik tegangan (*stepup*) pada pusat listrik. Tegangan tersebut dinaikkan ke level tegangan tinggi (antara 70 kV sampai 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (di atas 150 kV). Saluran transmisi yang digunakan bias berupa saluran udara maupun kabel tanah. Gambar 2.1 mengilustrasikan proses pembangkitan, transmisi dan distribusi dari pusat listrik sampai ke konsumen.

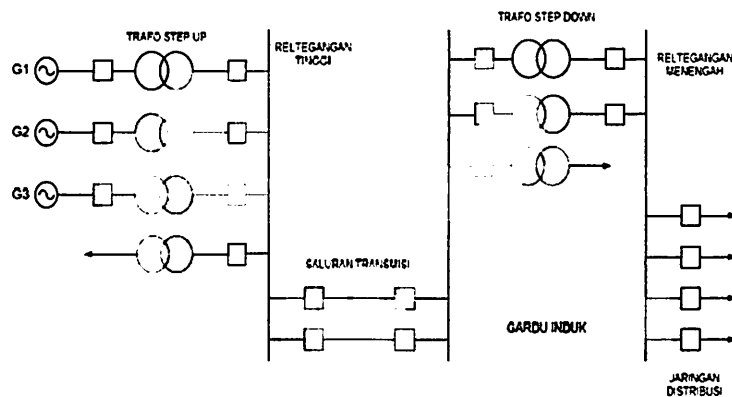


Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya dengan

menggunakan transformator penurun tegangan (*stepdown*) menjadi tegangan menengah atau disebut tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang digunakan oleh PLN sebesar 20 kV. Pada level tegangan menengah ini, tenaga listrik dapat langsung digunakan oleh konsumen yang mempunyai daya tersambung besar seperti industri besar.

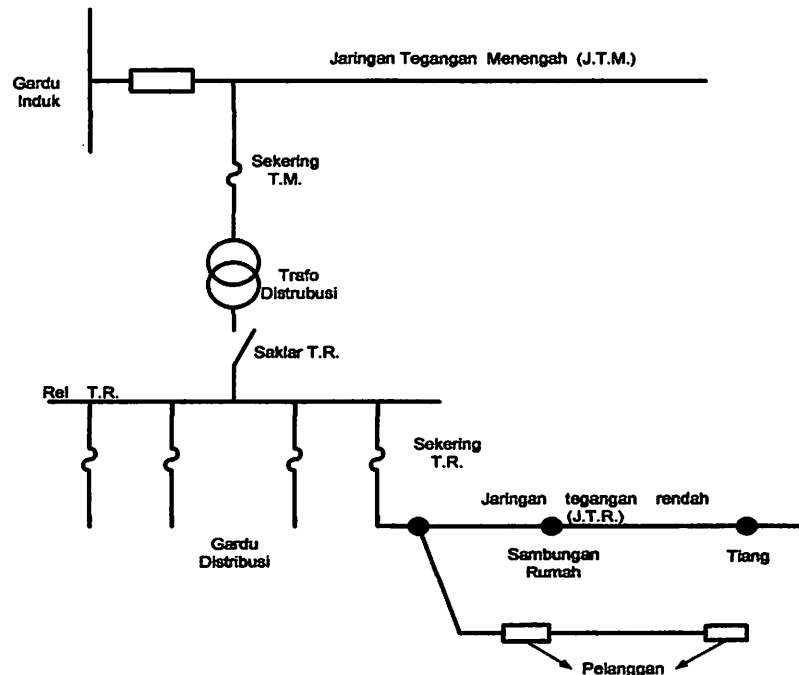
Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, kemudian tegangan diturunkan pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah 380/220 V yang kemudian disalurkan kerumah-rumah pelanggan dengan menggunakan jaringan tegangan rendah. Gambar 2.2 menunjukkan diagram satu garis system tenaga listrik.



Gambar 2.2 Diagram satu garis system tenaga listrik

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik <sup>[3]</sup>

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi. Jaringan setelah keluar dari gardu induk bisa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.



Gambar 2.3 Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20kV sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer ( Jaringan Tegangan Menengah )
2. Sistem distribusi sekunder ( Jaringan Tegangan Rendah )

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

### 2.2.1 Sistem Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV. Oleh karena itu sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah.

### 2.2.2 Sistem Distribusi Sekunder

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/220 volt atau 220/380 volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

### 2.3 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik <sup>[2]</sup>

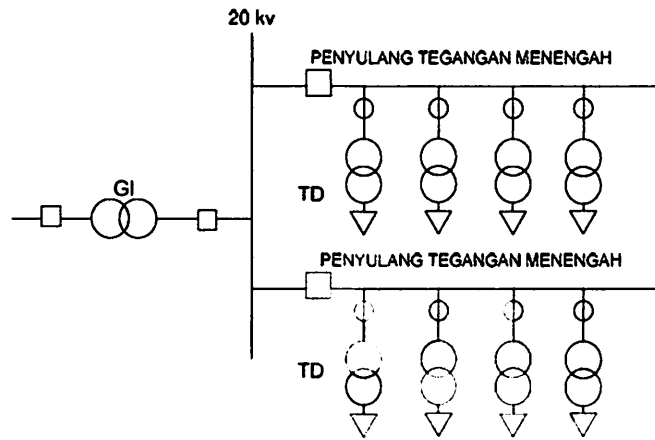
Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dipertimbangkan terlebih dahulu sehingga untuk ekspansi sistem di masa yang akan datang tidak menjadi masalah.

Ada beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

1. Sistem jaringan distribusi konfigurasi radial
2. Sistem jaringan distribusi konfigurasi tertutup ( *loop* )
3. Sistem jaringan distribusi konfigurasi sepindel

#### 2.3.1 Jaringan distribusi konfigurasi radial

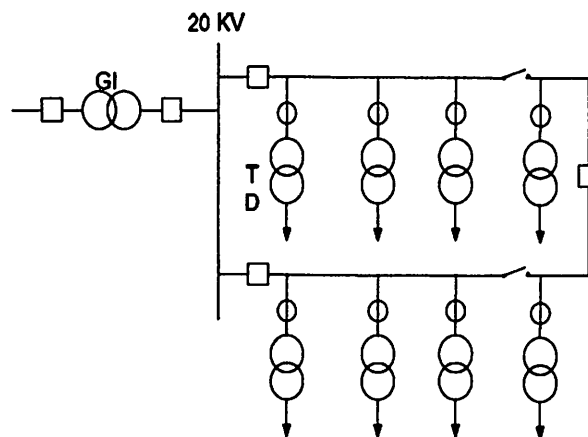
Gambar 2.4 menunjukkan jaringan distribusi tegangan menengah berupakan konfigurasi radial. Konfigurasi radial merupakan interkoneksi antara gardu distribusi, dimana beberapa gardu distribusi yang terhubung seri disuplai oleh sebuah busbar GI (Gardu Induk). Konfigurasi ini terdiri dari beberapa penyulang yang keluar dari GI dan sumber tegangannya hanya satu arah saja. Dalam penyulang tersebut terdapat gardu-gardu distribusi yang dilengkapi oleh trafo penurun tegangan menjadi tegangan rendah. Konfigurasi ini merupakan jenis konfigurasi yang paling sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Tetapi konfigurasi ini memiliki kelemahan, sebab suplai pada gardu distribusi hanya diperoleh dari satu arah saja. Sehingga jika suplai dari GI mengalami gangguan, maka seluruh penyulang yang disuplai oleh GI tersebut akan mengalami pemadaman.



Gambar 2.4 Jaringan distribusi konfigurasi radial

### 2.3.2 Jaringan distribusi konfigurasi loop

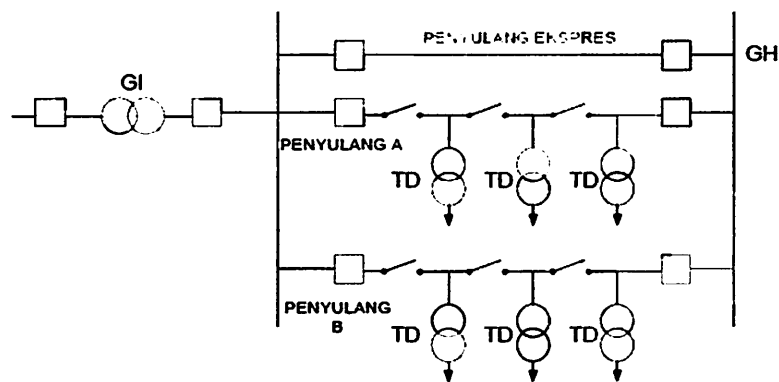
Konfigurasi loop merupakan interkoneksi antar gardu distribusi yang membentuk suatu lingkaran tertutup (loop). Pada konfigurasi ini bisa terdapat lebih dari satu busbar GI, dan masing-masing penyulangnya membentuk suatu rangkaian tertutup dengan GI. Keuntungan dari konfigurasi loop ini adalah pasokan dayalistrik dari GI lebih terjamin. Sebab jika salah satu GI mengalami gangguan maka penyulang akan tetap mendapatkan pasokan dari GI yang lain yang tidak mengalami gangguan. Dan GI yang mengalami gangguan dapat diperbaiki tanpa takut akan mengganggu suplai daya ke gardu distribusi. Gambar 2.5 adalah konfigurasi tipe loop.



Gambar 2.5 Jaringan distribusi konfigurasi loop

### 2.3.3 Jaringan distribusi konfigurasi spindel

Konfigurasi spindel merupakan hubungan seri antara gardu distribusi yang kedua ujungnya dihubungkan oleh busbar GI dan GH (Gardu Hubung). Yang menjadi ciri khas dari jaringan ini adalah adanya sebuah penyulang ekspres. Penyulang ekspres ini berfungsi sebagai penyulang cadangan yang akan menyuplai daya ke beban saat salah satu penyulang mengalami gangguan. Pada jaringan spindel ini terdapat beberapa penyulang yang disuplai oleh GI dan berakhir pada suatu gardu hubung. Gambar 2.6 adalah jaringan distribusi konfigurasi spindel.



Gambar 2.6 Jaringan distribusi konfigurasi spindel

## 2.4 Analisa Aliran Daya Jaringan

Dalam melayani beban yang dibutuhkan oleh konsumen dan pengoperasian tenaga listrik perlu dilakukan suatu analisa aliran daya, sehingga sistem yang dioperasikan dapat memenuhi syarat yang baik secara teknis maupun tingkat ekonomisnya. Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan-perhitungan terhadap tegangan, arus, daya aktif, reaktif, dan sudut fasa yang terdapat dalam berbagai titik pada saluran distribusi tenaga listrik.

Tujuan dari analisa daya adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap node dari sistem tenaga.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap saluran dari struktur jaringan
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya yang mengalir pada setiap saluran.



## 2.5 Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada bagian ini akan menjelaskan macam-macam jenis daya yang ada di dalam sistem tenaga listrik yang meliputi daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

### 2.5.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) atau daya nyata adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt.

*Line to netral / 1 fasa*

$$P = V \times I \times \cos \emptyset \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

*Line to line/ 3 fasa*

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \emptyset$$

Ket :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

$\cos \emptyset$  = Faktor Daya

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Misalnya energi panas, cahaya, mekanik dan lain – lain.

### 2.5.2 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Satuan daya reaktif adalah Var.

*Line to netral/ 1 fasa*

$$Q = V \times I \times \sin \emptyset \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

*Line to line/ 3 fasa*

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \emptyset$$

Ket :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

Sin Ø = Faktor Daya

Ada dua macam daya reaktif yaitu : daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif, dimana keduanya memiliki tanda yang berlawanan. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan oleh kapasitor yang tidak menghasilkan kerja, tetapi tersimpan dalam bentuk energi magnetis atau energi kapasitif.

Daya reaktif induktif adalah daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat-alat seperti motor induksi, transformator dan sebagainya.

### 2.5.3 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

*Line to netral/ 1 fasa*

$$S = V \times I \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

*Line to line/ 3 fasa*

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Ket :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

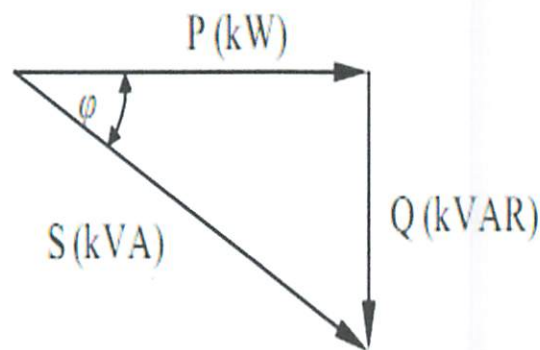
I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

### 2.5.4 Faktor daya <sup>[4]</sup>

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk daya sendiri dibentuk oleh dua komponen, daya nyata (P) dan komponen daya reaktif (Q). Hubungan ini dapat digambarkan dalam diagram vektor berikut :



Gambar 2.7 Segitiga daya

Dengan Faktor Daya :

$$\text{Dengan faktor daya} = \text{Cos}\phi = \frac{P}{S}$$

$$\text{Cos}\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \dots\dots\dots (2.5)$$

- Dimana :
- P = Daya Nyata (kW)
  - Q = Daya Semu (kVAR)
  - S = Daya Semu (kVA)
  - φ = Sudut Fasa

Faktor daya ( Cos φ ) akan mendahului (*leading*) apabila arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (*lagging*) bila arus terbelakang terhadap tegangan. Dengan diketahui besarnya faktor daya yang terjadi maka, berdasarkan gambar diatas dapat ditentukan nilai masing-masing daya yaitusebagai berikut:

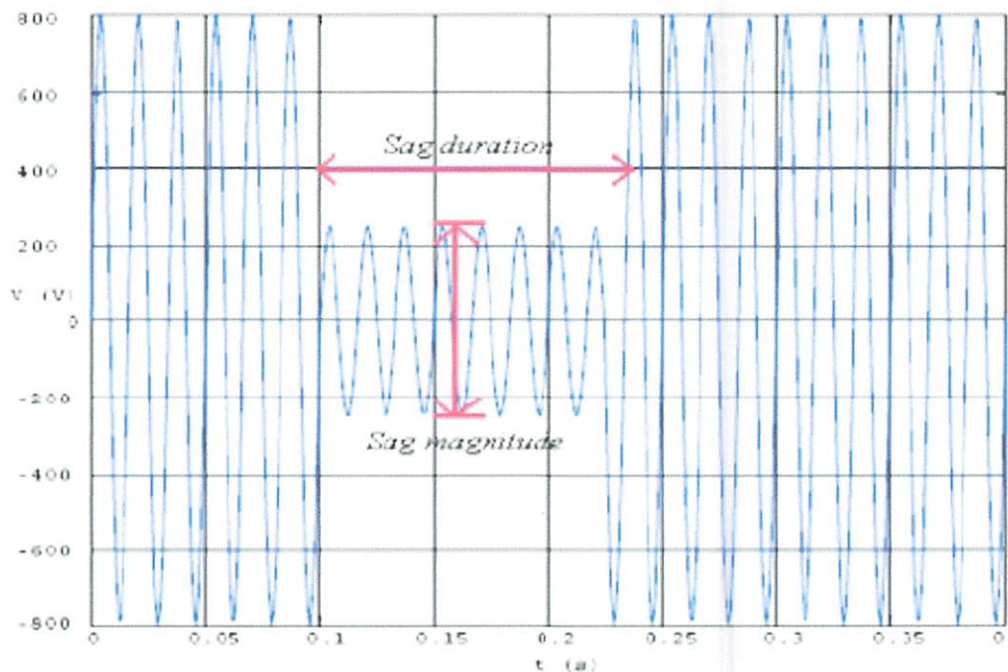
- Daya semu :  $S = P + jQ$  dengan satuan kVA
- Daya nyata :  $P = S \text{ Cos } \phi$  dengan satuan kW
- Daya Reaktif :  $Q = S \text{ Sin } \phi$  dengan satuan kVar

## 2.6 Voltage Sag

Ada berbagai macam gangguan terhadap tegangan, diantaranya adalah *voltage sag*, *voltage swell*, harmonisa, ketidakseimbangan tegangan. Di antara gangguan-gangguan tersebut gangguan yang paling sering terjadi adalah *voltage sag*. Hal ini akan mempengaruhi kualitas tegangan itu sendiri.

*Voltage Sag* merupakan penurunan tegangan sesaat pada frekuensi daya antara 0.1 dan 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit yang disebabkan oleh <sup>[4]</sup>:

1. Starting beban-beban yang besar seperti motor listrik, dimana hal ini akan menghasilkan fluktuasi arus maupun tegangan secara cepat.
2. Saat de-energisasi kapasitor
3. Gangguan hubung singkat
4. Pengoperasian pemanas elektrik
5. Gangguan kenaikan impedansi sumber
6. Umumnya karena adanya kehilangan koneksi



Gambar 2.8 Ilustrasi *Voltage Sag* pada sistem<sup>[5]</sup>

Dalam hal ini IEEE memberikan klasifikasi umum dari fenomena *voltage sag* berdasarkan hal-hal berikut<sup>[6]</sup>:

- Typical spectral content
- Typical duration
- Typical voltage magnitude

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5-ns rise	<50 ns	
1.1.2 Microsecond	1- $\mu$ s rise	50 ns–1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1-ms rise	>1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	<5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 $\mu$ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 $\mu$ s	0–4 pu
2.0 Short-duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Interruption		0.5–30 cycles	<0.1 pu
2.1.2 Sag (dip)		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.3 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		30 cycles–3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag (dip)		30 cycles–3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles–3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s–1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag (dip)		3 s–1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s–1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long-duration variations			
3.1 Interruption, sustained		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1–1.2 pu
4.0 Voltage unbalance		Steady state	0.5–2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		Steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–100th harmonic	Steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–6 kHz	Steady state	0–2%
5.4 Notching		Steady state	
5.5 Noise	Broadband	Steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	<25 Hz	Intermittent	0.1–7% 0.2–2 Pst
7.0 Power frequency variations		<10 s	

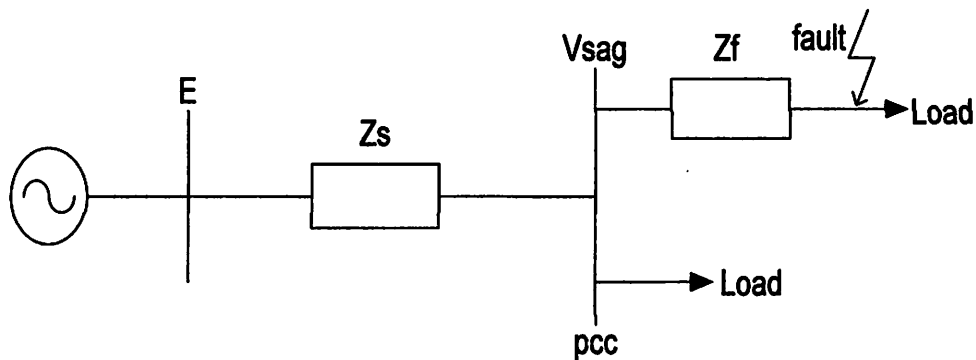
NOTE: s = second, ns = nanosecond,  $\mu$ s = microsecond, ms = millisecond, kHz = kilohertz, MHz = megahertz, min = minute, pu = per unit.

Gambar 2.9 standar IEEE 1159-1995, *IEEE Recommended Practice for*

*Monitoring Electric Power Quality*

### 2.6.1 Perhitungan Nilai *Voltage Sag* dalam Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage sag* pada sistem dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.10 Model pembagi tegangan untuk *voltage sag*

Dari gambar 2.10 diatas dilihat adanya 2 impedansi yaitu;  $Z_s$  (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan  $Z_f$  (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (*point of common coupling* atau PCC) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari arus gangguan. Jadi besaran kedip tegangan dinyatakan dengan persamaan:

$$Vsag = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan 2.6 dapat digunakan untuk menghitung besaran *voltage sag* sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karenanya dinyatakan  $Z_f = Z * L$ , dimana  $Z$  adalah impedansi dari saluran per unit panjang dan  $L$  adalah jarak antara kesalahan dan PCC. Besaran kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dinyatakan dengan persamaan:

$$Vsag = \frac{zL}{z_s + zL} \dots\dots\dots(2.7)$$

$V_{sag}$  : tegangan sag (pu).

$Z_f$  : impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan ( $\Omega$ )

$Z_s$  : impedansi sumber pada titik kopling bersama ( $\Omega$ )

$Z$  : impedansi dari saluran per unit panjang ( $\Omega$ )

$L$  : adalah jarak antara kesalahan dan PCC (m)

### 2.6.2 Pengaruh *Voltage Sag* Pada Peralatan

Peralatan proses industri sangat peka terhadap permasalahan *voltage sag* karena peralatan tersebut saling berhubungan satu sama lain, jika terjadi trip/padam dalam berbagai komponen dari suatu proses industri akan mengakibatkan seluruh proses produksi tidak bekerja.

Beberapa contoh peralatan yang peka terhadap *voltage sag*.

a. Motor kontaktor dan relay elektromekanik

Jika *voltage sag* terjadi pada motor kontaktor, maka kontak pada motor tersebut akan terbuka secara langsung. Hal yang sama juga akan terjadi pada relay elektromekanik sehingga proses akan terhenti.

b. Lampu intensitas tinggi atau high intensity discharge (HID) lamp

Tegangan yang kurang 80% dari tegangan normalnya, maka lampu merkuri akan padam dan membutuhkan waktu untuk lampu menyala kembali.

c. Adjustable speed motor drives (ASDs)

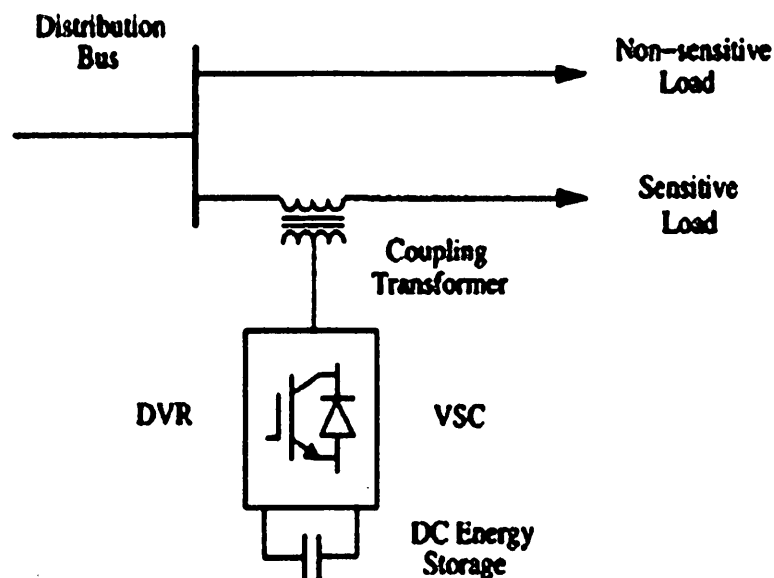
Voltage sag akan menyebabkan tidak bekerjanya ASDs, kontak relay pada ASDs akan terbuka ketika terjadi *voltage sag*, serta mengakibatkan pengaruh tersebut tidak bekerja lagi.

d. Programmable Logic Controllers (PLC)

Peralatan PLC merupakan peralatan yang penting dalam sebuah proses industri, karena biasanya seluruh proses dalam sebuah industri sering menggunakan kendali PLC. Unit pengendali I/O akan trip/mati apabila tegangan yang masuk cuma 90% dari tegangan normal selama beberapa periode. Secara keseluruhan dalam sistem PLC sangat sensitive terhadap pengaruh *voltage sag*.

## 2.7 Model *Dynamic Voltage Restorer*<sup>[4]</sup>

*Dynamic Voltage Restorer* merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk meminimalisasikan *Voltage Sag*. *Dynamic Voltage Restorer* biasanya bekerja pada bagian dimana trafo penghubung dihubungkan secara seri dengan system arus bolak balik seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



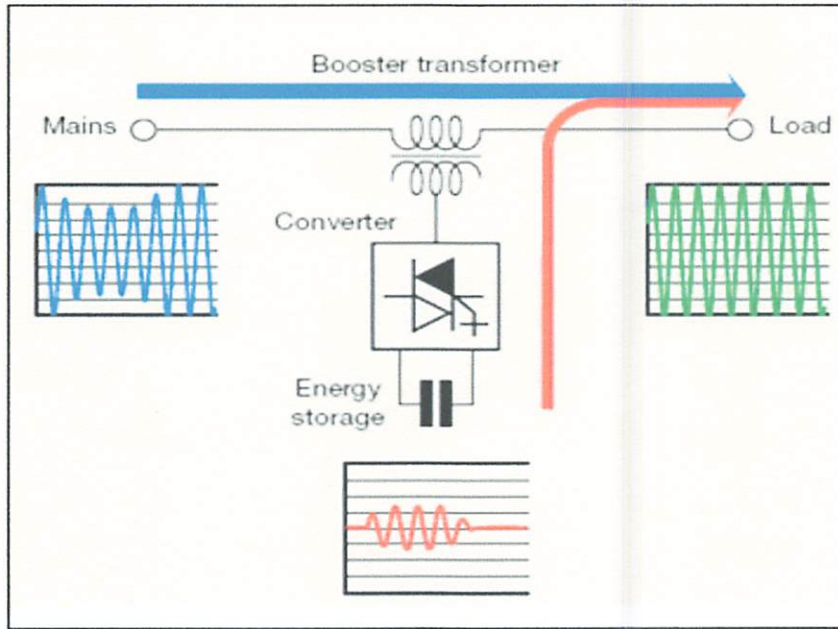
Gambar 2.11 Diagram fungsional *DVR*

### 2.7.1 Perinsip Dasar Operasi *Dinamic Voltage Restorer*

*DVR* adalah perangkat elektronika daya yang terdiri dari GTO maupun IGBT, kapasitor bank sebagai perangkat yang menyimpan energi untuk menginjeksi ke system yang bermasalah. Hal ini dihubungkan secara seri antara sistem distribusi dan beban yang ditunjukkan pada gambar 2.12.<sup>[5]</sup>

Prinsip dasar dari *DVR* ini adalah untuk mengkompensasi tegangan sag dan mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas yang diinginkan. Sebuah kapasitor dan sumber tegangan DC yang berfungsi sebagai perangkat penyimpan energi. Dalam perpindahan dari DC ke AC disini inverter mengatur tegangan yang diatur PWM sinusoida.





Gambar 2.12 Prinsip kerja operasi *DVR*

### 2.7.2 Kompensasi *DVR* Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ketidakstabilan tegangan dalam sistem distribusi bisa menyebabkan terjadinya pemborosan energi listrik. Ketidakstabilan itu dapat diartikan tegangan pada suatu fase lebih besar, lebih kecil atau berfluktuasi terhadap tegangan standar. Sedangkan akibat pemborosan energi listrik itu maka timbul panas sehingga bisa menyebabkan pertama kerusakan isolator peralatan yang dipakai. Kedua memperpendek daya isolasi pada lilitan. Sementara itu dengan ketidakseimbangan sebesar 3% saja dapat memperbesar suhu motor yang sedang beroperasi sebesar 18% dari keadaan semula. Hal ini tentunya akan menimbulkan suara bising pada motor dengan kecepatan tinggi.

Untuk mengoptimalkan pemakaian energi listrik bisa digunakan beban-beban tiruan berupa LC yang dilengkapi dengan teknologi pengendalian. Sehingga ketepatan dan keandalan dalam mendeteksi kualitas daya listrik bisa diperoleh. Pengendali itu berfungsi untuk mengolah komponen-komponen yang menentukan kualitas tenaga listrik. Seperti keseimbangan beban antar fasa dan harmonik. Apabila terdapat ketidakseimbangan antara fasa satu dengan fasa yang lainnya, maka pengendali akan memerintahkan beban-beban LC untuk membuka atau menutup agar arus disuplai ke fasa satu sehingga selisih arus antara fasa satu

dengan fasa yang lainnya tidak ada. Banyaknya L atau C yang dibuka atau ditutup tergantung dari kondisi ketidakseimbangan beban yang terdeteksi oleh pengontrol. Komponen LC yang dimaksudkan diatas sudah terintegrasi dalam peralatan *DVR*. Hampir semua beban dalam sistem tenaga listrik didominasi oleh beban-beban induktif seperti motor-motor listrik, inverter, *UPS* dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan komponen-komponen induktif yang berakibat menimbulkan gangguan *voltage sag*. Untuk mengatasi permasalahan ini *DVR* menawarkan pengendalian yang fleksibel dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Ini mungkin dilakukan dengan adanya perkembangan piranti elektronika daya yang berkembang cukup pesat, *full controllable* dan penggunaannya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini *DVR* dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol SPWM.

### **2.7.3 Aksi Kontrol *PWM* Sinusoida Terhadap *DVR***

Prinsip dari *DVR* adalah menerima dan memproses sinyal error dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukkan ke *PWM Voltage Source Converter* tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan sinyal error antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier (triangular wave)* yang berupa sinyal gigi geraji (*saw tooth*). Sinyal error ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan sinyal gigi geraji sebagai sinyal *carrier*. *Output* dari *PWM* di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian switching yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa dari 2 IGBT.

## **2.8 Peralatan Elektronika Daya**

### **2.8.1 Transistor Bipolar**

Transistor bipolar sangat lebih lambat daripada MOSFET. Secara prinsip, hal ini disebabkan oleh waktu gulir mati (*turn-off*) piranti bipolar yang lebih panjang. Kedua adalah resistansi saat kondisi menyambng (*on-state*) piranti bipolar yang relative tak bergantung (bersifat varian) terhadap temperature, dibandingkan

dengan adanya nilai koefisien temperature yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperature ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada system system yang berdaya tinggi.

### **2.8.2 Voltage Source Converter (VSC)**

Konverter sumber tegangan (*VSC*) adalah peralatan elektronika daya yang dapat menghasilkan tegangan sinusoidal dengan magnituda, frekuensi dan sudut fasa yang diinginkan. Fungsi dasar dari *VSC* adalah untuk mengkonversi tegangan searah (*DC*) yang dihasilkan oleh piranti penyimpan energi (*energy storage device*) menjadi tegangan arus bolak-balik (*AC*) yang dibutuhkan oleh *injection/coupling transformer* untuk mengkompensasi tegangan pada beban sensitif.<sup>[5]</sup>

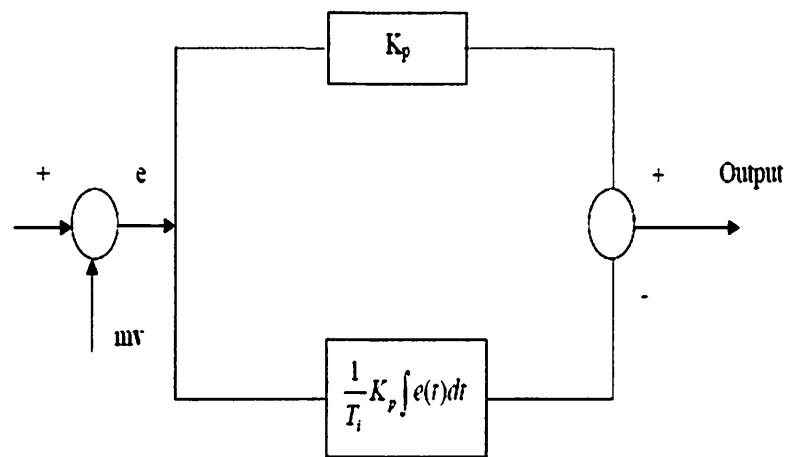
### **2.8.3 Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)**

*IGBT = insulated gate bipolar transistor*) adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah *BJT* dan sebuah *MOSFET*. Jenis peranti baru yang berfungsi sebagai komponen saklar untuk aplikasi daya ini muncul sejak tahun 1980-an.

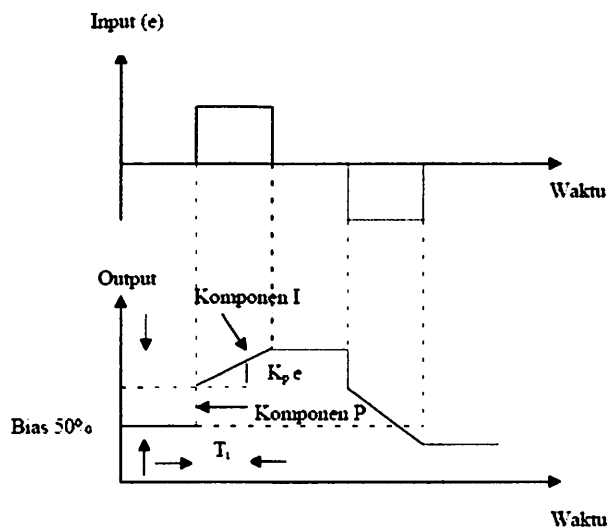
Masukan dari *IGBT* adalah terminal *Gerbang* dari *MOSFET*, sedang terminal *Sumber* dari *MOSFET* terhubung ke terminal *Basis* dari *BJT*. Dengan gabungan sifat kedua unsur tersebut, *IGBT* mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah saklar elektronik. Di satu pihak *IGBT* tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya. Di samping itu, kecepatan pensaklaran *IGBT* juga lebih tinggi dibandingkan peranti *BJT*, meskipun lebih rendah dari peranti *MOSFET* yang setara. Dengan demikian bila tegangan jatuh serta borosan dayanya pada saat keadaan menghantar juga kecil. Dengan sifat-sifat seperti ini, *IGBT* akan sesuai untuk dioperasikan pada arus yang besar, hingga ratusan Ampere, tanpa terjadi kerugian daya yang cukup berarti. *IGBT* sesuai untuk aplikasi pada perangkat *Inverter* maupun Kendali Motor Listrik (*Drive*).

## 2.9 Pengendali Proporsional Integral (PI Controller)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 2.13 Diagram Kotak Pengendali PI



Gambar 2.14 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

## 2.10 Kontrol PWM Berbasis Sinusoida

Bagian ini menguraikan skema kontrol PWM yang berbasis dengan mengacu pada *DVR*. Tujuan dari skema kontrol adalah untuk menjaga besarnya tegangan konstan pada titik dimana beban sensitif terhubung, di bawah gangguan sistem. Sistem kontrol hanya mengukur tegangan rms pada titik beban, tidak ada pengukuran daya reaktif yang diperlukan. Strategi Peralihan VSC didasarkan pada teknik PWM sinusoidal yang menawarkan kesederhanaan dan respon yang baik. Karena daya kustom adalah sebuah aplikasi yang relatif berdaya rendah, metode PWM menawarkan pilihan yang lebih fleksibel dibandingkan *switching* frekuensi dasar. Selain itu, frekuensi *switching* tinggi dapat digunakan untuk memperbaiki efisiensi konverter, tanpa menimbulkan *switching losses* yang signifikan.

Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. Pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan ( $\delta$ ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dengan tujuan menghasilkan sinyal penyakelaran untuk VSC.

Parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi ( $m_a$ ) pada sinyal  $V_{control}$ , dan sinyal segitiga pada index modulasi frekuensi ( $m_f$ ). Index Amplitudo  $M_a$  dipertahankan tetap pada 1 (pu), dalam hal memperoleh komponen dasar tegangan tinggi pada pengontrol keluaran. Frekwensi Switching ditetapkan pada 450 Hz,  $M_f=9$  dan kasus pengujian dilakukan pada jaringan yang stabil. Sudut modulasi diterapkan pada pembangkit sinyal PWM pada fasa A. Untuk Fasa B dan C dengan pergeseran berturut turut  $120^\circ$  dan  $240^\circ$ . Penerapan pengendalian sangat sederhana dengan menggunakan sinyal tegangan sebagai variabel umpan balik dalam perencanaan pengontrolan. Kecepatan respon dan efektifitas perencanaan pengontrolan ditunjukkan dalam simulasi.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Sistematika Penelitian

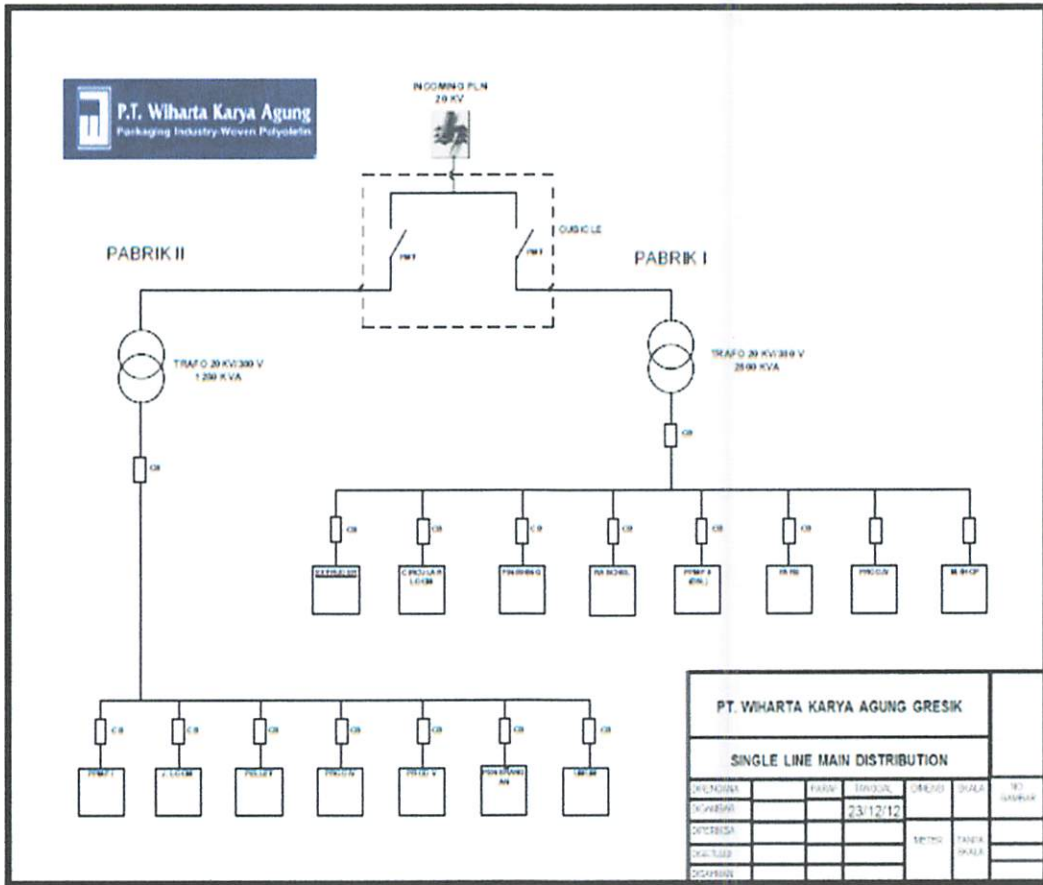
Penelitian skripsi ini menganalisis mengenai masalah tegangan kedip atau *voltage sag* yang terjadi pada sistem daya PT. Wiharta Karya Agung Gresik. Identifikasi masalah dimaksudkan untuk mengetahui penyebab terjadinya tegangan kedip atau *voltage sag*. Tegangan kedip atau *voltage sag* yang terjadi pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik disebabkan oleh pengasutan motor induksi, khususnya motor berkapasitas besar. Setelah itu dilakukan pengumpulan data, berupa data gambar, data tansformator, data beban (beban motor dan penerangan), dan single line diagram.

Data yang telah diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam sistem yang telah dimodelkan pada *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation* sesuai dengan single line diagram PT. Wiharta Karya Agung Gresik, kemudian dibandingkan dengan standart IEEE 1159-1995 tentang penurunan tegangan. Jika hasil tersebut tidak sesuai dengan standart, maka akan dilakukan pemasangan peralatan kompensasi *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. Yang berfungsi untuk mengurangi tegangan kedip yang terjadi, setelah itu melakukan analisis perbandingan hasil sebelum dan sesudah pemasangan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* dan menarik sebuah kesimpulan.

### 3.2 Data Yang Digunakan Dalam Penelitian

Bahan yang digunakan adalah data – data teknis yang dimiliki PT. Wiharta Karya Agung Gresik yang meliputi :

#### 3.2.1 Single line diagram PT. Wiharta Karya Agung Gresik



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Wiharta Karya Agung Gresik

### 3.2.2 Data Kapasitas Trafo

Tabel 3.1 Data trafo

No	NamaTrafo	Daya (KVA)
1	TrafoPabrik 1	2500
2	TrafoPabrik 2	1250

### 3.2.3 Data Beban

Tabel 3.2 Data beban pabrik 1

NO	UNIT	MESIN	DAYA (KW)	JML MESIN	TOT. (KW)	TOT (KVA)	HP	ARUS		
1	EXTRUDER	TIREX I	145.46	1	145.46	171.13	194.98	450.33		
		TIREX II	151.05	1	151.05	177.71	202.48	467.65		
		TIREX III	173.43	1	173.43	204.04	232.48	536.93		
		TIREX IV	156.65	1	156.65	184.29	209.98	484.97		
		TIREX LT	179.02	1	179.02	210.62	239.97	554.25		
		STAREX	201.40	1	201.40	236.94	269.97	623.53		
		HENGLI	149.93	1	149.93	176.39	200.98	464.18		
		DANLINE	82.24	1	82.24	96.75	110.24	254.61		
		CHILLER TIREX	0.00	0	0.00	0.00	0	0		
		CHILLER TIREX IV	29.65	1	29.65	34.88	39.74	91.79		
		CHILLER STAREX	34.57	1	34.57	40.68	46.34	107.04		
		CHILLER LT	50.35	1	50.35	59.24	67.49	155.88		
		COMPRESSOR	8.31	7	58.19	68.46	78	180.16		
		AIR DRYER	6.99	1	6.99	8.23	9.37	21.65		
		NEEDLE LOOM	0.98	15	14.77	17.38	19.79	45.72		
		BRAIDED ROPE	0.97	6	5.81	6.83	7.78	17.97		
		CREEN NDL LOOM	2.71	2	5.43	6.38	7.27	16.8		
		OVEN	7.38	1	7.38	8.69	9.89	22.86		
				<b>SUB TOTAL :</b>	<b>1,381.12</b>	<b>43</b>	<b>1,452.34</b>	<b>1,708.63</b>		
		2	CIRCULAR LOM	STACO	3.24	48	155.48	182.92	208.42	481.37
ROKSAN	4.20			5	20.98	24.68	28.12	64.95		
OMEGA 6	2.99			32	95.78	112.68	128.38	296.52		
YONGMING	3.09			24	74.25	87.35	99.53	229.87		
OMEGA 1000 HV	2.97			8	23.72	27.91	31.79	73.43		
				<b>SUB TOTAL :</b>	<b>16.49</b>	<b>117</b>	<b>370.21</b>	<b>435.54</b>		
3	FINISHING	CON LINE	4.62	4	18.46	21.72	24.74	57.15		
		PRINTING	2.09	4	8.37	9.85	11.21	25.91		



		PACKING	2.94	2	5.87	6.91	7.87	18.18
		JAHIT	4.92	1	4.92	5.79	6.59	15.24
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>14.57</b>	<b>11</b>	<b>37.63</b>	<b>44.27</b>		
<b>4</b>	<b>RASCHEL</b>	BEAMING	3.41	1	3.41	4.01	2.54	10.56
		HDR / RDS	5.73	4	22.94	26.99	17.11	71.01
		PACKING	6.49	1	6.49	7.63	4.84	20.09
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>15.64</b>	<b>6</b>	<b>32.84</b>	<b>38.64</b>		
<b>5</b>	<b>PPMF II (ESL)</b>	EXTRUDER	47.67	1	47.67	56.08	63.89	147.57
		CHILLER	30.32	1	30.32	35.67	40.64	93.87
		COMPRESSOR	9.30	3	27.91	32.84	37.41	86.41
		DRAWING	47.11	1	47.11	55.42	63.14	145.83
		UP TWISTER	10.72	3	32.17	37.85	43.12	99.61
		CABLING	17.59	2	35.19	41.40	47.17	108.94
		CROSSWINDER	24.90	1	24.90	29.29	33.37	77.07
		OVEN PPMF	6.99	1	6.99	8.23	9.37	21.6506
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>194.61</b>	<b>13</b>	<b>252.26</b>	<b>296.77</b>		
<b>6</b>	<b>FARE</b>	EXTRUDER	123.64	2	247.28	290.92	331.47	765.56
		CROSS WINDER	24.90	1	24.90	29.29	33.37	77.07
		UP TWISTER	51.47	7	360.29	423.87	482.95	1115.44
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>200.00</b>	<b>10</b>	<b>632.46</b>	<b>744.07</b>		
<b>7</b>	<b>PROD. VI (LOKASI I)</b>	PACKING	7.22	2	14.43	16.98	19.34	44.68
		UD. HIKMAH	5.48	1	5.48	6.45	7.34	16.97
		UD. MULIA JAYA	5.31	1	5.31	6.25	7.12	16.45
		CV.EMY BISBAN	8.95	1	8.95	10.53	11.99	27.71
		UD. BAKTI	5.31	1	5.31	6.25	7.12	16.45
		UD. SKA	3.52	1	3.52	4.15	4.72	10.91
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>35.80</b>	<b>7</b>	<b>43.02</b>	<b>50.61</b>		
<b>8</b>	<b>M.SHOP</b>	MESIN BUBUT	2.74	2	5.48	6.45	7.34	16.97
		MESIN SEKRAP	1.85	1	1.85	2.17	2.47	5.71
		MESIN FRAIS	1.31	2	2.63	3.09	3.52	8.14
		MESIN LAS	7.89	3	23.66	27.84	31.72	73.26
		MESIN GERGAJI	1.17	1	1.17	1.38	1.57	3.63
		MESIN BOR RADIKAL	1.23	1	1.23	1.45	1.64	3.81
		MESIN GERENDA	0.48	2	0.95	1.12	1.27	2.94
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>16.67</b>	<b>12</b>	<b>36.98</b>	<b>43.51</b>		

Tabel 3.3 Data beban pabrik 2

NO	UNIT	MESIN	DAYA (KW)	JML MESIN	TOT. (KW)	TOT. (KVA)	HP	ARUS
9	J. LOOM	HAGIHARA	5.27	7	36.89	43.40	49.45	114.21
		STACO	4.25	3	12.76	15.01	17.09	39.49
		SL - 8	8.10	6	48.57	57.14	65.10	150.37
		COMPRESSOR	6.94	1	6.94	8.16	9.29	21.47
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>24.55</b>	<b>17</b>	<b>105.15</b>	<b>123.71</b>		
10	PELLET	EREMA	72.45	1	72.45	85.23	97.11	224.30
		INJECT. MOULD	29.37	1	29.37	34.55	39.37	90.93
		CHILLER ( IMD )	4.08	1	4.08	4.80	5.47	12.64
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>105.90</b>	<b>3</b>	<b>105.90</b>	<b>124.59</b>		
11	PROD. IV	LAMI TERNG YICH	100.14	1	100.14	117.81	134.23	310.03
		LAMI SENGAR	100.70	1	100.70	118.47	134.98	311.76
		CHILLER	10.35	2	20.70	24.35	27.74	64.08
		OVERHEAD CRANE	3.08	1	3.08	3.62	4.12	9.52
		COMPRESSOR	1.64	3	4.92	5.79	6.59	15.24
		UNIT COT. JAHIT	62.10	1	62.10	73.06	83.24	192.25
		UNIT COT. POTONG	38.60	1	38.60	45.41	51.74	119.51
		PACKING	6.84	3	20.53	24.15	27.51	63.54
		PRINTING	5.87	1	5.78	6,91	7.87	18.18
		PRINTING XIN BAO	0.45	1	0.53	0.53	0.59	1.38
		AC	45.04	1	52.98	52.98	60.36	139.43
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>374.81</b>	<b>16</b>	<b>402.12</b>	<b>473.09</b>		
12	PROD. V	AC	13.76	1	13.76	16.19	18.44	42.60
		JAHIT	19.36	1	19.36	22.77	25.94	59.92
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>33.12</b>	<b>2</b>	<b>33.12</b>	<b>38.96</b>		
13	PENERANGAN	PRODUKSI 1	8.73	1	8,73	10.27	11.69	27.01
		PRODUKSI 2	3.30	1	3.30	3.88	4.42	10.21
		PRODUKSI 3	2.52	1	2.52	2.96	3.37	7.79
		PRODUKSI 4	3.08	1	3.08	3.62	4.12	9.52
		PRODUKSI 5	0.95	1	0.95	1.12	1.27	2.94
		PRODUKSI 6	0.84	1	0.84	0.99	1.12	2.59
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>19.41</b>	<b>6</b>	<b>19.41</b>	<b>22.84</b>		
14	UMUM	UTILITY A P1	47.89	1	47.89	56.34	64.19	148.26
		UTILITY B P1	11.02	1	11.02	12.97	14.77	34.12
		UTILITY A P2	31.50	1	31.50	37.06	42.22	97.51
		UTILITY B P2	9.23	1	9.23	10.86	12.37	28.57
		<b>SUB TOTAL :</b>	<b>99.64</b>	<b>4</b>	<b>99.64</b>	<b>117.22</b>		

### 3.3 Lokasi Dan Waktu Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data untuk penelitian ini adalah PT. Wiharta Karya Agung Gresik. Waktu pengambilan data dilakukan pada tanggal 24 Desember 2012 – 27 Desember 2012.

### 3.4 Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

Pada prinsipnya, aplikasi perangkat lunak (*software*) pada komputer digital bertujuan untuk mempermudah dilakukannya analisis terhadap system tenaga listrik, terutama terhadap sistem yang besar dan kompleks. Salah satu software khusus yang mempermudah perhitungan analisis system tenaga ini adalah PCAD/EMTDC.

PSCAD (*Power System Computer Aided Design*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar, mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data yang terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga tersedia, jadi pengguna dapat mengubah parameter sistem, menjalankan simulasi dan melihat hasil secara langsung.



Gambar 3.2 Logo PSCAD

Software ini memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi dan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Dibandingkan dengan software lain dengan tujuan yang sama, PSCAD memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah digunakan.

PSCAD juga dikenal dengan nama PSCSD/EMTDC karena EMTDC (Electromagnet-ic Transient Including DC) merupakan bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, software ini sangat sesuai untuk

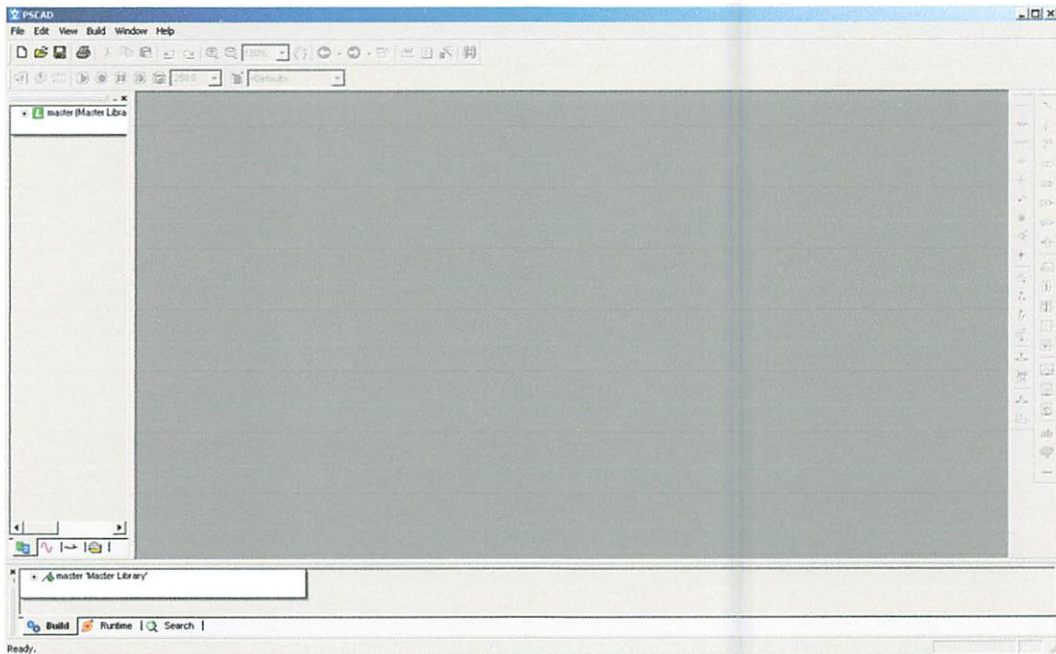
mendesain simulasi suatu sistem tenaga listrik beserta sistem kontrolnya secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*time domain instantaneous response*). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafis untuk suatu sistem yang akan dianalisa dapat ditampilkan dalam suatu paket dengan dilengkapi fasilitas kontrol unit, meter dan online plottinggrafis yang interaktif. Dengan kemampuannya ini, software PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian dan konsultan sebagai alat analisa yang utama.

Dibawah ini adalah model umum yang terdapat di dalam studi sistem menggunakan PSCAD/EMTDC:

- *Resistors, inductors, capacitors*
- *Mutually coupled windings, such as transformers*
- *Frequency dependent transmission lines and cables (including the most accurate time domain line model in the world)*
- *Current and voltage sources*
- *Switches and breakers*
- *Protection and relaying*
- *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- *Analog and digital control functions*
- *AC and DC machines, exciters, governors, stabilizers and inertial models*
- *Meters and measuring functions*
- *Generic DC and AC controls*
- *HVDC, SVC, and other FACTS controllers*
- *Wind source, turbines and governor*

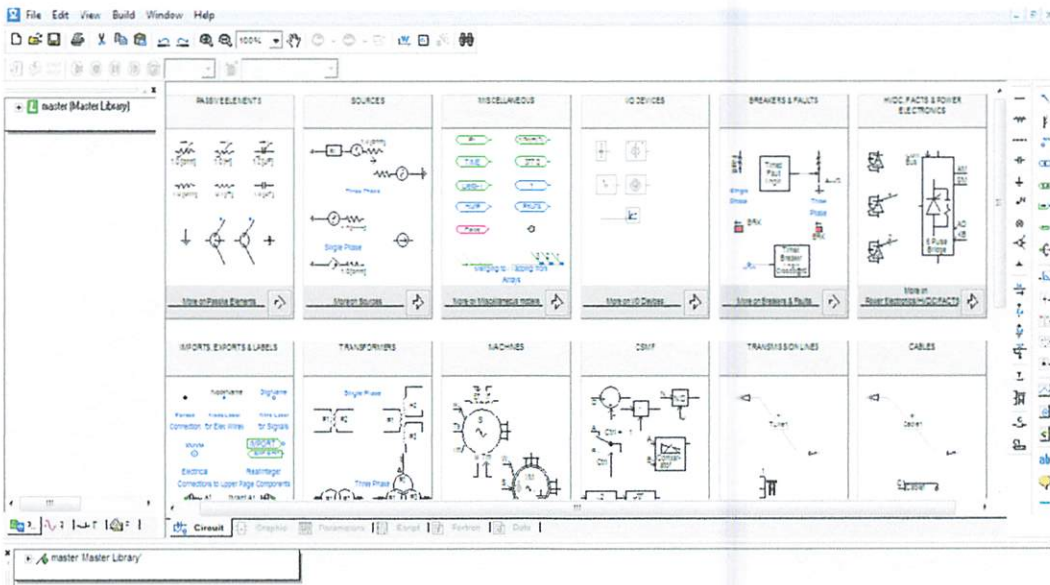
### 3.4.1 Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*

Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation* adalah sebagai berikut :



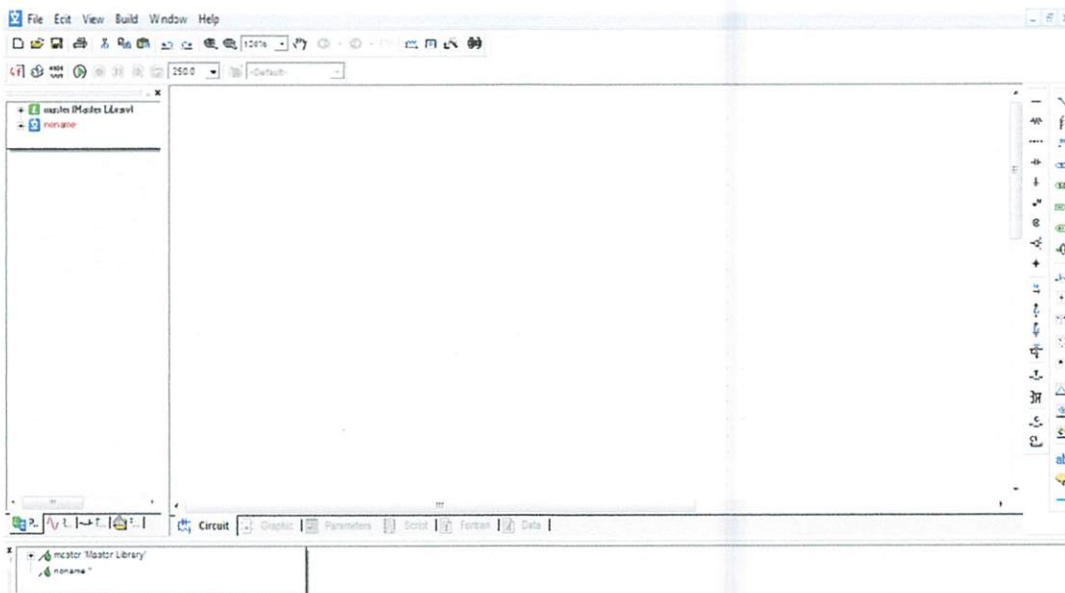
Gambar 3.3 Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan member nama *file* baru yang kita buat dengan nama “noname”. Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 3.5.
- Semua komponen yang akan digunakan dalam menggambar *single line* terdapat di dalam *Master Library* seperti pada tampilan di bawah ini. Untuk menggunakan *right klik on the component* > *copy* dan kemudian *paste* pada modul.



Gambar 3.4 Tampilan *Master Library*

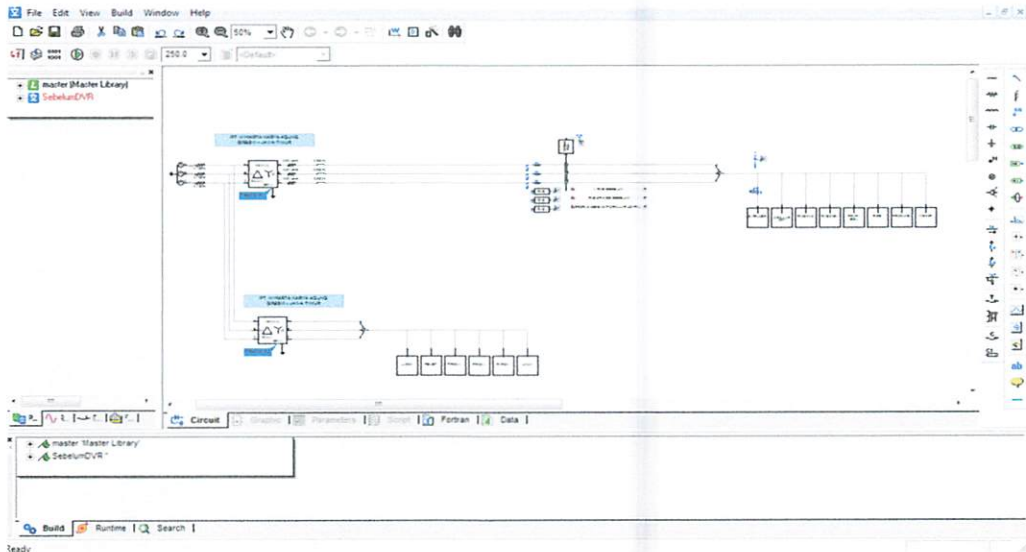
- *Double klik file* baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti dibawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini.



Gambar 3.5 Tampilan Modul Utama

- Dari tampilan modul utama kita bias mendesain system seperti yang dibutuhkan.

- Setelah mendesain sistem yang yang dibutuhkan, maka dapat kita lihat contoh single line diagram dalam modul utama seperti gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tampilan single line system kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam simulasi *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

### 3.5 Algoritma Simulasi *Software PSCAD/EMTDC*

1. Mulai
2. Studi literatur
3. Pengumpulan data yang diperlukan untuk pemodelan.
4. Pemodelan *single line* diagram, *DVR*, dan rangkaian kontrolnya.
5. Masukkan data teknis kedalam pemodelan *single line* yang meliputi data sumber tegangan dan kapasitasnya, data trafo, data beban, frekuensi, arus ,tegangan.
6. Compile.
7. Success generating fortran & data. Apabila tidak sukses maka kembali ke poin 6 dan mengecek kembali koneksi rangkaian dan parameternya. Apabila sukses maka berlanjut ketahap berikutnya.
8. Menjalankan simulasi gangguan *voltage sag*.
9. Menampilkan grafik hasil simulasi.

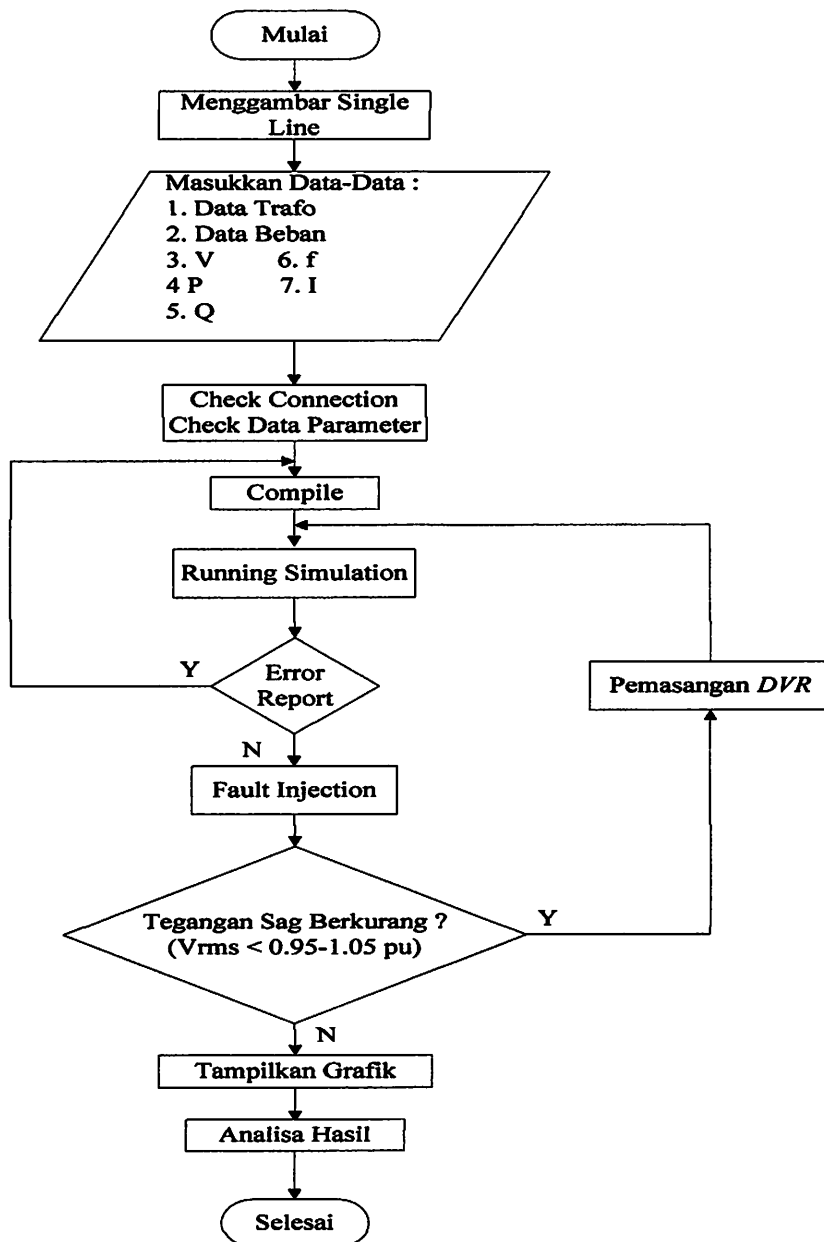
10. Menjalankan simulasi gangguan *voltage sag* yang dikompensasi dengan *DVR*.
11. Menampilkan grafik hasil simulasi.
12. Membandingkan hasil grafik sebelum dan sesudah simulasi.
13. Apabila tegangan tidak normal maka kita akan memasukkan data setelan yang baru dan kembali ke poin 6 dan apabila tegangan normal maka akan langsung analisis hasil.
14. Analisis hasil.
15. Selesai.



### 3.6 Flowchart

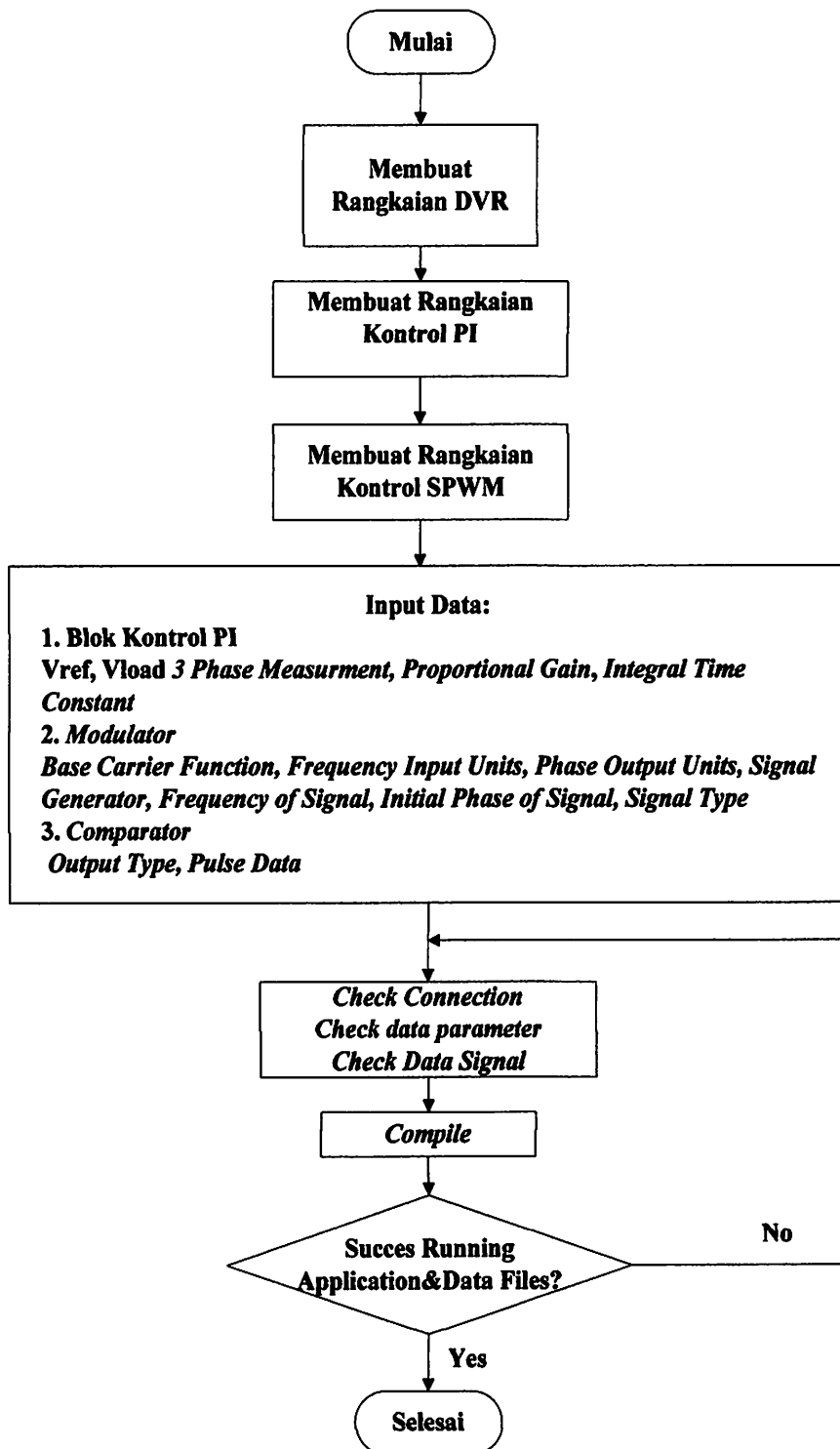
Pada bagian ini akan dijelaskan alur *flowchart* desain dan simulasi system serta *flowchart* untuk desain rangkaian control PWM.

#### 3.6.1 Flowchart Hasil Simulasi Menggunakan Software PSCAD/EMTDC



Gambar 3.7 Flowchart penyelesaian masalah

### 3.6.2 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM



Gambar 3.8 Flowchart Desain Rangkaian Kontrol PWM

## BAB IV

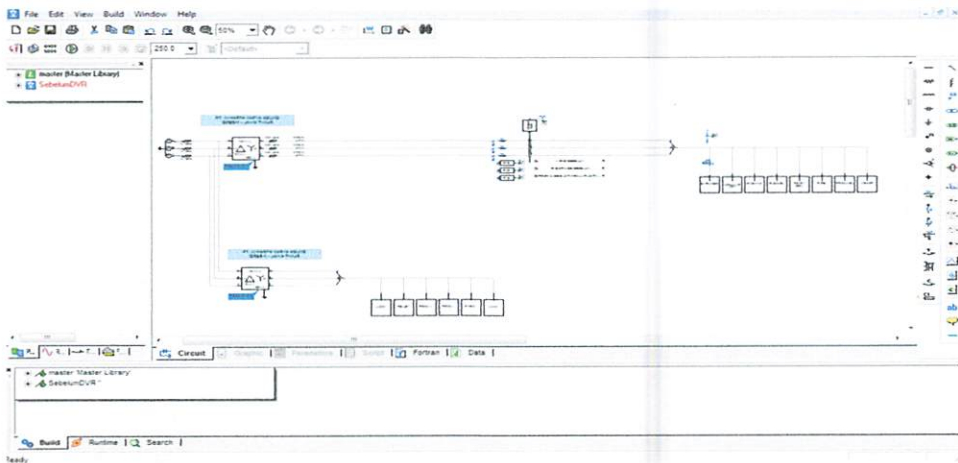
### HASIL DAN ANALISA HASIL

#### 4.1 Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

*Software PSCAD/EMTDC Power Simulation* merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk control dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan menggunakan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*.

#### 4.2 *Single Line* PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

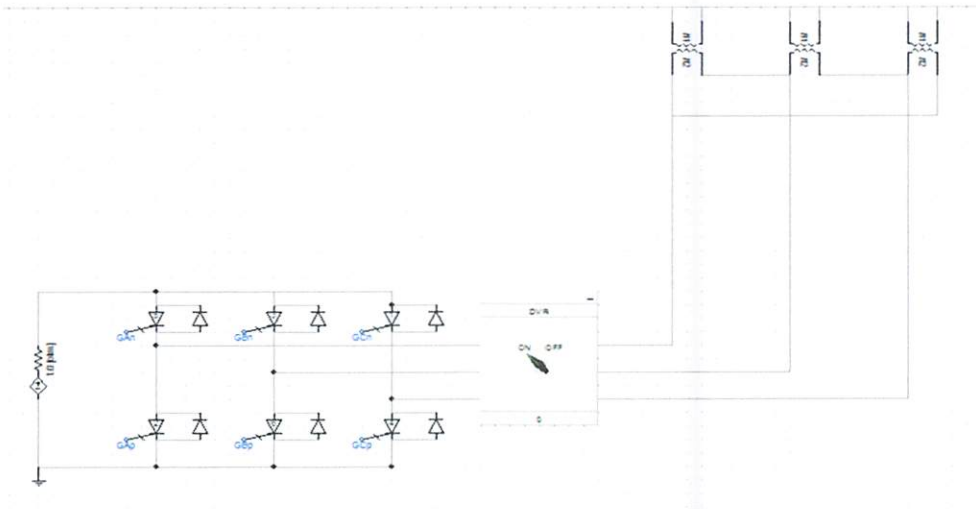
Membuat pemodelan *single line* diagram merupakan langkah awal dalam melakukan analisa. Untuk mensimulasi system dalam *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*, maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian tersebut kedalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* PT. Wiharta Karya Agung Gresik yang digambarkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*.



Gambar 4.1 Sistem kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik dalam *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

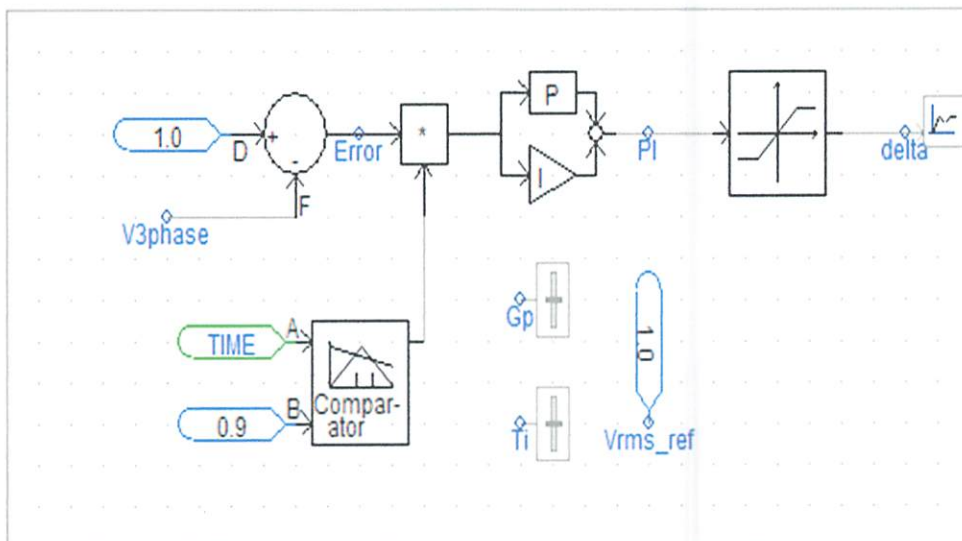
### 4.3 Pemodelan *DVR* Pada Sistem

Sebelum melakukan analisa lebih lanjut, terlebih dahulu membuat pemodelan *DVR* dan sistem kontrolnya kedalam single line yang telah dibuat. Gambar di bawah ini menunjukkan konfigurasi dari PWM dan *DVR* untuk mengatasi *voltage sag* dalam sistem kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik.

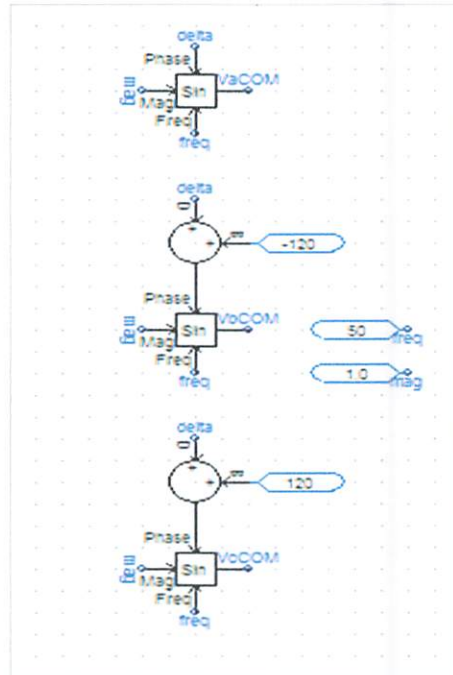


Gambar 4.2 *DVR* dalam sistem

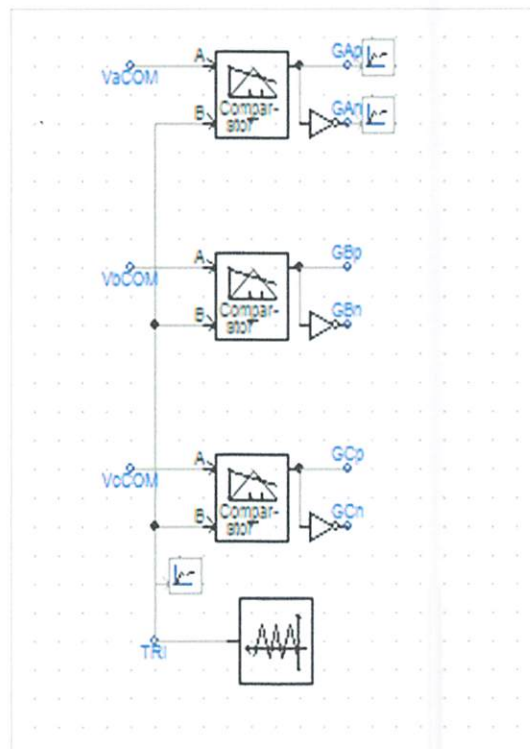
#### 4.3.1 Sistem Kontrol Pengendali *DVR*



Gambar 4.3 Rangkaian pengendali PI untuk pengendali *DVR*

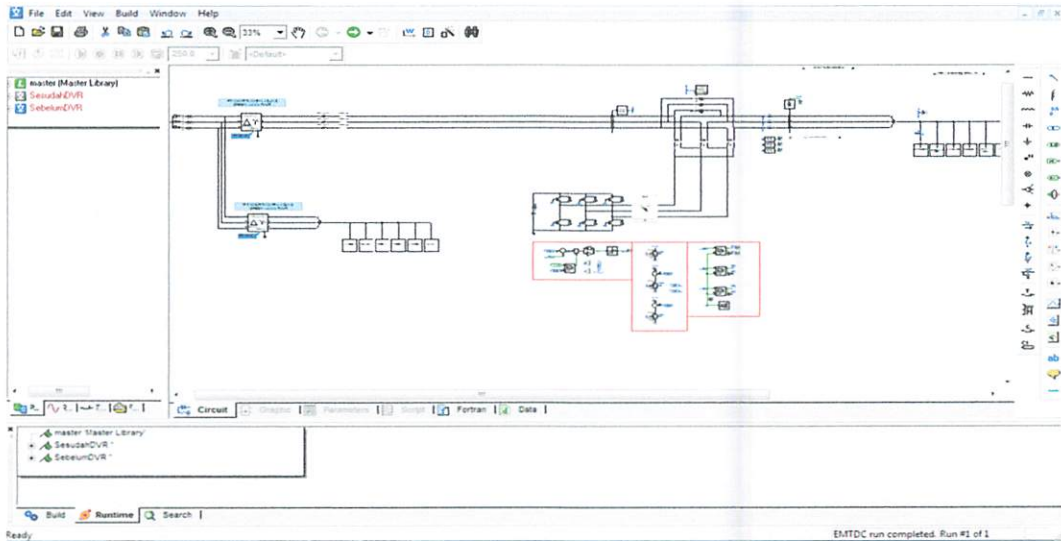


Gambar 4.4 Rangkaian PWM untuk pengendali *DVR*



Gambar 4.5 Rangkaian sinyal komparator untuk pengendali *DVR*

Sistem yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan di atas diaplikasikan kedalam *Software PSCAD Power Simulation*. Berikut ini adalah gambar system keseluruhan saat simulasi menggunakan *DVR*.



Gambar 4.6 *DVR* dalam keseluruhan sistem

#### 4.4 Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat *Voltage Sag* Menggunakan *DVR*

Hasil dan analisa meliputi system sebelum diberikan kompensasi *DVR* dan keadaan system setelah diberikan kompensasi *DVR*.

##### 4.4.1 Analisa dan Simulasi Sebelum Kompensasi *DVR*

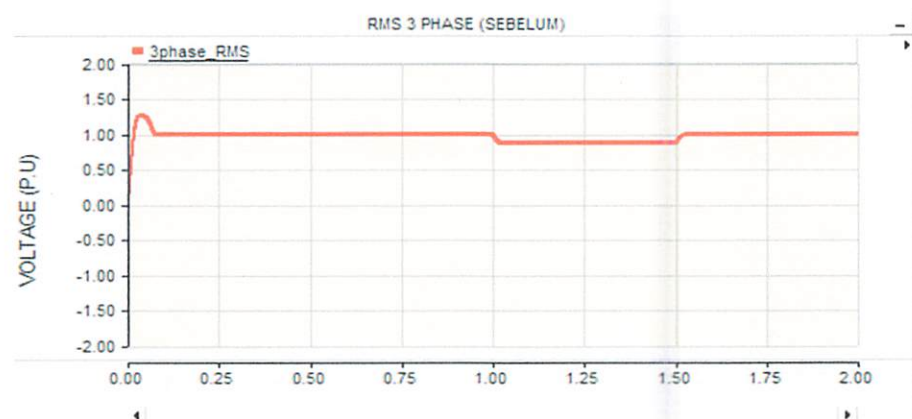
Pada simulasi awal, *DVR* tidak melakukan kompensasi sama sekali. Dan *DVR* belum bekerja serta tidak memberikan tegangan injeksi ke beban yang mengalami gangguan, maka dengan ini akan dapat diketahui/dilihat perbedaan kondisi system saat sebelum dan saat sesudah menggunakan *DVR* dalam hal mereduksi *voltage sag*.

##### 4.4.2 Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi *DVR*

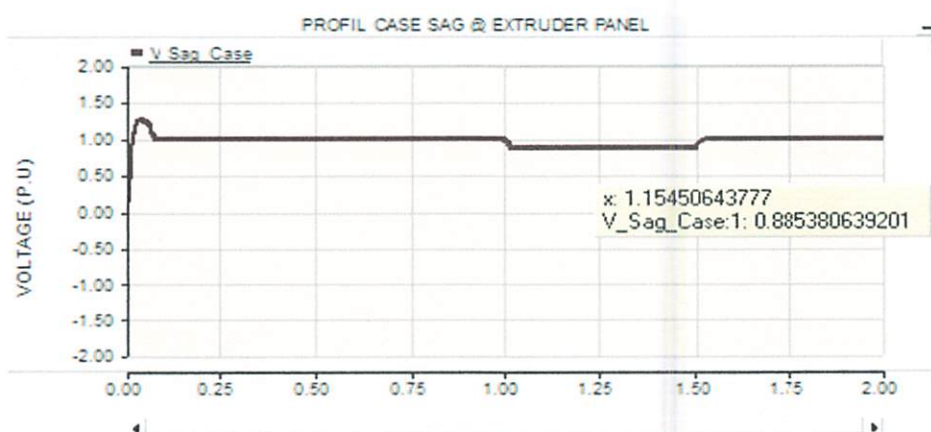
Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan rms, gelombang tegangan 3 fasa, dan gelombang tegangan sag case dalam satuan (pu) pada saat terjadi *voltage sag* dan saat belum dikompensasi oleh *DVR*.



Grafik 4.1 Bentuk gelombang tegangan rms saat terjadi *Voltage Sag* sebelum dikompensasi *DVR*



Grafik 4.2 Bentuk gelombang tegangan 3 fasa saat terjadi *Voltage Sag* sebelum dikompensasi *DVR*

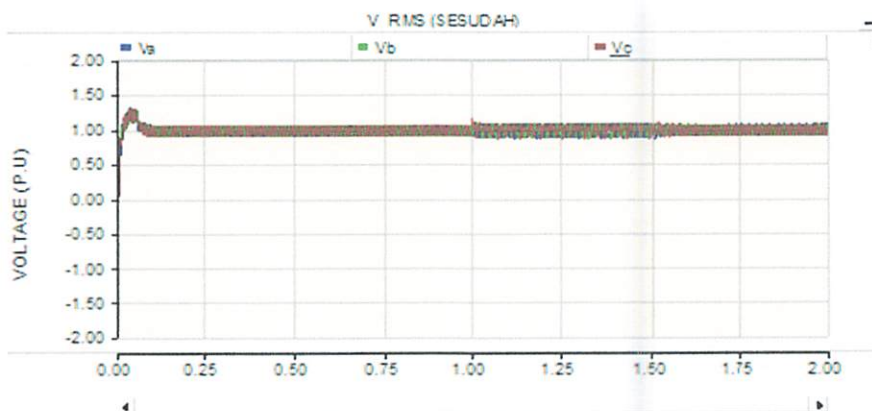


Grafik 4.3 Bentuk gelombang tegangan pada panel Extruder saat terjadi *Voltage Sag* sebelum dikompensasi *DVR*

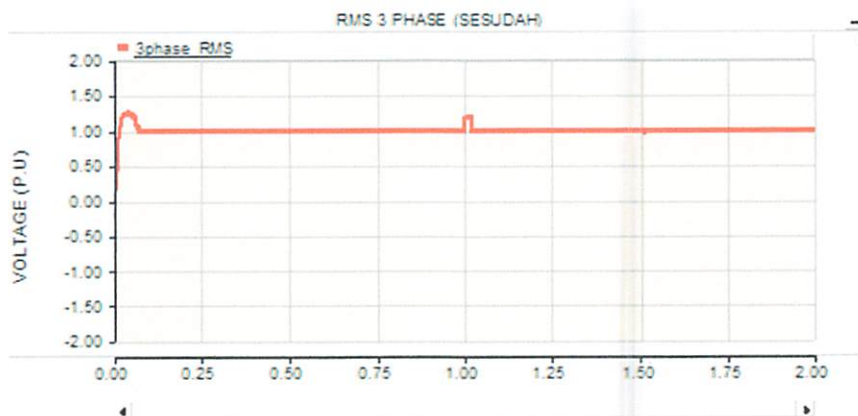
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa saat  $t = 0s - 1s$  tegangan masih dalam kondisi normal, yaitu 1 pu. Setelah  $t = 1s - 1.5s$  tegangan turun menjadi 0.885380 pu atau 336.4444 V yang biasa disebut *voltage sag*, dengan prosentase turunnya tegangan sebesar 11.8581%. Salah satu penyebab dari terjadinya *Voltage sag* ini diakibatkan oleh starting motor induksi yang berkapasitas besar pada PT. Wiharta Karya Agung Gresik yang terletak di panel Extruder. Karena pada panel Extruder ini terdapat beban motor berkapasitas besar yang di asumsikan starting secara bersamaan dengan total daya mencapai 1.452,34 KW.

#### 4.4.3 Hasil Simulasi Sesudah Kompensasi DVR

Berikut ini adalah grafik dari simulasi yang menampilkan bentuk gelombang tegangan rms, gelombang tegangan 3 fasa, dan gelombang tegangan sag case dalam satuan (pu) sesudah dikompensasi oleh DVR.

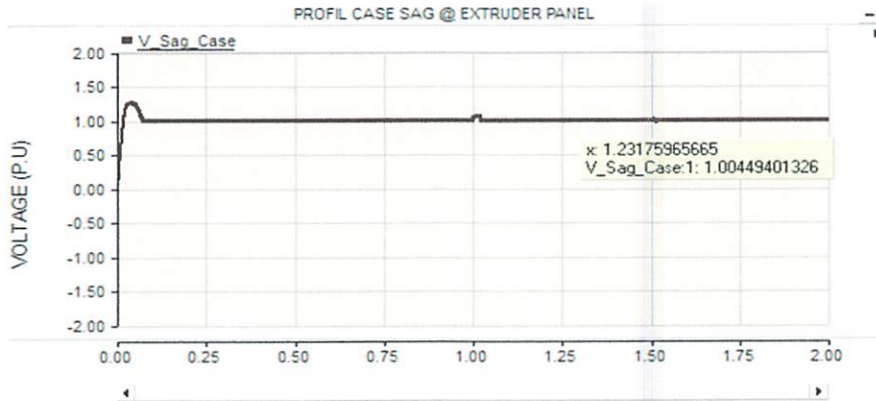


Grafik 4.4 Bentuk gelombang tegangan rms sesudah dikompensasi DVR



Grafik 4.5 Bentuk gelombang tegangan 3 fasa sesudah dikompensasi DVR





Grafik 4.5 Bentuk gelombang tegangan pada panel Extruder sesudah dikompensasi *DVR*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa *DVR* mampu mengkompensasi *voltage sag* pada panel Extruder yang terjadi pada  $t = 1.0s - 1.5s$  yang semula tegangan turun 0.885380 pu atau 336.4444 V menjadi 1.004494 pu atau 381.7077 V. Meskipun pada  $t = 1.0s - 1.5s$  masih ada tegangan kejutan, tapi itu masih dalam standart IEEE 1159-1995 tentang *voltage sag*.

#### 4.4.4 Tabel Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi *DVR*

*Voltage sag* yang terjadi pada panel Extruder atau sag case diakibatkan oleh starting beban motor berkapasitas besar pada panel tersebut yang di asumsikan starting secara bersamaan dengan total daya mencapai 1.452,34 KW. Berikut ini adalah tabel keluaran tegangan pada panel Extruder sebelum kompensasi *DVR*.

Tabel 4.1 Hasil nilai keluaran saat terjadi *voltage sag* sebelum kompensasi *DVR* pada panel Extruder

No	Nama Beban Motor	Tegangan (pu)
1	Tirex I	0.885380
2	Tirex II	0.884370
3	Tirex III	0.885164
4	Tirex IV	0.886011
5	Tirex LT	0.885673
6	Starex	0.885870

7	Hengli	0.885465
8	Danline	0.885501
9	Chiller Tirex IV	0.885380
10	Chiller Starex	0.886004
11	Chiller LT	0.885764
12	Compressor	0.885663
13	Air Dryer	0.885652
14	Needle Loom	0.885704
15	Braided Rope	0.886102
16	Green NDL Loom	0.885429
17	Oven	0.885296

#### 4.4.5 Tabel Hasil Simulasi Sesudah Kompensasi DVR

Berikut ini adalah tabel keluaran tegangan pada panel Extruder sesudah dikompensasi DVR.

Tabel 4.2 Hasil nilai keluaran saat terjadi *voltage sag* sesudah kompensasi DVR pada panel Extruder

No	Nama Beban Motor	Tegangan (pu)
1	Tirex I	1.004494
2	Tirex II	1.004308
3	Tirex III	1.004436
4	Tirex IV	1.005187
5	Tirex LT	1.004781
6	Starex	1.004914
7	Hengli	1.004472
8	Danline	1.004574
9	Chiller Tirex IV	1.004494
10	Chiller Starex	1.005273
11	Chiller LT	1.004063
12	Compressor	1.004789
13	Air Dryer	1.004684
14	Needle Loom	1.004991
15	Braided Rope	1.005737
16	Green NDL Loom	1.004291
17	Oven	1.004115

#### 4.4.6 Tabel Hasil Simulasi Perbandingan Dengan dan Tanpa Kompensasi DVR

Untuk mengetahui kerja DVR dalam melindungi beban kritis dari gangguan *voltage sag*, yang dilakukan adalah mencari perbedaan/perbandingan nilai tegangan tiap node dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi DVR.

Tabel 4.3 Hasil perbandingan nilai tegangan saat terjadi *voltage sag* dengan dan tanpa kompensasi DVR

No	NamaBeban Motor	Tegangan (pu)	
		Tanpa DVR	Dengan DVR
1	Tirex I	0.885380	1.004494
2	Tirex II	0.884370	1.004308
3	Tirex III	0.885164	1.004436
4	Tirex IV	0.886011	1.005187
5	Tirex LT	0.885673	1.004781
6	Starex	0.885870	1.004914
7	Hengli	0.885465	1.004472
8	Danline	0.885501	1.004574
9	Chiller Tirex IV	0.885218	1.004494
10	Chiller Starex	0.886004	1.005273
11	Chiller LT	0.885764	1.004063
12	Compressor	0.885663	1.004789
13	Air Dryer	0.885652	1.004684
14	Needle Loom	0.885704	1.004991
15	Braided Rope	0.886102	1.005737
16	Green NDL Loom	0.885429	1.004291
17	Oven	0.885296	1.004115

#### 4.5 Perhitungan Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Saat Sebelum dan Sesudah Kompensasi

Dapat dilihat dari tabel 4.3 bahwa peralatan DVR mampu mengkompensasi tegangan yang diakibatkan oleh gangguan yang diakibatkan oleh starting motor, dan peralatan DVR mampu memperbaiki tegangan pada kisaran nilai yang diijinkan yaitu 0.95 – 1.05 pu. Berikut ini adalah perhitungan optimasi perbaikan

nilai tegangan saat sebelum dan sesudah kompensasi. Nilai referensi diambil contoh pada beban motor Tirez I.

Dimana,

$$V_{\text{tanpa DVR}} = 0.885380 \text{ pu}$$

$$V_{\text{dengan DVR}} = 1.004494 \text{ pu}$$

Besar optimasi kualitas tegangan adalah :

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{dengan DVR}} - V_{\text{tanpa DVR}} \\ &= 1.004494 \text{ pu} - 0.885380 \text{ pu} \\ &= 0.119114 \text{ pu} \end{aligned}$$

Mengingat  $V_{\text{ref}} = 380 \text{ V}$

Maka,

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= 0.119114 \times 380 \text{ V} \\ &= 45.2633 \text{ V} \end{aligned}$$

Prosentase besar  $V_{\text{optimasi}}$  yang diperoleh :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{dengan DVR}} - V_{\text{tanpa DVR}}}{V_{\text{dengan DVR}}} \right| \times 100 \% \\ &= \left| \frac{1.004494 - 0.885380}{1.004494} \right| \times 100 \% \\ &= 0.118581 \times 100 \% \\ &= 11.8581 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Prosentase tegangan optimasi pada panel Extruder

No	NamaBeban Motor	V optimasi (V)	V optimasi (%)
1	Tirex I	45.2633	11.8581
2	Tirex II	45.5744	11.9423
3	Tirex III	45.3233	11.8745
4	Tirex IV	45.2868	11.8561
5	Tirex LT	45.2610	11.6550
6	Starex	45.2367	11.8461
7	Hengli	45.2226	11.8477
8	Danline	45.2477	11.6539
9	Chiller Tirex IV	45.3248	11.6751
10	Chiller Starex	45.3222	11.8643
11	Chiller LT	44.9536	11.7820
12	Compressor	45.2678	11.8558
13	Air Dryer	45.2321	11.8477
14	Needle Loom	45.3290	11.8694
15	Braided Rope	45.4613	11.8952
16	Green NDL Loom	45.1675	11.8354
17	Oven	45.1512	11.8332

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa terhadap pengaruh pemasangan *Dinamic Voltage Restorer (DVR)* pada sistem kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik pada saat terjadi penurunan tegangan akibat *voltage sag* dengan menggunakan bantuan software *PSCAD/EMTDC Power Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Saat  $t = 0s - 1s$  tegangan masih dalam kondisi normal, yaitu 1 pu. Setelah  $t = 1s - 1.5s$  tegangan turun atau bisa disebut *voltage sag* menjadi 0.885380 pu atau 336.4444 V. Setelah pemasangan *DVR* tegangan naik menjadi 1.004494 pu atau 381.7077 V.
2. Presentase  $V_{\text{optimasi}}$  yang diperoleh adalah sebesar 11.8581 %.
3. Pemasangan *DVR* dapat memperbaiki *voltage sag* yang terjadi pada sistem serta mampu mengembalikan tegangan pada kisaran yang diijinkan yaitu 0.95 pu – 1.05 pu.
4. Dengan dipasangnya *DVR* dapat meningkatkan performansi sistem kelistrikan PT. Wiharta Karya Agung Gresik.

#### 5.2 Saran

Tegangan kedip atau *voltage sag* yang terjadi akibat starting beban berkapasitas besar seperti motor induksi perlu diatasi secepat mungkin. Karena dapat mengakibatkan kerusakan pada alat yang peka terhadap tegangan kedip atau *voltage sag* dan juga akan mengganggu proses produksi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Krismanto, A.I. & Nakhoda, Y.I. 2011. Modul Pelatihan PSCAD/EMTDC. Malang: Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik ITN Malang
- [2] Cahyanto,R.D.2008.Studi Kualitas Tegangan Dan Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Pupur Dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo Pengubah Tap, Dan Penggantian Kabel Penyulang. Universitas Indonesia:Depok
- [3] Basri, Hasan ,” Sistem Distribusi Daya Listrik”, (Jakarta: ISTN, 1997)
- [4] Nakhoda, Y.I. & Hasan, F.R.. 2008, “Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan Kompensasi Dynamic Voltage Restorer (DVR) dan Distribution Static Compensator (D-STATCOM) Dengan Software PSCAD/EMTDC Power Simulation” Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Elektro
- [5] Norshafinash Binti Saudin. “Voltage Sag Mitigation Techniques Analysis”. Malaysia : Universiti Teknologi Malaysia, 2007.
- [6] Hayusman, L.M “Analisa Mitigasi Voltage Sag Menggunakan Dinamic Voltage Restorer” Jurnal Ilmu-ilmu Teknik - Sistem, Vol. 6 No. 3.
- [7] Olimpo Anaya Lara and Acha, E.2002, “Modeling and Analysis of Custom Power Systems” by PSCAD/EMTDC, IEEE. Trans. on Power Delivery.17 (1): 265-272.
- [8] Mangindaan G.M.C, Ashari M, Purnomo MH. 2008. “Kendali Dynamic Voltage Restorer Menggunakan Jaring Saraf Tiruan Counterpropagation” Yogyakarta : Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008.

*LAMPIRAN*





PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Mazid Amnan  
Nim : 08.12.020  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2012-2013  
Judul : ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) UNTUK MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Program Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Selasa  
Tanggal : 19 Februari 2013  
Dengan Nilai : 81 (A) 

**PANITIA UJIAN SKRIPSI**

**Ketua Majelis Penguji**

M. Ibrahim Ashari, ST, MT  
NIP.Y.1030100358

**Sekretaris Majelis Penguji**

Dr. Eng. Arvianto Soetedjo, ST.MT  
NIP.P.1030800417

**ANGGOTA PENGUJI**

**Penguji I**

Awan Uji Krismanto, ST, MT  
NIP.P. 1980030120050110002

**Penguji II**

Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP. Y.1018800188



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

## FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

Nama : Mazid Amnan  
Nim : 08.12.020  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2012-2013  
Judul : ANALISA PEMASANGAN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) UNTUK MEMPERBAIKI VOLTAGE SAG PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. WIHARTA KARYA AGUNG GRESIK MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC


No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Penguji I	19 Februari 2013	<ul style="list-style-type: none"><li>Validasi data</li><li>Akibat voltage sag terhadap performa motor</li></ul>	

Disetujui :

Penguji I

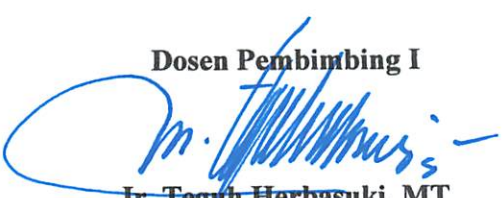
  
Awan Uji Krismanto, ST, MT  
NIP.P 1980030120050110002

Penguji II


  
Ir. M. Abdul Hamid, MT  
NIP. Y.1018800188

Mengetahui :

Dosen Pembimbing I

  
Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP. Y.1038900209

Dosen Pembimbing II

  
Ir. Choirul Saleh, MT  
NIP. Y.1018800190