

# SKRIPSI

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN  
RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI PT  
INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**



Disusun oleh :  
**AGUSTINUS SATU**  
NIM 03.12.075



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**MARET 2009**

SECRET

MEMORANDUM FOR THE SECRETARY OF DEFENSE  
SUBJECT: [Illegible]

1. [Illegible]  
2. [Illegible]  
3. [Illegible]

THE SECRETARY OF DEFENSE  
ATTENTION: [Illegible]  
WASHINGTON, D.C. 20301

SECRET

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**SKRIPSI**

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI  
TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM  
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION  
DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

**Disusun Oleh :  
AGUSTINUS SATU  
NIM : 03.12.075**

**MARET 2009**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH  
DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN  
SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA  
UNIT LAWANG**

**SKRIPSI**

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan  
Memenuhi Syarat-Syarat Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

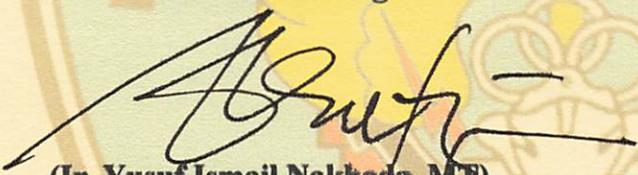
**Disusun Oleh :  
AGUSTINUS SATU**

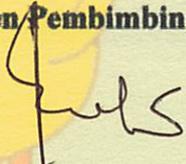
**03.12.075**

**Diperiksa dan disetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

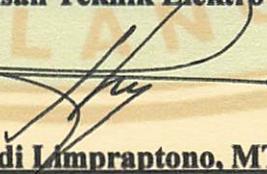
**Dosen Pembimbing II**

  
**(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, M.P)**  
**NIP. Y 101 880 0189**

  
**(Ir. Eko Nurcahyo )**  
**NIP. Y 102 8700 172**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**



  
**(Ir. E. Yudi Limpraptono, MT)**  
**NIP.Y. 103 950 0274**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
MARET 2009**



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : AGUSTINUS SATU  
NIM : 03.12.075  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI  
TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN  
STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE  
PSCAD SIMULATION DI PT INDUSTRI SANDANG  
NUSANTARA UNIT LAWANG

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

Hari : Sabtu  
Tanggal : 21 maret 2009  
Dengan Nilai : 80.00 (A) *fy*



Ketua

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

**Ir. Sidik Noertjahjono, MT**  
NIP.Y. 1028700163

**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT**  
NIP.Y. 1039500274

Penguji Pertama

Anggota Penguji

Penguji Kedua

**Bambang Prio Hartono ST, MT**  
NIP.Y. 1028400082

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

# **ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD SIMULATION DI PT. INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

**AGUSTINUS SATU**

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang  
E-mail : [agus.tino58@yahoo.com](mailto:agus.tino58@yahoo.com)

## **ABSTRAK**

*Kebutuhan jaringan distribusi, beban industri sensitif dan operasi komersil kritis semua mengalami gangguan dan mengatasi gangguan yang diklsifikasikan dalam masalah yang berkaitan dengan voltage dip. Static Compensator (STATCOM) adalah salah satu dari solusi penghematan biaya untuk permasalahan voltage dip sejenisnya.*

*Sasaran yang utama dari penelitian ini adalah penerapan STATCOM untuk analisa terjadi voltage dip pada sistem distribusi tegangan rendah, dengan menggunakan software PSCAD yang merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi.*

*Dari hasil simulasi pada PT Industri Sandang Nusantara Unit Lawang dengan kompensasi STATCOM, diambil nilai referensi dari bus 5 yang terjauh dari sumber. Perbandingan nilai tegangan sebelum dan setelah kompensasi saat gangguan voltage Dip adalah 0.062 pu atau 23.56 volt dari 0.9116 (pu) atau 346.408 volt, menjadi 0.9736 (pu) atau 369.968 volt*

*Kata kunci : Sistem Distribusi, PSCAD, Statcom, Voltage Dip*

## **ABSTRACT**

*Utility distribution networks, sensitive loads and critical commercial operations all suffer from various types of outages and service interruptions classified as voltage dip related problems. The installation of Static Compensator (STATCOM) is one of the most cost-effective solutions for these types of voltage dip problems*

*The main objective of this research is to develop STATCOM for anayis voltage dip enhancementon the system distribute low voltage. The PSCAD simulation is used for modeling and simulation*

*From Simulation result in PT Industri Sandang Nusantara Unit Lawang with compensation STATCOM, based from buse 5 as reference value in the farest node from source. The voltage comparation value before and after compensation during voltage sag is from 0.062 pu or 23.56 volt when 0.9116 pu or 346.408 volt becomes 0.9736 (pu) or 369.968 volt*

*Key word :, Distribution System. PSCAD, Statcom, Voltage Dip*

## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-NYA, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mungkin masih jauh dari kesempurnaan, sehingga sangat diharapkan adanya saran dan masukan yang bersifat membangun dari semua pihak untuk membantu penyelesaian penyusunan skripsi ini, penulis tak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang
2. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT, selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak Ir. Eko Nurcahyo, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Orang Tua tersayang yang memberi dukungan moril dan materiil
6. Teman-teman semuanya yang memberi bantuannya
7. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini

Akhirnya penulis berharap penulisan laporan skripsi ini dapat bermanfaat semua pihak, khususnya pada jurusan teknik elektro konsentrasi teknik energi listrik.

Malang, Maret 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAKSI.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi .....	3
1.6. Sistematika .....	4
<b>BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK .....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2. Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	5
2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	6
2.3.1. Struktur Jaringan Primer.....	7
2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder.....	7
2.3.2.1. Struktur Jaringan Radial.....	7

2.3.2.2.	Struktur Jaringan Loop (Lingkaran) .....	8
2.3.2.3.	Struktur Jaringan Grid atau Mesh (Anyaman) .....	9
2.4.	Kualitas Daya Elektrik .....	10
2.4.1.	Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	10
2.4.2.	Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	12
2.4.3.	<i>Voltage Dip</i> dan <i>Voltage Swell</i> .....	14
2.4.3.1.	Penyebab <i>Voltage Dip</i> .....	15
2.4.3.2.	Penyebab <i>Voltage Swell</i> .....	17
2.4.3.3.	Perhitungan Nilai <i>Voltage Dip</i> dan <i>Voltage Swell</i> Sistem ...	18
2.5	Peralatan Elektronika Daya .....	19
2.5.1.	<i>Transistor Bipolar</i> .....	19
2.5.2.	<i>Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)</i> .....	19
2.5.3.	<i>Insulate Gate Bipolar Transistor (IGBT)</i> .....	20
2.5.4.	Perbandingan Umum Antara Kinerja MOSFET dan IGBT .....	20
2.6.	Peralatan Kompensasi Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	24
2.6.1.	<i>Static VAR Compensator (SVC)</i> .....	24
2.6.2.	<i>NGH – Sub Synchronous Resonance (SSR)</i> .....	25
2.6.3.	<i>Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)</i> .....	26
2.6.4.	<i>Static Condenser (STATCON)</i> .....	27
2.6.5.	<i>Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)</i> .....	28
2.6.6.	<i>Dynamic Voltage Restorer (DVR)</i> .....	29
2.6.7.	<i>Static Compensator (STATCOM)</i> .....	30

### **BAB III PERBAIKAN VOLTAGE DIP MENGGUNAKAN**

<b>STATCOM</b> .....	32
3.1. <i>Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation</i> .....	32
3.2. <i>Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	33
3.3. <b>Sistem Pengendalian PWM Sinusoidal</b> .....	35
3.3.1. <b>PWM Sinusoida</b> .....	35
3.3.2. <b>Aksi Konntrol PWM Sinusoida Terhadap STATCOM</b> .....	36
3.4. <b>Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)</b> .....	37
3.4.1. <b>Umum</b> .....	37
3.4.2. <b>Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses</b> .....	39
3.4.3. <b>Prinsip Kerja Pengendali</b> .....	40
3.4.4. <b>Pengendali Proporsional (<i>Proporsional Controller</i>)</b> .....	41
3.4.5. <b>Pengendali Integral (<i>Integrator Controller</i>)</b> .....	43
3.4.6. <b>Pengendali Proporsional Integral (<i>PI Controller</i>)</b> .....	45
3.5. <b>Kompensasi STATCOM Pada Sistem Distribusi 20 kV</b> .....	46
3.5.1. <b>Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi</b>	
<b>STATCOM</b> .....	46
3.5.2. <b>Sistem Distribusi Dengan Kompensasi</b>	
<b>STATCOM</b> .....	47
3.6. <b>Flowchart</b> .....	48
3.6.1. <b>Flowchart Desain dan Simulasi Sistem Dengan <i>Static Compensator</i> (STATCOM)</b> .....	48
3.6.2. <b>Flowchart single line PT industri Sandang Nusantara</b> .....	49

3.6.3. <i>Flowchart</i> Desain <i>Static Compensator</i> (STATCOM).....	50
3.6.4. <i>Flowchart</i> Desain Kontrol <i>Static Compensator</i> (STATCOM).....	51
3.7. Input Data Dalam <i>PSCAD/EMTDC Power Simulation</i> .....	52
3.7.1. Input Data Transformator dan <i>Fixed Load</i> .....	52
3.7.2. Input Data Pengendali PI dan PWM Pada STATCOM.....	53
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL</b> .....	54
4.1. <i>Single Line</i> Sistem Distribusi PT Industri Sandang Nusantara .....	54
4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan.....	55
4.2.1. Data Pembebanan Sistem Tenaga Listrik PT Industri Sandang Nusantara.....	55
4.3. Solusi Perbaikan Kualitas Tegangan Dengan <i>Software PSCAD/EMTDC</i> <i>V 4.2 Power Simulation</i> .....	55
4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Voltage Dip Dengan STATCOM .....	56
4.4.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi STATCOM .....	56
4.4.1.1. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan .....	56
4.4.1.2. Sistem Setelah Mengalami Gangguan .....	57
4.4.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi STATCOM.....	59
4.4.3. Perbandingan hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi dan Setelah Kompensasi.....	61
4.4.3.1. PerbandinganTegangan Daya Aktif dan Daya Reaktif Beban Dengan dan Tanpa STATCOM .....	61

<b>BAB IV PENUTUP .....</b>	<b>64</b>
5.1. Kesimpulan .....	64
5.2. Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.2	Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan .....	7
Gambar 2.3	Bentuk Sederhana Dari Sistem Distribusi Radial .....	8
Gambar 2.4	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasang dari satu sumber .....	9
Gambar 2.5	Jaringan Tegangan Menengah Struktur Mesh .....	9
Gambar 2.6	Segitiga Daya .....	14
Gambar 2.7	Ilustrasi <i>Voltage Dip</i> dan <i>Voltage Swell</i> .....	15
Gambar 2.8	Ilustrasi <i>Voltage Dip</i> .....	15
Gambar 2.9	Gambaran Terjadinya <i>Voltage Dip</i> .....	16
Gambar 2.10	Ilustrasi <i>Voltage Swell</i> .....	17
Gambar 2.11	Model Pembagi Tegangan Untuk <i>Voltage Dip</i> dan <i>Voltage Swell</i> .....	18
Gambar 2.12	Tegangan Drop Kondisi Menyambung Untuk Sebuah MOSFET dan IGBT .....	24
Gambar 2.13	<i>Static VAR Compensator</i> .....	25
Gambar 2.14	NGH – <i>Sub Synchronous Resoance</i> .....	26
Gambar 2.15	<i>Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)</i> .....	27
Gambar 2.16	<i>Static Condenser (STATCON)</i> .....	28
Gambar 2.17	<i>Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)</i> .....	29

Gambar 2.18	Diagram Blok Fungsional Untuk DVR .....	30
Gambar 2.19	Diagram Blok Fungsional Untuk STATCOM .....	30
Gambar 3.1	Tampilan Utama <i>Software PSCAD/EMTDC PowerSimulation</i> ....	33
Gambar 3.2	Tampilan <i>Master Library</i> .....	34
Gambar 3.3	Tampilan Modul Utama.....	34
Gambar 3.4	Tampilan <i>Single Line</i> Sistem Distribusi PT Industri Sandang Nusantara .....	35
Gambar 3.5	Kontroler Dan Diagram Kotaknya .....	41
Gambar 3.6	Diagram Blok Kontroler Proporsional .....	42
Gambar 3.7	Response Sebuah Pengendali Proporsional .....	43
Gambar 3.8	Blok Diagram Kontroler Integral .....	45
Gambar 3.9	Blok Diagram Kontroler PI .....	45
Gambar 3.10	Hubungan Input-Output Pengendali PI Dalam Fungsi Waktu .....	46
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> Perbaikan Kualitas Tegangan Dengan STATCOM .....	48
Gambar 3.12	<i>Flowchart</i> Pembuatan <i>Single Line Diagram</i> PT Industri Sandang Nusantara .....	49
Gambar 3.13	<i>Flowchart</i> Pembuatan Rangkaian STATCOM .....	50
Gambar 3.14	<i>Flowchart</i> Pembuatan Rangkaian Kontrol PWM Untuk STATCOM.....	51
Gambar 3.15	Tampilan Input Data Transformator.....	52
Gambar 3.16	Tampilan Input Data <i>Fixed Load</i> .....	52
Gambar 3.17	Rangkaian Pengendali PI Untuk Mengendalikan STATCOM .....	53

<b>Gambar 3.18 Rangkaian sinyal komparator untuk mengendalikan</b>	
<b>STATCOM.....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar 3.19 Rangkaian komparator untuk mengendalikan STATCOM .....</b>	<b>53</b>
<b>Gambar 4.1 <i>Single Line</i> Penyulang Tingkat 1 .....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Pembebanan Sistem Tenaga Listrik PT Industri Sandang Nusantara .....	55
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Saat Terjadi <i>Voltage Dip</i> Tanpa Kompensasi STATCOM .....	58
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Saat Terjadi <i>Voltage Dip</i> Setelah Kompensasi STATCOM .....	61
Tabel 4.4	Perbandingan Tegangan, Daya Aktif Dan Daya Reaktif Saat Gangguan <i>Voltage Dip</i> Sebelum Dan Sesudah Kompensasi STATCOM .....	62

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Bentuk Gelombang Tegangan.....	56
Grafik 4.2	Bentuk Gelombang Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Dip</i> Tanpa Kompensasi STATCOM.....	57
Grafik 4.3	Bentuk Gelombang Daya Aktif Saat Terjadi <i>Voltage Dip</i> Tanpa Kompensasi STATCOM.....	57
Grafik 4.4	Bentuk Gelombang Daya Reaktif Saat Terjadi <i>Voltage Dip</i> Tanpa Kompensasi STATCOM.....	58
Grafik 4.5	Bentuk Gelombang Tegangan Setelah Kompensasi STATCOM.....	59
Grafik 4.6	Bentuk Gelombang Daya Aktif Setelah Kompensasi STATCOM.....	60
Grafik 4.7	Bentuk Gelombang Daya Reaktif Setelah Kompensasi STATCOM.....	60

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi semi konduktor, umumnya pada peralatan atau mesin produksi telah membawa suatu era industri pada tingkat efisiensi dan standart kualitas produk yang makin tinggi

Dalam kaitan dengan perkembangan yang pesat di industri elektronika daya, sebagian besar semikonduktor dengan kapasitas daya yang tinggi tersedia untuk aplikasi sistem tenaga. FACTS menggunakan komponen elektronika daya dan metode kendali untuk mengendalikan sisi tegangan tinggi pada jaringan sistem tenaga [1]. Pengguna daya fokus pada distribusi tegangan rendah, dan adalah suatu teknologi yang lebih hemat biaya ketika daya dipakai oleh konsumen yang besar, seperti industri dan bangunan komersil yang melibatkan otomasi produksi [2]. Masalah kualitas daya seperti harmonik, ketidakseimbangan sistem, *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage flicker* telah diteliti tersendiri dan secara bebas menggunakan komponen daya biasanya.

Dalam hal ini, suatu alat kompensator untuk perbaikan tegangan dapat menjadi solusi perbaikan kualitas daya. Alat tersebut berupa STATCOM [6]. Pengontrol *proporsional integral* (PI) dalam mengendalikan pulsa penyaklaran VSC untuk memberikan stabilisasi tegangan, *flicker*, *sag/swell*, koreksi faktor daya, dan juga pemeliharaan masalah kualitas daya yang lain. Keandalan yang ditawarkan STATCOM didukung oleh hasil simulasi PSCAD/EMTDC.

## 1.2. Rumusan Masalah

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar dalam selang waktu kira-kira dua puluh tahun terakhir pada saat ini telah menimbulkan masalah yang tidak terkirakan sebelumnya. Besarnya kenaikan penggunaan beban-beban elektronik yang canggih seperti komputer, *Programmable Logic Controllers (PLC)*, *Variable Speed Drives (VSD)*, dan lain sebagainya. Dampaknya berupa penurunan tegangan sesaat (*Voltage dip*) Hal ini menjadi salah satu masalah serius dalam kualitas daya. Bagaimana solusi untuk meminimalisasikan *voltage dip*?

Dari permasalahan di atas maka skripsi ini berjudul:

**“ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN  
RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM  
DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PSCAD SIMULATION  
DI PT. INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG ”**

## 1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka skripsi ini bertujuan untuk memperbaiki *voltage dip* sistem tenaga listrik untuk meningkatkan kualitas sistem kelistrikan dengan menggunakan STATCOM

#### **1.4. Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Pehitungan dan simulasi dilakukan dengan *software* PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation
2. Studi dilakukan pada PT. Industri Sandang Nusantara Unit Lawang.
3. Mekanisme kerja STATCOM dalam mengatasi permasalahan *voltage dip*
4. Tidak membahas harmonisa yang ditimbulkan pada sistem
5. Tidak membahas Keadaan ekonomi

#### **1.5. Metodologi Pemecahan Masalah**

Metode yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah:

1. Studi literatur berupa pengumpulan dan pembahasan referensi yang berkaitan dengan pokok pembahasan masalah ini, sehingga membantu dalam memahami dasar-dasar dari peralatan yang digunakan dalam sistem dan membantu dalam memahami prinsip dan karakteristik setiap parameter elektronika daya yang digunakan.
2. Pengumpulan data lapangan sebagai objek penelitian
3. Melakukan analisis berdasarkan hasil simulasi program PSCAD/EMTDC V.2.0 *Power Simulation*.
  - a. Analisis aliran daya aktif dan reaktif
  - b. Analisis profil tegangan sistem
4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem yang menggunakan alat kompensasi STATCOM dan dengan tanpa menggunakan STATCOM.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan dibagi dalam beberapa bab dan sub bab, adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisi penguraian tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian dan Sistematika Penulisan

### **BAB II : SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

Membahas sistem distribusi tenaga listrik secara umum dan pengaruh pemasangan alat kompensasi untuk memperbaiki kualitas tegangan

### **BAB III : PERBAIKAN VOLTAGE DIP DENGAN STATCOM**

Berisi penguraian tentang perbandingan voltage Dip sistem yang menggunakan alat kompensasi STATCOM dan tanpa menggunakan kompensasi STATCOM.

### **BAB IV : HASIL DAN ANALISA HASIL**

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi

### **BAB V : PENUTUP**

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi.

## **BAB II**

### **SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

#### **2.1. Sistem Tenaga Listrik**

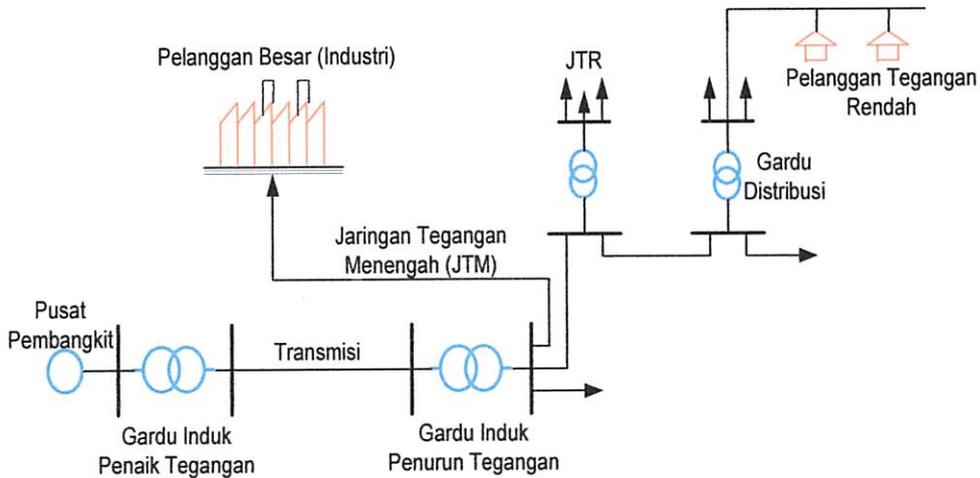
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian sub sistem yaitu :

1. Sistem pembangkitan : berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai prodaktor energi.
2. Sistem transmisi atau penyalur : berfungsi sebagai penyalur daya listrik dalam skala besar dari pembangkit ke bagian sistem distribusi.
3. Sistem distribusi dan beban : berfungsi sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

#### **2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau pembangkit tenaga ke konsumen melalui gardu distribusi.



Gambar 2.1  
Skema Penyaluran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam pendistribusian tenaga listrik ke konsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung pada jenis konsumen yang membutuhkan. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer
2. Sistem distribusi sekunder

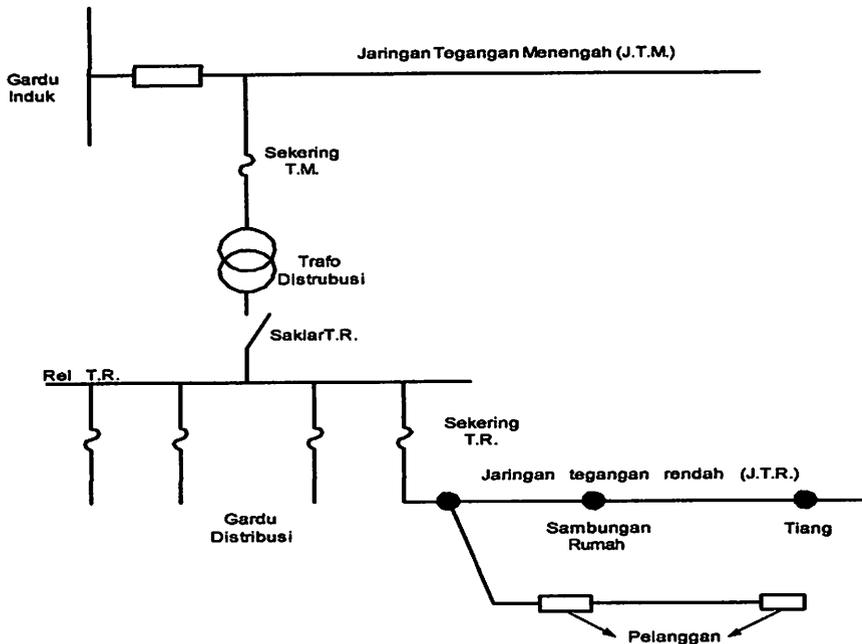
Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

### 2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

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.

### 2.3.1. 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.



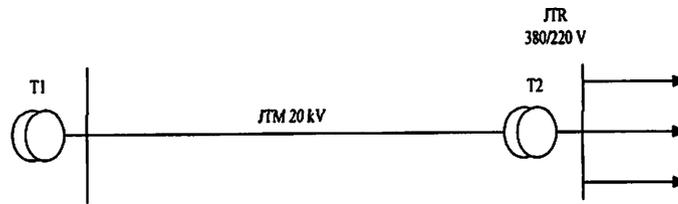
Gambar 2.2  
Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan

### 2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder

Secara garis besar jaringan distribusi primer diklasifikasikan menjadi :

#### 2.3.2.1. Struktur Jaringan Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat – pusat beban / konsumen yang dilayaninya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*).

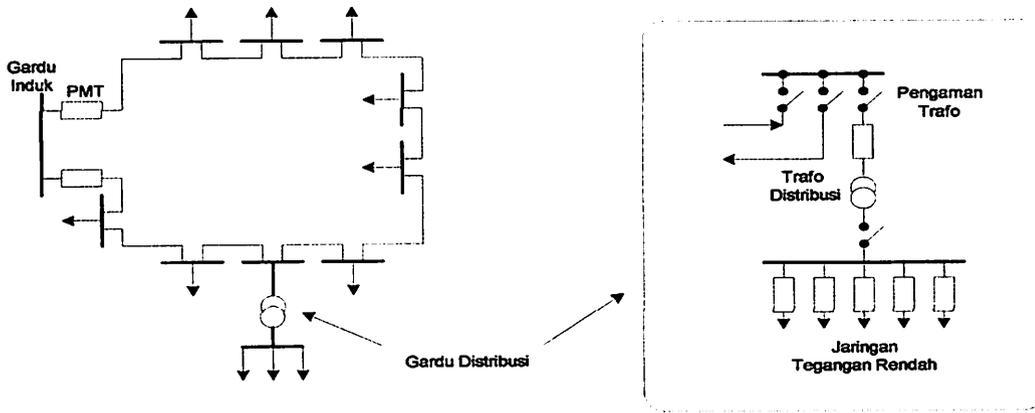


Gambar 2.3  
Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial

Pelayanan untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator di sembarang titik pada jaringan sedekat mungkin dengan beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

#### 2.3.2.2. Struktur Jaringan *Loop* (Lingkaran)

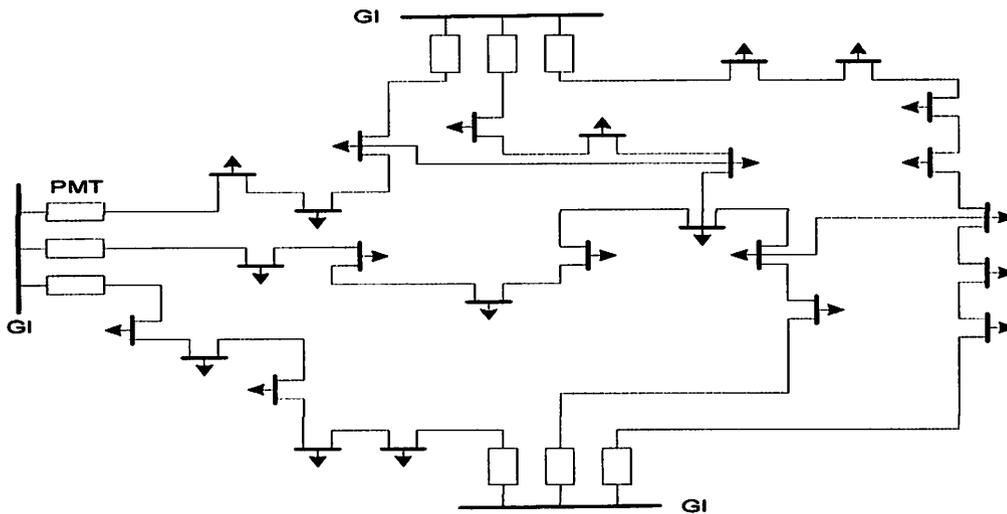
Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (CB) atau pemisah (DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Struktur jaringan *loop* mempunyai keandalan yang baik, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan stuktur jaringan radial.



Gambar 2.4  
 Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Loop*  
 yang dipasok dari satu sumber

### 2.3.2.3. Struktur jaringan Grid atau *Mesh* (Anyaman)

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan *loop*. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain.



Gambar 2.5  
 Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Mesh*

## **2.4. Kualitas Daya Elektrik**

Dengan semakin tingginya biaya atau tarif listrik, maka tuntutan keandalan kualitas daya listrik menjadi pertimbangan utama. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis-jenis beban tertentu, salah satunya pemakaian beban non linier. Dengan adanya pengoperasian beban seperti ini maka akan menghasilkan kualitas tegangan yang buruk dan dampaknya mempengaruhi kualitas daya, sehingga menimbulkan banyak kerugian-kerugian. Untuk mendapatkan kualitas tenaga listrik yang baik, maka perlu dilakukan langkah-langkah perbaikan kualitas daya, yaitu dengan cara melakukan audit *power quality* guna menentukan langkah-langkah serta upaya yang tepat untuk mengurangi kualitas tegangan yang buruk, contohnya dengan menggunakan alat kompensasi STATCOM. Sehingga kerugian dapat diminimalkan agar kualitas tenaga listrik dapat optimal sehingga kontinuitas pelayanan semakin terjaga.

### **2.4.1. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik**

Pada dasarnya gangguan dalam sistem distribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu gangguan yang bersifat sementara dan yang bersifat permanen, gangguan yang bersifat sementara atau *temporary* biasanya hanya terjadi dalam waktu yang sebentar, kemudian normal kembali. Sehingga apabila terjadi gangguan sementara maka diusahakan tidak sampai trip pada sistem secara keseluruhan, karena menyangkut kontonuitas pelayanan ke beban.

Secara umum jenis gangguan yang dapat terjadi dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu:

- a. Gangguan shunt
  - 1. Gangguan tiga fasa ( $3\phi$ )
  - 2. Gangguan line to line (L-L)
  - 3. Gangguan double line to ground (2L-G)
  - 4. Gangguan single line to ground (SL-G)
- b. Gangguan seri
  - 1. Gangguan satu saluran terbuka
  - 2. Gangguan dua saluran terbuka
  - 3. Impedansi seri tak seimbang
- c. Gangguan simultan, merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:
  - 1. Gangguan shunt dengan gangguan shunt
  - 2. Gangguan shunt dengan gangguan seri
  - 3. Gangguan seri dengan gangguan seri

Dari bermacam-macam gangguan di atas tersebut, gangguan dapat dikelompokkan lagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Gangguan hubung singkat simetris

Gangguan hubungan singkat tiga fasa merupakan jenis gangguan hubungan singkat simetris, sedangkan gangguan yang lain merupakan gangguan tidak simetris. Gangguan arus hubung singkat ini menyebabkan timbulnya arus yang sangat besar yang melewati kapasitas arus yang diijinkan, adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut:

- Rusaknya peralatan-peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tidak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
- Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan tersebut sampai mengakibatkan terputusnya *circuit* yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

Untuk menganalisa gangguan pada rangkaian tiga fasa seimbang, maka menganalisanya dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara fasa tunggal.

## 2. Gangguan hubung singkat tak simetris

Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah merupakan gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat dari gangguan satu fasa ke tanah, gangguan antar fasa atau gangguan dua fasa ke tanah.

### 2.4.2. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik

- **Daya aktif (*Active Power*)**

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan :

$$P = [ V ] [ I ] \cos \varphi$$

dimana :

V = tegangan

I = Arus

P = Daya rata-rata yang disebut juga daya aktif.

- **Daya Reaktif (*Reactive Power*)**

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif (VAR).

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q = [ V ] [ I ] \sin \varphi$$

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.

- **Daya Semu (*Apparent Power*)**

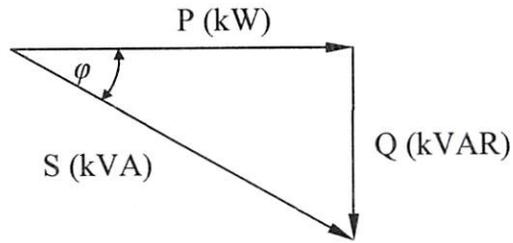
Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

- ***Power Factor***

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

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

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



Gambar 2.6  
Segitiga Daya

Dengan Faktor Daya:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}}$$

$$\text{kW} = \text{kVA} \cos \varphi$$

$$\text{kVAR} = \text{kVA} \sin \varphi = \text{kW} \tan \varphi$$

$$\tan \varphi = \frac{\text{kVAR}}{\text{kW}}$$

dengan:

$\cos \varphi$  = Faktor Daya

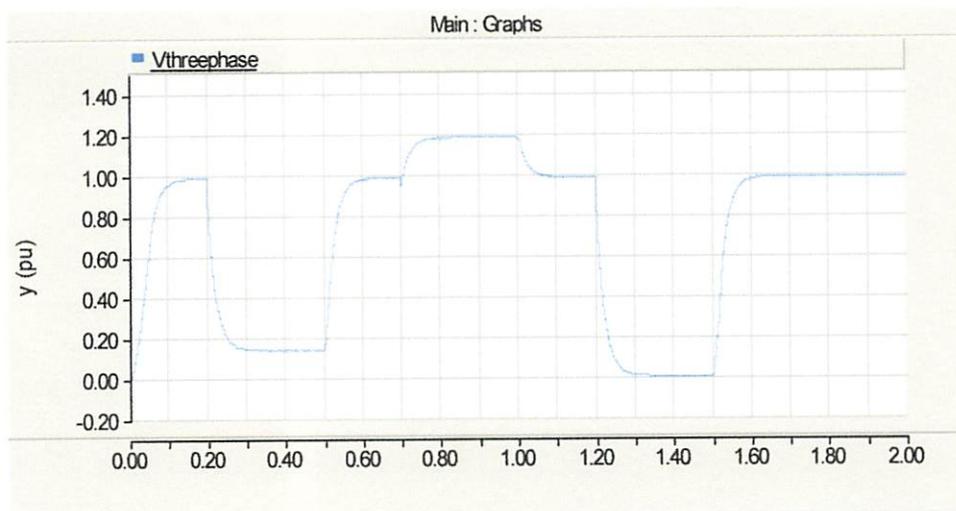
P = Daya Nyata (kW)

S = Daya Semu (kVA)

Q = Daya Reaktif (kVAR)

### 2.4.3. *Voltage Dip* dan *Voltage Swell*

Kebutuhan akan energi listrik yang terus berkembang menghendaki suatu kontinuitas pencatuan dan juga memerlukan kualitas dari bentuk tegangannya. Gangguan terhadap tegangan yang biasa terjadi antara lain, *Voltage Dip*, *Voltage Swell*, fluktuasi tegangan, harmonisa, dan juga ketidakseimbangan tegangan. Gangguan yang sangat berpengaruh pada kualitas tegangan adalah *Voltage Dip* dan *Voltage Swell*.

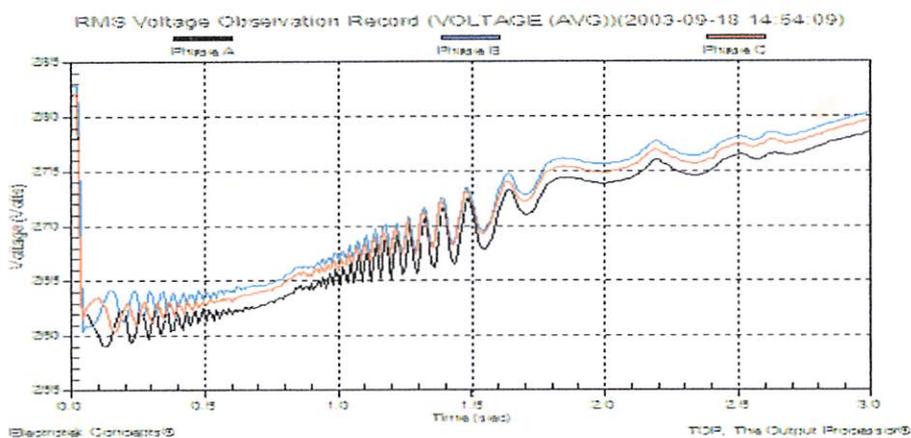


Gambar 2.7  
Ilustrasi *Voltage Dip* dan *Voltage Swell*

#### 2.4.3.1. Penyebab *Voltage Dip*

*Voltage Dip* atau *Voltage Sag* merupakan penurunan tegangan pada frekuensi daya antara 0.1 dan 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 *cycles* hingga 1 menit yang disebabkan oleh :

1. Starting beban-beban yang besar seperti motor listrik, dimana hal ini akan menghasilkan perubahan yang cepat dari tegangan.



Gambar 2.8  
Ilustrasi *Voltage Dip*

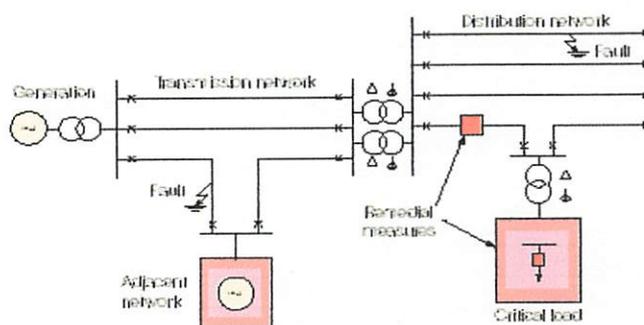
Gambar di atas menunjukkan suatu besaran rms *voltage sag* untuk suatu peristiwa *motor starting*. Peristiwa ini direkam dengan *Dranetz-BMI 5530 DataNode* [4].

2. Saat de-energisasi kapasitor
3. Gangguan hubung singkat
4. Pengoperasian pemanas elektrik
5. Umumnya karena adanya kehilangan koneksi

Besaran *voltage sag* tergantung pada

1. Lokasi gangguan
2. Tipe gangguan: satu-, dua- atau tiga-fasa; ditanahkan atau tidak ditanahkan
3. Impedansi gangguan / resistansi

Terjadinya *Voltage Dip* akibat *fault* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9  
Gambaran terjadinya *voltage Dip*

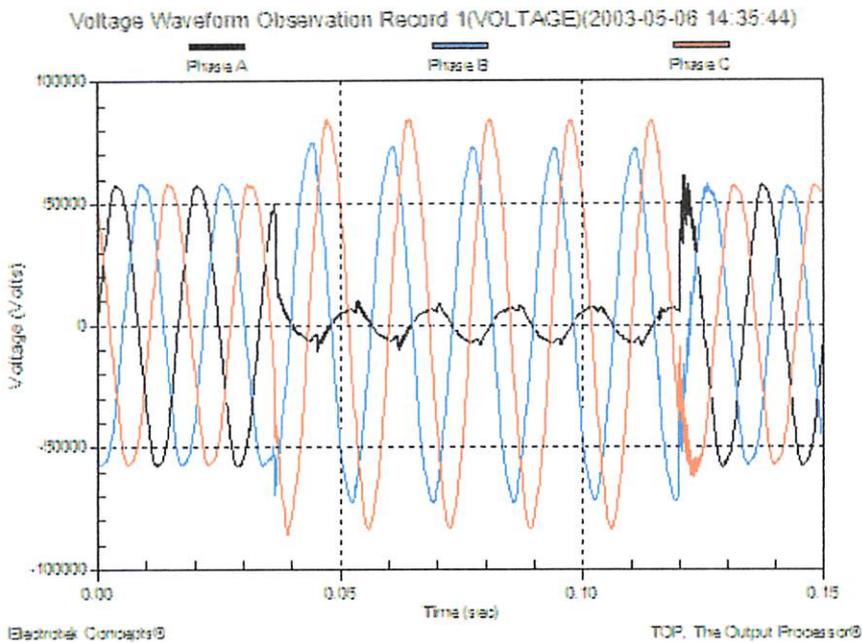
### 2.4.3.2. Penyebab *Voltage Swell*

*Voltage Swell* didefinisikan sebagai kenaikan tegangan rms atau arus pada frekuensi daya antara 1.1 dan 1.8 pu untuk durasi dari 0.5 cycle hingga 1 menit.

*Swell* biasanya timbul saat :

1. Bersama-sama dengan kondisi gangguan sistem
2. Dapat juga terjadi karena adanya kenaikan tegangan temporer pada fasa yang tidak terganggu selama gangguan satu fasa ke tanah
3. Saat energisasi kapasitor

*Voltage swells* banyak disebabkan karena adanya reduksi beban pada suatu rangkaian dengan regulator tegangan yang jelek, dan dapat juga karena disebabkan kehilangan koneksi netral.

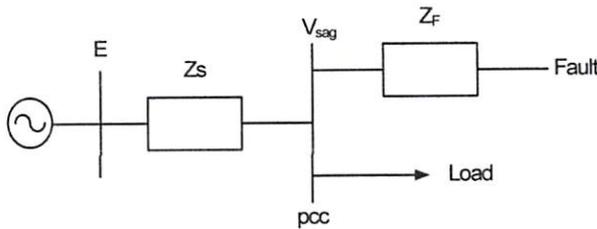


Gambar 2.10  
Ilustrasi *Voltage Swell*

Gambar di atas menunjukkan terjadinya *Voltage Swell* yang dekat dengan titik gangguan. Bentuk gelombang ini direkam dengan *Dranetz-BMI 5530 DataNode* [4].

### 2.4.3.3. Perhitungan Nilai *Voltage Dip* dan *Voltage Swell* Sistem

Untuk menghitung besaran *voltage Dip* dan *voltage swell* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11

Model pembagi tegangan untuk *voltage Dip* dan *voltage swell*

Dari Gambar 2.11 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:

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_s + Z_F} * E \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan 1 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:

$$V_{\text{sags}} = \frac{zL}{Z_s + zL} * E \dots\dots\dots(2)$$

Perhitungan nilai *voltage Dip* di atas juga dapat diterapkan untuk perhitungan *voltage swell*.

## 2.5. Peralatan Elektronika Daya

### 2.5.1. 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 menyambung (*on-state*) piranti bipolar yang relatif tak bergantung (bersifat invarian) terhadap temperatur, dibandingkan dengan adanya nilai koefisien temperatur yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperatur ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada sistem-sistem yang berdaya tinggi.

### 2.5.2. Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)

*Power MOSFET* adalah piranti elektronika daya konvensional yang beroperasi pada tegangan tinggi dan rugi konduksi yang rendah. Sebelum adanya kemajuan kinerja *power MOSFET*, gelanggang penyalakel daya dulunya memang didominasi oleh BJT (*bipolar junction transistor*), dan SCR yang sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat. MOSFET merupakan piranti elektronik yang dikemudikan oleh tegangan, dengan kebutuhan akan daya pengemudi yang relatif kecil saja. Sementara itu, pada transistor bipolar yang sifatnya dikemudikan oleh arus, ia memerlukan pengemudi dengan daya yang relatif lebih besar.

Dalam hal kapasitansi masukan, untuk MOSFET, bergantung pada ratingnya (kemampuan arusnya). Kapasitansi ini dapat menjadi demikian besar, sehingga rangkaian pengemudinya dituntut memiliki kemampuan untuk mengisi dan membuang dengan cepat muatan kapasitansi yang besar ini. Rugi penyakelaran (*switching losses*) dari piranti ini sangat kecil, hal ini menandakan bahwa MOSFET memiliki transisi saat menyambung (*turn-on*) dan memutus (*turn-off*) sangat cepat.

### **2.5.3. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)**

IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), merupakan piranti atau komponen aktif pokok yang kini banyak digunakan dalam bidang Elektronika Daya, seperti UPS (*Uninterruptible Power Supply*), dan sistem pengendali daya atau motor-motor besar di bidang industri.

Adanya suatu kendala tentang kecepatan respon penyakelar (*Switching Devices*) antara lain sulit untuk dimatikan (*turn-off*) dan lambat. Maka dalam hal ini dipilih IGBT yang memiliki kemampuan lebih baik.

### **2.5.4. Perbandingan Umum Antara Kinerja MOSFET dan IGBT**

Perbandingan kinerja penyakelaran MOSFET dan IGBT secara singkat dinyatakan dalam Tabel 2.1. Untuk tujuan komparasi, Tabel 2.1 tersebut juga menyertakan pula perbandingannya dengan transistor bipolar. Besaran tegangan kolektor-emitor dalam kondisi menyambung atau jenuh ( $V_{CEsat}$ ) yang biasa digunakan untuk menggambarkan karakter suatu IGBT, dalam Tabel 2.1 tersebut ditranslasikan ke dalam besaran resistansi kolektor-emitor dalam kondisi menyambung ( $R_{on}$ ).

Tabel 2.1.

Perbandingan tiga piranti penyalaklar daya untuk kemampuan (rating) yang setara

Karakteristik	MOSFET	IGBT	Bipolar
Kemampuan arus (A)	20	20	20
Kemampuan tegangan (V)	500	600	500
$R_{on}$ (ohm) Pada 25° C	0,2	0,24	0,18
$R_{on}$ (ohm) Pada 150° C	0,6	0,23	0,24
Waktu turun (nanodetik)	40	200	200

Dua fakta yang bersumber pada Tabel 2.1 tersebut adalah bahwa; pertama, 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 menyambung (*on-state*) piranti bipolar yang relatif tak bergantung (bersifat invarian) terhadap temperatur, dibandingkan dengan adanya nilai koefisien temperatur yang tinggi pada MOSFET. Informasi koefisien temperatur ini merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan batas aman thermal pada sistem-sistem yang berdaya tinggi.

Tabel 2.2 menyatakan perbandingan yang lebih umum mengenai karakteristik penyalaklarannya. Disebabkan oleh struktur masukan gate-nya, MOSFET dan IGBT merupakan piranti elektronik yang dikemudikan oleh tegangan, dengan kebutuhan akan daya pengemudi yang relatif kecil saja. Sementara itu, pada transistor bipolar yang sifatnya dikemudikan oleh arus, ia memerlukan pengemudi dengan daya yang relatif lebih besar.

Dalam hal kapasitansi masukan, untuk MOSFET dan IGBT, bergantung pada ratingnya (kemampuan arusnya). Kapasitansi ini dapat menjadi demikian besar, sehingga rangkaian

pengemudinya dituntut memiliki kemampuan untuk mengisi dan membuang dengan cepat muatan kapasitansi yang besar ini.

IGBT tampaknya memang menawarkan rating kemampuan arus yang lebih baik. Namun demikian, kekurangan dan kelebihan masing-masing piranti yang tercantum pada Tabel 2.2 tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk memilih salah satu di antara ketiganya.

Tabel 2.2  
Perbandingan Karakteristik Piranti Penyakelar Daya

Karakteristik	MOSFET	IGBT	Bipolar
Tipe pengemudi	Tegangan	Tegangan	Arus
Daya pengemudi	minimum	Minimum	Besar
Tingkat kerumitan pengemudi	Sederhana	Sederhana	Cukupan atau sedang
Kemampuan arus pada nilai tegangan drop di ujung-ujung terminal piranti	Tinggi pada teg. rendah; rendah pada teg. tinggi	Sangat tinggi (terpengaruh oleh kecepatan penyakelaran)	Cukupan (sangat terpengaruh oleh kecepatan penyakelaran)
Rugi penyakelaran	Sangat rendah	Rendah sampai sedang (dipengaruhi oleh rugi konduksi)	Sedang sampai tinggi (dipengaruhi oleh rugi konduksi)

Untuk mempertahankan nilai resistansi yang tetap rendah, pembuat IGBT membuat kemampuan arus yang lebih rendah untuk tipe yang lebih cepat. Sebagai contoh, Perusahaan *International Rectifier* (IR) di pasaran menawarkan tiga tipe IGBT; yakni tipe standar, cepat dan ultra cepat. IR mendeskripsikan kemampuan arus dengan perbandingan terbalik terhadap kecepatan penyakelarannya. Parameter terakhir dalam Tabel 2.2 tersebut adalah rugi penyakelaran (*switching losses*), yang mencerminkan kecepatan penyakelaran dari ketiga piranti elektronik tersebut. Untuk MOSFET, baik transisi saat menyambung (*turn-on*) dan memutus (*turn-off*) sangat cepat. Sedang untuk IGBT, kita dihadapkan pada kenyataan bahwa ada perimbangan dalam hal kecepatan

penyakelaran versus kemampuan arus; jenis yang lebih cepat akan mengalami rugi konduksi yang lebih tinggi. Waktu penyakelaran pada IGBT sebagian besar didominasi oleh waktu saat menyambung, sehingga secara garis besar membatasi penggunaannya dalam sistem yang beroperasi pada laju penyakelaran yang lebih rendah daripada 100 kHz.

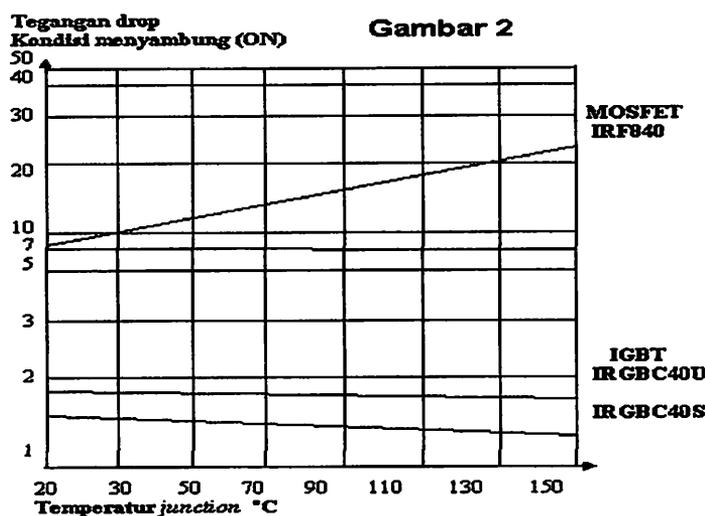
Tabel 2.3  
Perbandingan tegangan drop dan rating tegangan antara IGBT dan MOSFET

Rating Tegangan (Volt)	IGBT	100	300	600	1200
	MOSFET	100	250	500	1000
Tegangan drop untuk 1,7 ampere per mm <sup>2</sup> pada temperatur 100°C (Volt)	IGBT	1,5	2,1	2,4	3,1
	MOSFET	2,0	11,2	26,7	100

Tabel diatas menunjukkan perbandingan IGBT dengan MOSFET dalam hal rugi konduksi yang dinyatakan dalam bentuk tegangan drop (tegangan yang terdapat pada kedua ujung terminalnya saat pirantai tersebut dalam keadaan menyambung) untuk kondisi kemampuan arus pada luasan (area) piranti maupun temperatur yang sama. Pada MOSFET, untuk kemampuan arus yang sama per satuan luasan silikon, resistansi dalam kondisi menyambung naik secara ekponensial terhadap rating tegangannya. Sementara itu, untuk piranti IGBT (yang dinyatakan dalam besaran tegangan kolektor-emitor jenuh ketimbang resistansi dalam kondisi menyambung) lebih mampu mempertahankan rugi konduksi yang rendah untuk semua rating tegangan. Dari Tabel 2.3 tersebut juga dapat diketahui bahwa MOSFET memiliki rating tegangan yang sedikit lebih rendah daripada IGBT.

Perbandingan MOSFET dan IGBT untuk luasan die (irisian tipis bahan semikonduktor yang dipakai untuk membuat transistor atau piranti semikonduktor lainnya) yang sama,

secara grafis dinyatakan dalam Gambar 2.12. Pada gambar tersebut, jelas tampak bahwa IGBT memiliki rugi pada kondisi menyambung lebih rendah. Grafik tersebut menunjukkan tegangan drop dalam kondisi menyambung untuk sebuah MOSFET dan dua IGBT hasil produksi IR untuk arus beban 10 ampere. Piranti yang memiliki rugi yang paling rendah dalam gambar tersebut adalah IRGBC40S, yakni IGBT tipe standar. Tipe ultra cepatnya; IRGBC40U menawarkan penyakelaran yang lebih cepat, namun rugi dalam kondisi menyambung juga lebih tinggi.



Gambar 2.12

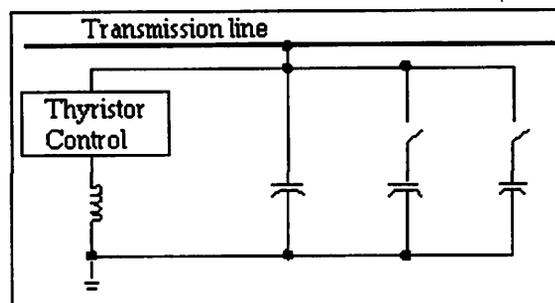
Tegangan drop kondisi menyambung untuk sebuah MOSFET dan dua IGBT

## 2.6. Peralatan Kompensasi dalam Sistem Tenaga Listrik

### 2.6.1. *Static VAR Compensator (SVC)*

Perkembangan teknologi FACTS telah mengalami dua generasi. Generasi pertama menghasilkan dua jenis peralatan. Alat pertama diberi nama *Static Var Compensator (SVC)* yang sudah diimplementasikan pada jaringan transmisi listrik semenjak pertengahan tahun 70-an. SVC berfungsi sebagai pemelihara kestabilan kondisi *steady state* dan dinamika tegangan dalam batasan yang sudah ditentukan pada jaringan transmisi berjarak jauh dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Fungsi SVC diperoleh

dengan menggunakan thyristor yang secara cepat dapat menghubungkan atau memutuskan induktor ataupun kapasitor pada jaringan transmisi. Namun kekurangannya, alat ini tidak dapat dipergunakan sebagai alat pengendali aliran daya listrik aktif (*active power*) yang sangat vital dalam sistim jaringan transmisi listrik AC. Lain dari itu, SVC juga didapati sangat rendah efisiensinya jika terjadi turunnya tegangan dari transmisi secara drastis. Demonstrasi pertama pemasangan SVC dilaksanakan tahun 1978 pada jaringan transmisi 115kV Minnesota Power & Light dan telah berhasil menunjukkan perbaikan kendali stabilisasi dan tegangan pada jaringan transmisi tersebut.

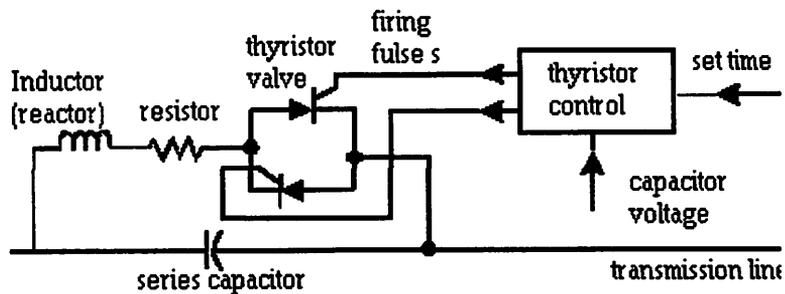


Gambar 2.13  
Static VAR Compensator

### 2.6.2. NGH – Sub Synchronous Resonance (SSR)

Alat berikutnya yang dikembangkan pada generasi pertama diberi nama NGH-SSR (*Narain G. Hingorani – SubSynchronous Resonance*) Damper. Alat ini dirancang untuk mengatasi permasalahan *subsynchronous resonance* (SSR) yang ditemukan pada jaringan transmisi listrik AC. Jaringan transmisi 500kV Southern California Edison dijadikan tempat pemasangan pertama dari alat ini pada tahun 1980-an setelah SSR mengakibatkan kerusakan fatal pada salah satu generatornya. NGH-SSR seperti yang ditunjukkan gambar 2.14 juga terdiri dari thyristor yang dihubungkan dengan induktor dan tahanan secara seri. Alat inilah yang kemudian menjadi cikal bakal dari salah satu alat yang

dikembangkan dalam generasi kedua FACTS yaitu alat yang dikenal dengan nama *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*.

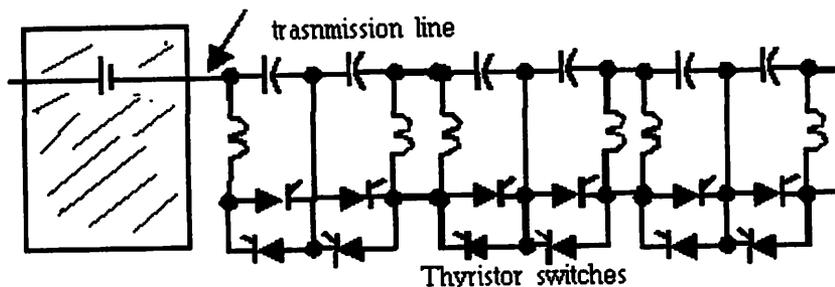


Gambar 2.14  
NGH - *SubSynchronous Resonance*

### 2.6.3. *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*

Semakin berkembangnya teknologi dibidang pembuatan *Thyristor* mendorong terciptanya generasi kedua dari FACTS. Pada generasi kedua beberapa peralatan FACTS baru telah dikembangkan. Pertama adalah alat yang diberi nama *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)* yang berfungsi sebagai pengendali impedansi dari jaringan transmisi. Seperti diketahui, impedansi sepanjang jaringan transmisi umumnya bersifat induktif sedangkan yang bersifat resistif hanya berkisar 5 sampai 10 persen. Ini berarti akan terasa sangat besar manfaatnya apabila kita mampu mengendalikan impedansi transmisi yang bersifat induktif pada kondisi stabil (*steady state impedance*). Hal ini dapat ditempuh dengan cara penambahan kapasitor dan induktor secara seri. Penghubungan kapasitor secara seri akan berakibat pengurangan impedansi pada transmisi sedangkan penghubungan induktor secara seri akan berarti menaikkan impedansi pada transmisi yang sama. Gambar 2.15 menunjukkan contoh dari TCSC yang telah dipasang pada jaringan transmisi 500kV milik Bonneville Power Administration (BPA) dinegara bagian Oregon. Studi kasus pemasangan TCSC yang telah dilaksanakan oleh

Electric Power Research Institute (EPRI) pada satu jaringan transmisi menunjukkan bahwa TCSC berhasil meningkatkan kuantitas aliran daya (dalam MW) sebanyak 30% dengan sekaligus menjaga stabilitas sistim jaringan transmisi tersebut.

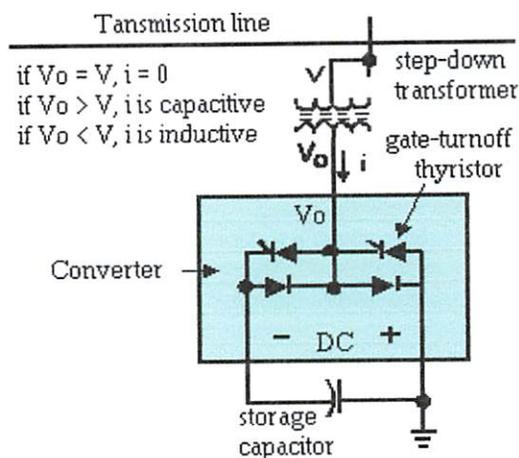


Gambar 2.15  
*Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*

#### 2.6.4. *Static Condenser (STATCON)*

Alat yang kedua diberi nama *Static Condenser (STATCON)* dan berfungsi sebagai penyedia Volt Amp Reactive (VAR) untuk menjaga kestabilan tegangan pada jaringan transmisi yang panjang dan berbeban tinggi (*heavily loaded*). Pada akhirnya nanti, STATCON diharapkan untuk dapat menggantikan pemakaian alat *Rotating Synchronous Condensers* yang kini umum dipasang. STATCON adalah alat FACTS pertama yang menggunakan tipe thyristor berbeda dari peralatan FACTS sebelumnya. Jenis thyristor yang dipakai adalah jenis GTO (*Gate Turned-Off*). Pada dasarnya, STATCON adalah alat yang berbasis inverter tiga fasa yang dihasilkan oleh tegangan satu arah (dc) dari kapasitor seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2.16. Pada gambar tersebut, jika tegangan  $V_0$  lebih tinggi (atau lebih rendah) dari pada tegangan sistim transmisi  $V$ , maka selisih sudut fasa dari kedua tegangan tersebut akan menentukan jumlah arus listrik yang

mengalir serta arus listrik akan menjadi lead (atau lag). Dengan jalan demikian, maka daya reaktif beserta arahnya pada sistim transmisi akan dapat dikendalikan secara cepat dan berkelanjutan (*continuous*). Dua contoh studi kasus pemasangan STATCON di Amerika Serikat telah dilaksanakan dengan hasil yang memuaskan. Percobaan pertama adalah pemasangan 1 Mvar STATCON pada jaringan transmisi milik Orange & Rockland Utilities Inc. di negara bagian New York pada tahun 1989. Sedangkan studi kasus berikutnya adalah pemasangan 100-Mvar STATCON pada tahun 1995 di jaringan transmisi Sullivan milik Tennessee Valley Authority (TVA) di negara bagian Tennessee.

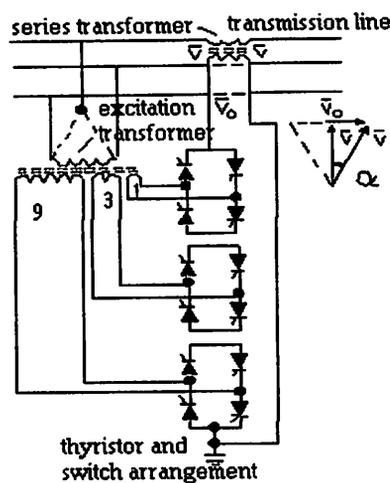


Gambar 2.16  
 Static Condenser (STATCON)

### 2.6.5. Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)

Selanjutnya adalah alat FACTS yang disebut TCPR kependekan dari *Thyristor Controlled Phase angle Regulator*. Fungsi dari alat ini tidak lain adalah sebagai pengendali selisih sudut fasa pada tegangan dari kedua ujung jaringan transmisi yang sama. Fungsi tersebut dimungkinkan dengan cara penyuntikan tegangan secara seri pada jaringan transmisi listrik. Gambar 2.17 menunjukkan konsep dari TCPR ini. Penambahan

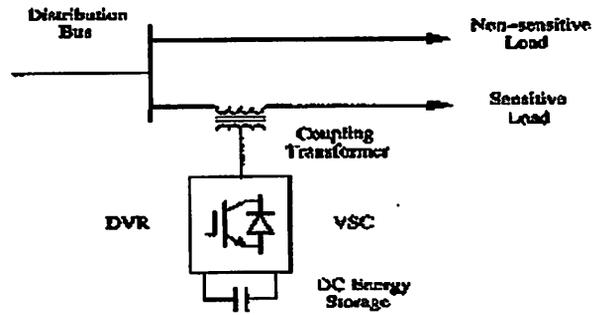
sudut fasa  $\alpha$  pada tegangan transmisi  $V$  dicapai dengan cara menambahkan tegangan  $V_q$  yang tegak lurus terhadap  $V$ . Tegangan  $V_q$  sendiri dihasilkan dari tegangan sekunder dari transformer yang dihubungkan ke dua fasa dari sistim transmisi tiga fasa ini. Percobaan pemasangan TCPR telah dilaksanakan dengan sukses diberbagai lokasi jaringan transmisi di Amerika Serikat. Salah satu contoh adalah pemasangan TCPR di jaringan transmisi 230kV milik Minnesota Power yang telah terbukti mampu menghasilkan selisih sudut fasa dengan sangat cepat.



Gambar 2.17  
Thyristor Controlled Phase angle Regulator (TCPR)

### 2.6.6. Dynamic Voltage Restorer (DVR)

*Dynamic Voltage Restorer* merupakan pengontrol yang biasanya digunakan untuk meminimalisasikan *Voltage Sag*. DVR biasanya bekerja pada bagian yang sama dengan STATCOM dimana trafo penghubung dihubungkan secara urut dengan sistem arus bolak-balik seperti yang terlihat pada gambar 2.18

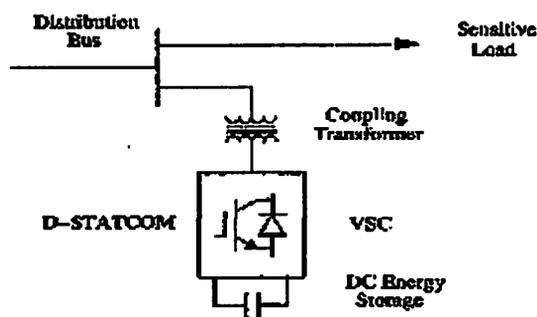


Gambar 2.18  
Diagram blok fungsional untuk DVR

VSC menghasilkan suatu output tegangan arus bolak-balik tiga fasa yang dikontrol pada fasa dan besarnya. Tegangan diberikan ke dalam sistem distribusi arus bolak-balik untuk menjaga tegangan beban sesuai dengan yang diinginkan.

### 2.6.7 *Static Compensator (STATCOM)*

Bentuk umum dari *Static Compensator* terdiri dari suatu gabungan dua level VSC, suatu sumber DC dan trafo penggabungan yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik dan unit kontrol yang terhubung. Bentuknya dapat dirancang lebih canggih menggunakan *multipulse* atau konfigurasi *multilevel*.



Gambar 2.19  
Diagram blok fungsional STATCOM

Pada gambar 2.19 menunjukkan diagram blok fungsional STATCOM, dimana VSC mengkonversi tegangan DC melewati peralatan sampai ke dalam satu keluaran arus bolak-balik tiga fasa. Tegangan ini digabungkan dengan sistem arus bolak-balik melalui reaktansi trafo penggabung. Penyesuaian terhadap keluaran tegangan STATCOM memberikan kontrol yang efektif terhadap daya aktif dan daya reaktif dari STATCOM dan sistem arus bolak-balik. VSC yang dihubungkan secara *shunt* dengan sistem arus bolak-balik memberikan kontribusi:

1. Mengkompensasi rugi-rugi dari daya reaktif.
2. Memberikan koreksi terhadap faktor daya.

STATCOM di sini digunakan untuk meregulasi tegangan yang ada pada titik penyaluran beban.

## **BAB III**

### **PERBAIKAN VOLTAGE DIP MENGGUNAKAN STATCOM**

#### **3.1. *Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation***

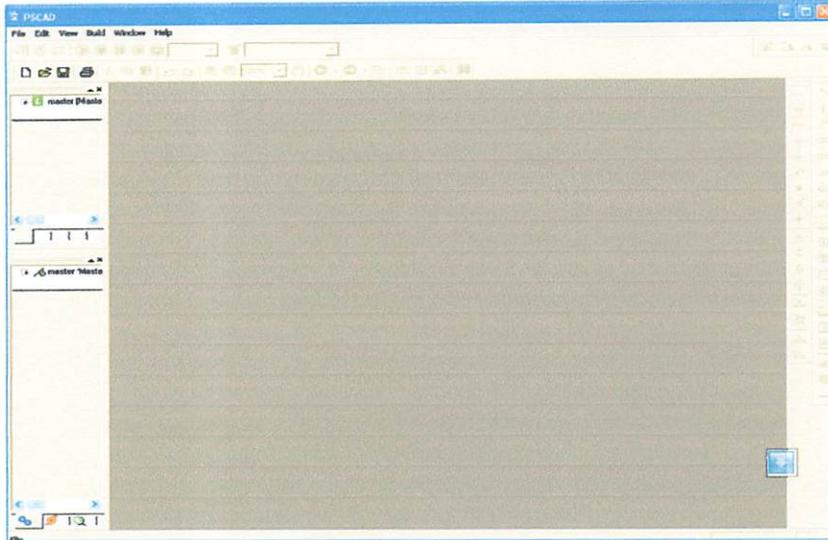
PSCAD (*Power System CAD*) adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. PSCAD memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga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

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 governors*

### 3.2. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation

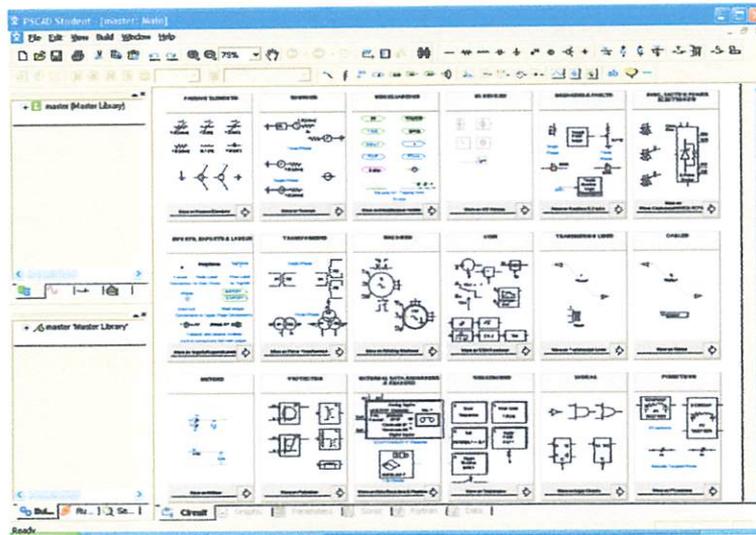
Tampilan Utama PSCAD Power Simulation adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1

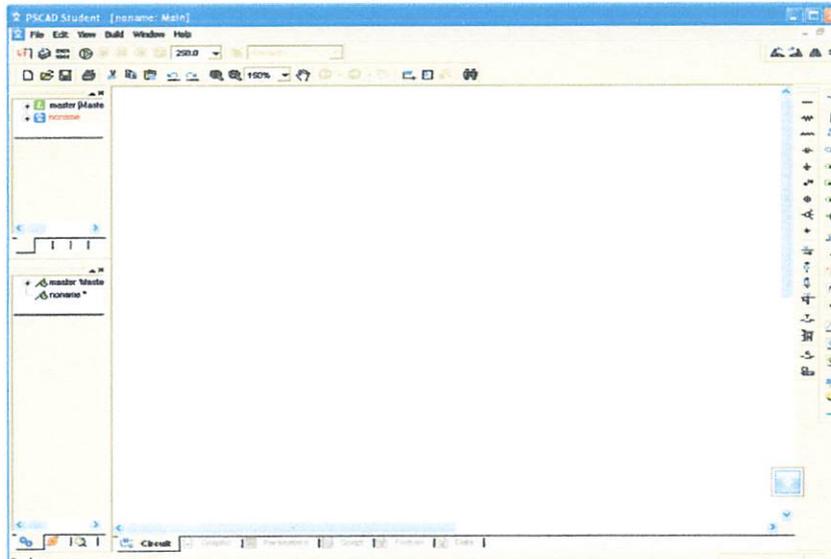
Tampilan utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation

- Untuk memulai membuat *single line* baru maka kita klik: File > New > case. Setelah melakukan prosedur di atas secara *default* PSCAD akan memberi nama *file* baru yang kita buat dengan nama "noname". Kemudian kita klik nama *file*-nya maka akan muncul tampilan seperti Gambar 3.2.
- 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.



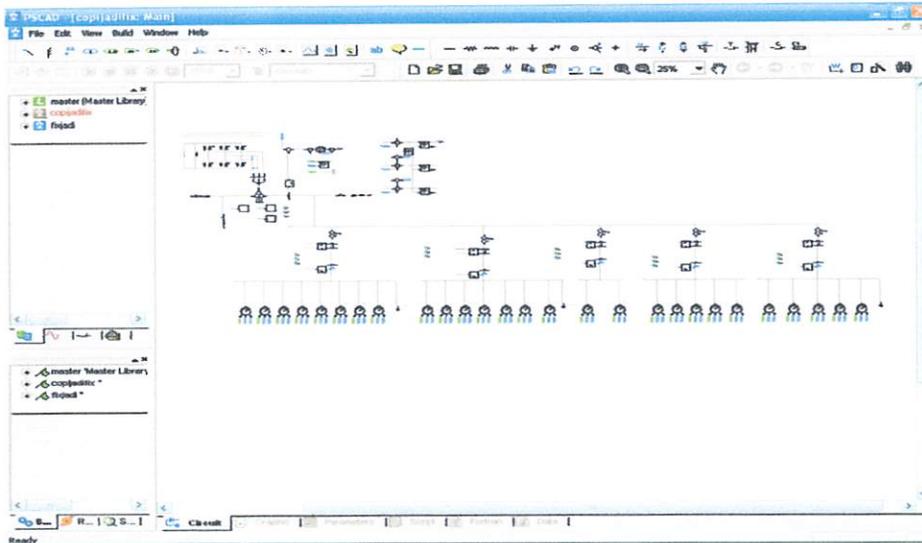
Gambar 3.2. Tampilan *Master Library*

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



Gambar 3.3  
Tampilan Modul Utama

- Setelah mendesain sistem seperti yang dibutuhkan, maka dapat kita lihat tampilan single line dalam modul utama sebagai berikut.



Gambar 3.4  
Tampilan *Single Line* Sistem Distribusi PT Industri Sandang Nusantara Dalam *PSCAD*

### 3.3. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

#### 3.3.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarkan PWM berkenaan dengan STATCOM diterangkan pada bagian ini.. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban. tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. 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. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut  $\delta$ . Sinyal yang diatur dibandingkan dengan suatu sinyal bersegi tiga (*carrier*) dalam rangka menghasilkan sinyal penyaluran untuk VSC. parameter utama dalam rencana sinusoidal PWM adalah index sinyal amplitudo modulasi ( $m_a$ ) pada sinyal  $V_{\text{control}}$ , dan sinyal segi tiga pada index modulasi frekuensi ( $m_f$ ). Index modulasi dipertahankan tetap pada 1 pu, dalam hal memperoleh komponen dasar tagangan 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 hasil simulasi.

### 3.3.2. Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap STATCOM

Prinsip STATCOM adalah menerima dan memproses sinyal *error* dari sumber. Hasilnya kemudian dimasukan ke PWM *Voltage Source Converter* tiga fasa pada rangkaian utama. Dari hasil perhitungan arus referensi yang dihasilkan oleh sinyal *error* antara tegangan beban dengan tegangan referensi. Jadi sinyal yang diolah oleh PWM merupakan sinyal referensi yang diperoleh dari hasil perhitungan tersebut. Sinyal referensi ini kemudian dimodulasikan dengan sinyal *carrier (triangular wave)* yang berupa sinyal gigi gergaji (*saw tooth*). Sinyal *error* ini berbentuk sinusoidal yang dimodulasikan dengan sinyal gigi gergaji sebagai

sinyal *carrier*. *Output* dari PWM di atas digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 6 IGBT tiap fasa terdiri dari 2 IGBT.

### **3.4. Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)**

#### **3.4.1. Umum**

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat, dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian yang sangat penting dan terpadu dari proses – proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis sangat diperlukan di dalam dunia industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus dalam industri proses.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

Sejarah perkembangan. Hasil karya pertama yang sangat penting dalam kontrol otomatis adalah governor sentrifugal untuk pengontrolan kecepatan mesin uap yang dibuat oleh *James Watt* pada abad ke delapan belas. Hasil karya lainnya yang penting pada tahap awal perkembangan teori kontrol dibuat oleh *Minorsky*, *Hazen*, *Nyquiste*, dan sebagainya. Pada tahun 1922, *Minorsky* membuat kontroler otomatis untuk mengendalikan pengemudian kapal dan menunjukkan cara menentukan kestabilan dari persamaan differensial yang melukiskan sistem. Pada tahun 1932 *Nyquis* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis sistem loop terbuka terhadap masukan tunak (*steady state*) sinusoida. Pada tahun 1934 *Hazen*, yang memperkenalkan istilah servomekanis untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servomekanis relay yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah. Selama dasawarsa 1940-an, metode respon frekuensi memungkinkan para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya

adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

Ada banyak parameter yang baru dikendalikan di dalam suatu proses. Diantaranya yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) didalam sebuah *vassel* atau pipa, aliran (*flow*) didalam pipa, suhu temperatur di unit proses seperti *heat exchanger*, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya : PH di industri petrokimia, *water cut (w&w)* diladang minyak mentah, warna produksi suatu fasilitas pencairan gas (NGL) dan sebagainya.

Gabungan scrta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Prosess Control Instrumentation*).

Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

#### **3.4.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses**

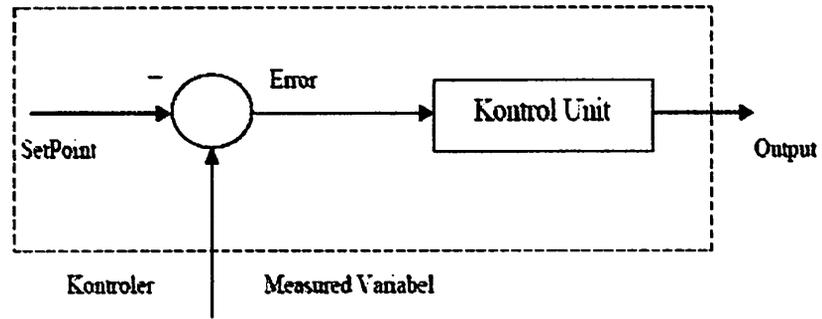
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sckali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan

dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut sistem pengendali otomatis (*automatik control system*). Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

### **3.4.3. Prinsip Kerja Pengendali**

Ada tiga jenis pengendali kontinyu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali dipakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D disingkat PD, dan P+I+D disingkat PID. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda. Pada dasarnya, tugas sebuah pengendali kontinyu terbagi dalam dua tahap, yaitu membandingkan dan menghitung.

Pembandingan itu sendiri dilakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang disebut *error*. Karena set point bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variable*, nilai *error* bisa positif dan bisa juga negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variable* adalah output unit kontrol. Besarnya *manipulated variable* dihitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada dikontroler.



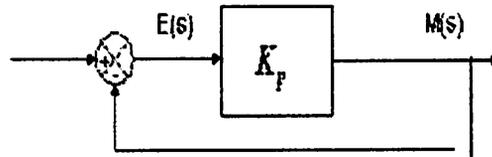
Gambar 3.5  
Kontroler Dan Diagram Kotaknya

#### 3.4.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

Salah satu dari ketiga unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P, seperti tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol *proporsional* oleh karenanya akan sederhana sekali, sehingga bentuk *transfer function*-nya juga sederhana. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali *P-only* maupun dalam kombinasi dengan mode integral (I) dan differensial (D).

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. Gambar 3.6 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal

positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 3.6  
Diagram Blok Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proporsional band*) dan konstanta proporsional.

Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

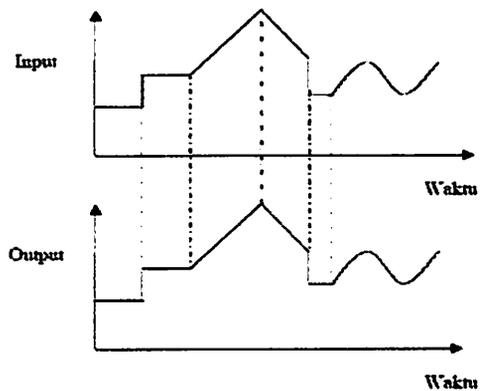
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana:

$PB$  = Proporsional Band

$K_p$  = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari gambar 3.7 jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



**Gambar 3.7**  
**Response Sebuah Pengendali Proporsional**

Contoh pengendali integral proporsional yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu diperhatikan pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

#### **3.4.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)**

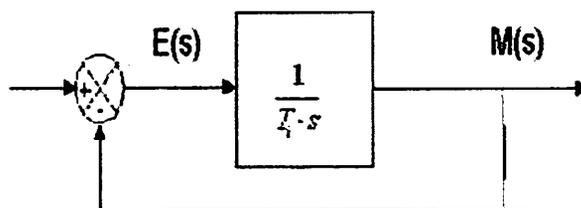
Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai

dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak. Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input ke unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

Jadi untuk menghasilkan *offset* dibutuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan *output* walaupun padanya tidak diberikan *input*. Dengan kata lain, diperlukan pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil dari bias pada saat *input (error)* sama dengan nol. Pengendali yang memenuhi kriteria ini adalah pengendali integral, disingkat I.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur *integrator* ( $1/s$ ), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

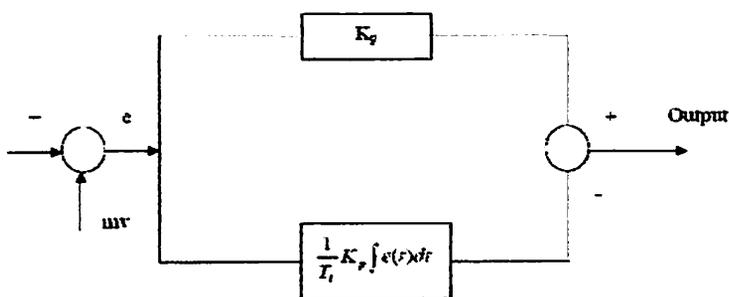
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



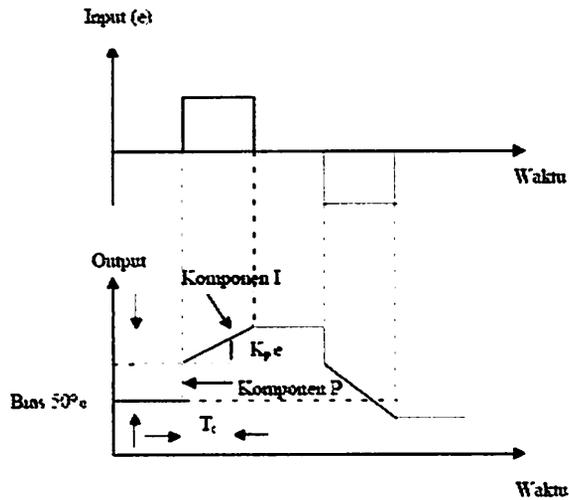
Gambar 3.8  
Blok Diagram Kontroler Integral

### 3.4.6. 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 seperti gambar 3.9. Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 3.9  
Diagram Kotak Pengendali PI



Gambar 3.10  
 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

### 3.5. Kompensasi STATCOM Pada Sistem Distribusi 20 kV

#### 3.5.1. Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi STATCOM

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 kestabilan tegangan. Untuk mengatasi permasalahan ini STATCOM 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 controlable* dan penggunaannya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini STATCOM dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol PWM.

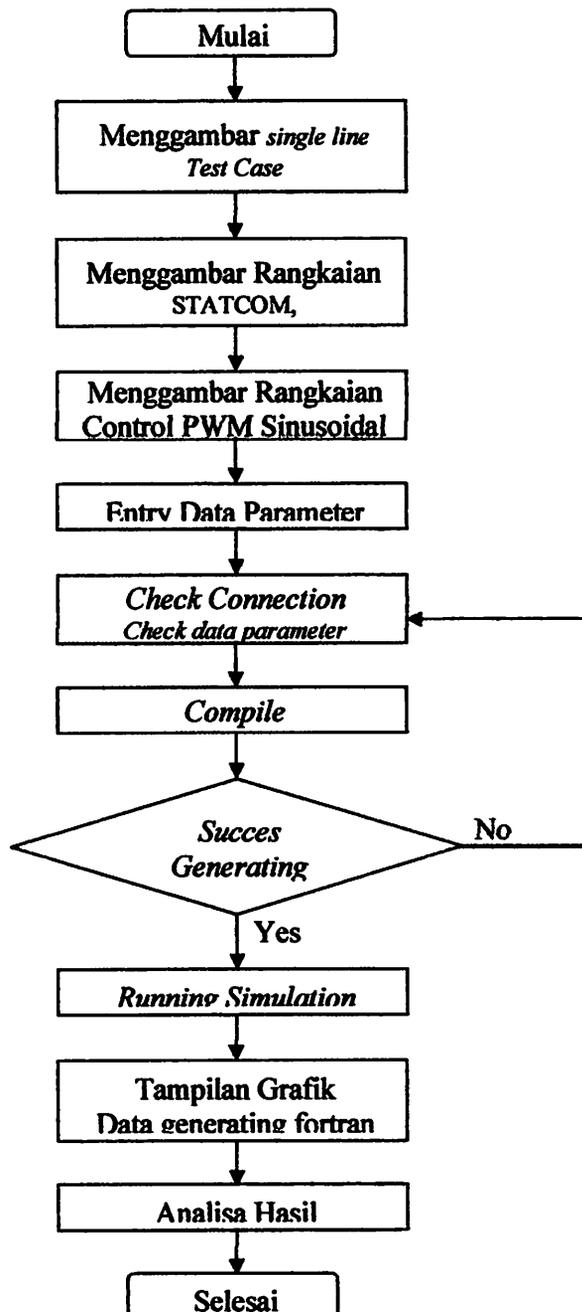
### **3.5.2. Sistem Distribusi Dengan Kompensasi STATCOM**

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 STATCOM.

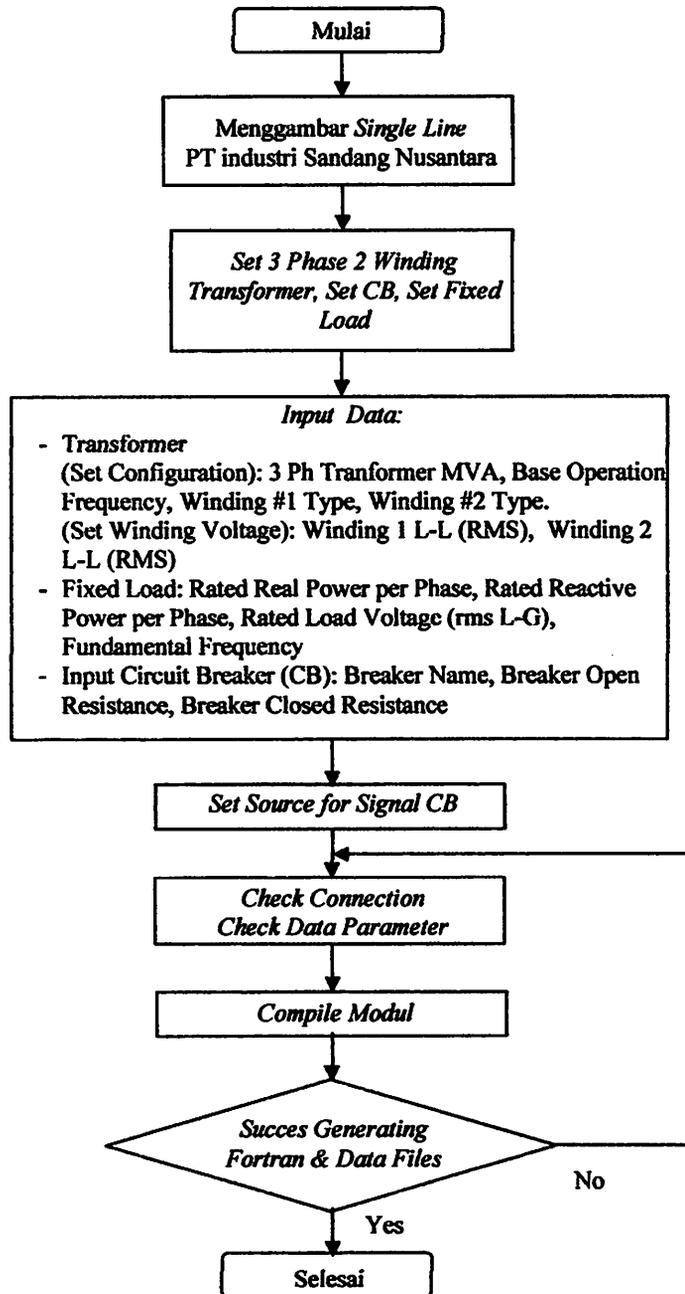
### 3.6. Flowchart

#### 3.6.1. Flowchart Desain dan Simulasi Sistem dengan STATCOM



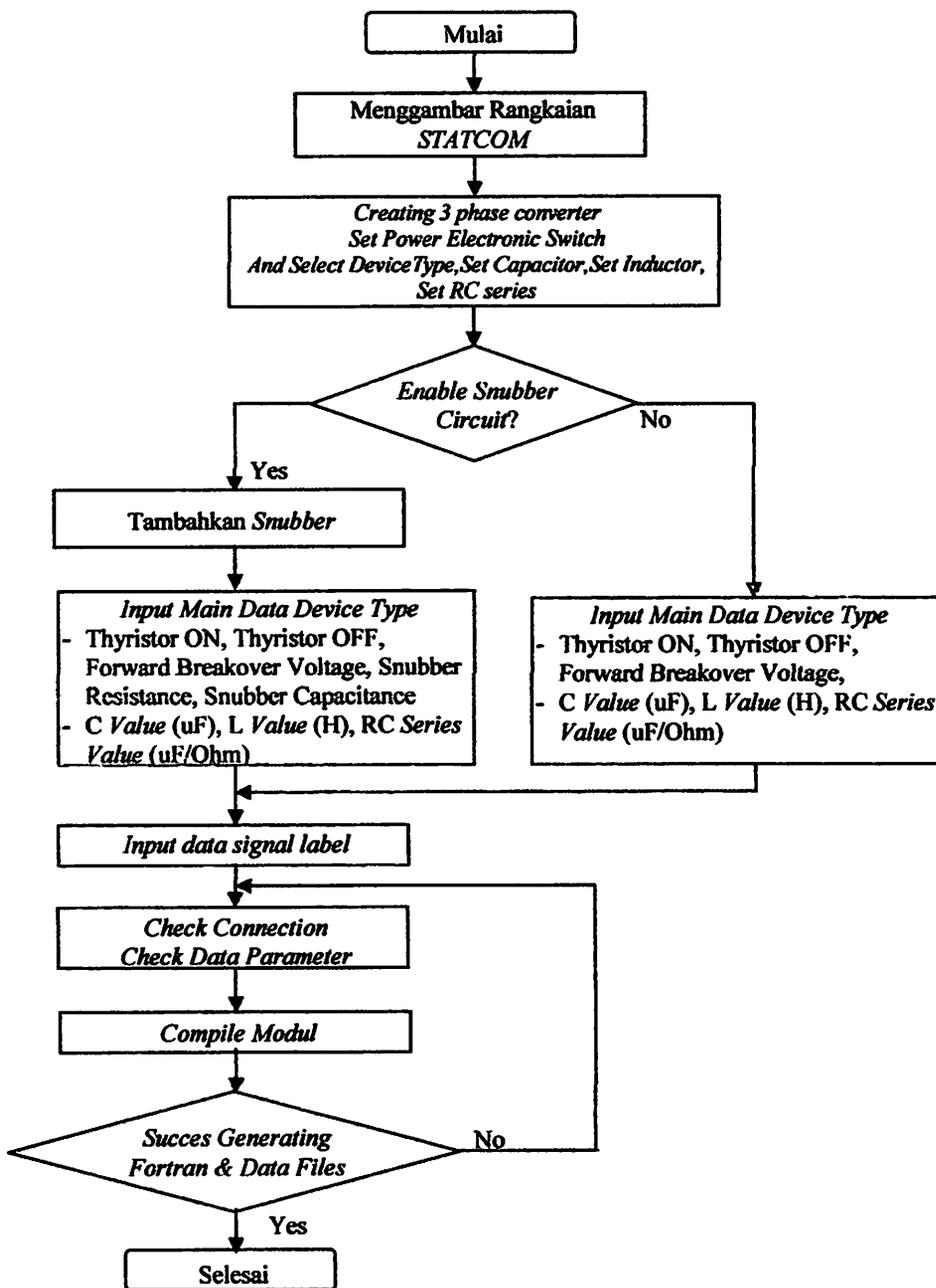
Gambar 3.11  
Flowchart Analisa Perbaikan Kualitas tegangan Dengan STATCOM

**3.6.2. Flowchart Single Line PT. Industri Sandang Nusantara**



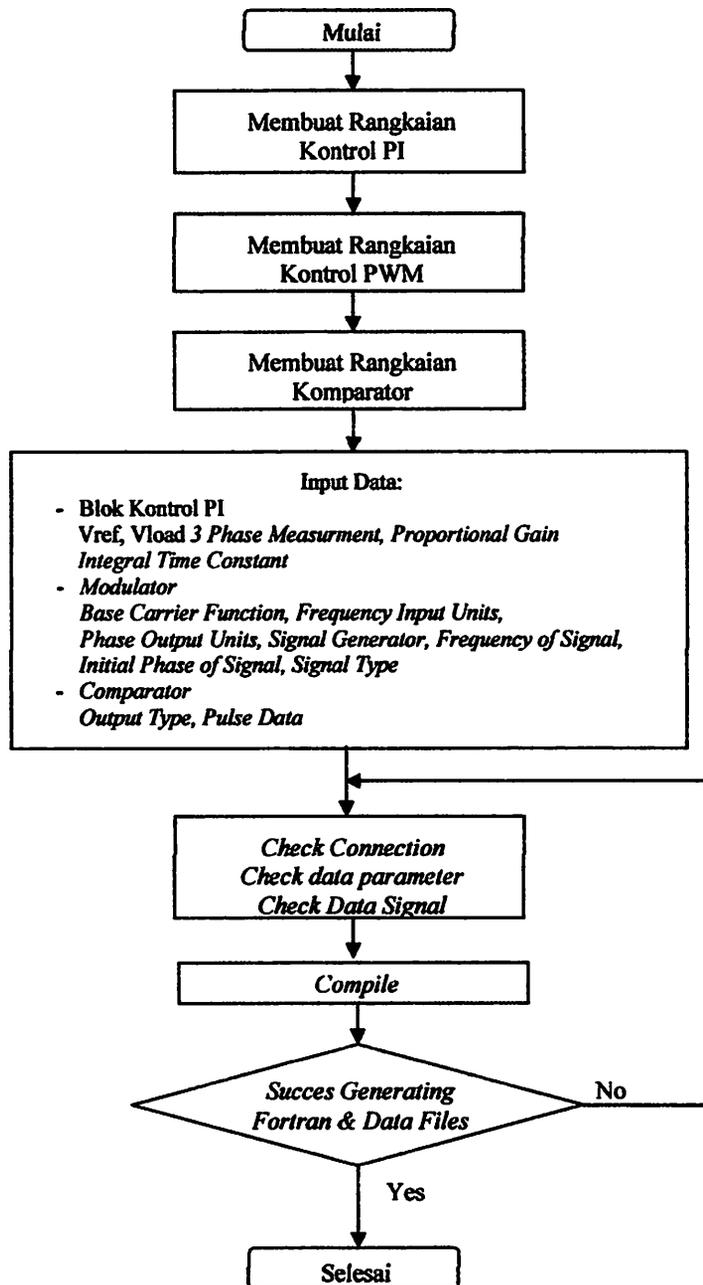
**Gambar 3.12**  
**Flowchart Pembuatan Single Line Diagram PT. Industri Sandang Nusantara**

### 3.6.3. Flowchart Desain STATCOM



Gambar 3.13  
Flowchart Pembuatan Rangkaian (STATCOM)

### 3.6.4. Flowchart Desain Kontrol STATCOM

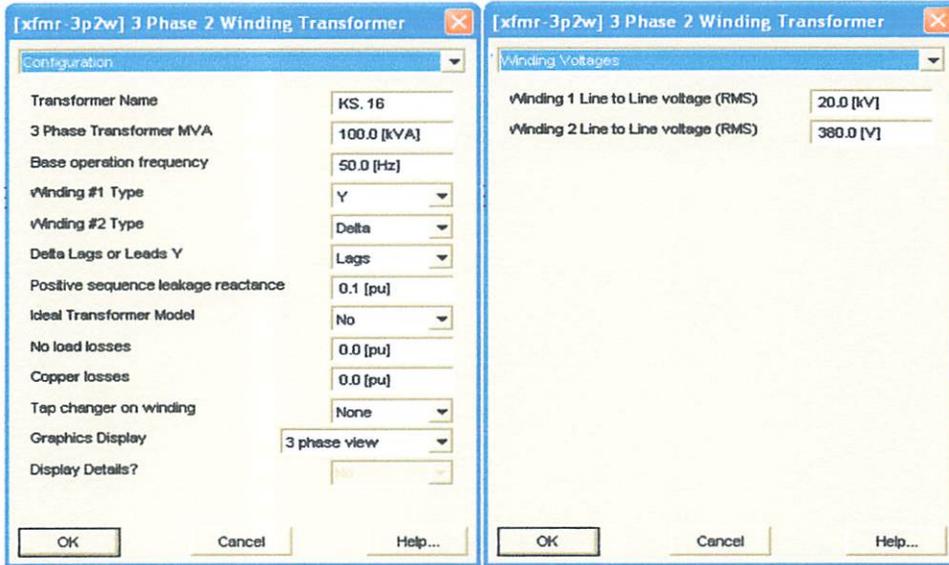


Gambar 3.14  
Flowchart Pembuatan Rangkaian Kontrol PWM Untuk  
STATCOM

### 3.7. Input Data Dalam PSCAD/EMTDC Power Simulation

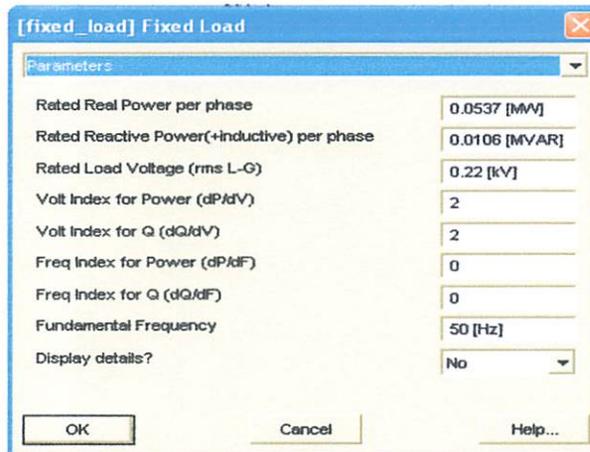
#### 3.7.1. Input Data Transformator dan Fixed Load

##### 1. Data Transformator



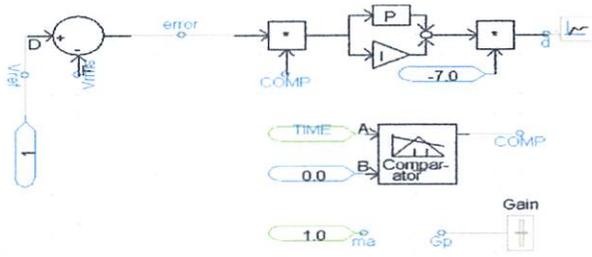
Gambar 3.15  
Tampilan Input Data Transformator

##### 2. Data Fixed Load



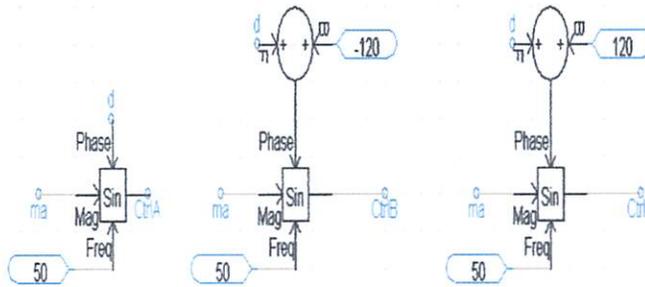
Gambar 3.16  
Tampilan Input Data Fixed Load

### 3.7.2. Input Data Pengendali PI dan PWM Pada STATCOM



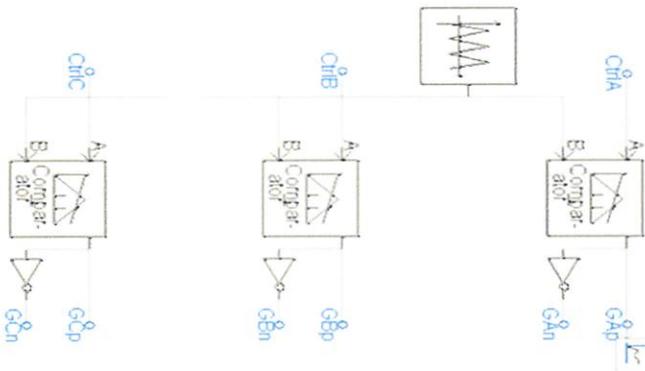
Gambar 3.17

### Rangkaian Pengendali PI untuk mengendalikan STATCOM



Gambar 3.18

### Rangkaian Sinyal Komparator Untuk Mengendalikan STATCOM



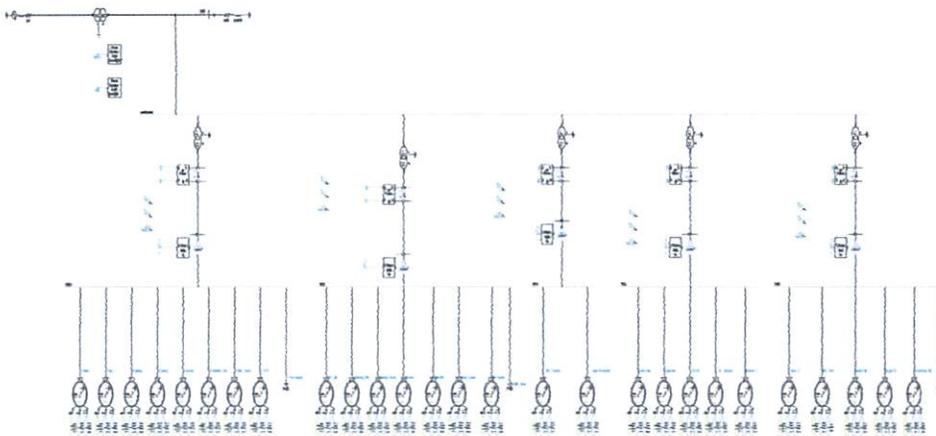
Gambar 3.19

### Rangkaian Komparator Untuk Mengendalikan STATCOM

## BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

### 4.1. Single Line Sistem Distribusi PT Industri Sandang Nusantara

Perkembangan industri dan meningkatnya kebutuhan akan ketersediaan energi listrik yang baik di PT Industri Sandang Nusantara sangatlah pesat, tapi hal ini tidak didukung oleh penyediaan sumber energi listrik yang memadai. Dengan sumber daya energi yang terbatas, dalam hal ini PLN dituntut untuk memberikan pelayanan yang optimal dalam penyaluran energi listrik. Salah satu caranya adalah dengan memaksimalkan kualitas tegangan.



Gambar 4.1. *Single Line* Sistem Distribusi PT Industri Sandang Nusantara

## 4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan

### 4.2.1. Data Pembebanan Sistem Tenaga Listrik PT Industri Sandang

#### Nusantara

Tabel 4.1. Pembagian Beban Pada PT. PT Industri Sandang Nusantara

ID	kV	A	% Pf	Kw	% Eff
AC/SH	0.380	230.8	91.65	129	92.67
AC_Laborat	0.380	22.24	87.49	11.1	86.87
ACP2	0.380	57.26	89.91	30.6	90.31
Atlas_Copoo	0.380	83.78	90.89	46	91.78
Blower	0.380	161.6	91.5	90	92.48
Blowing_Ohara	0.380	146.4	91.46	81.47	92.43
Blowing_OM	0.380	128.2	91.97	72.5	93.41
Carding	0.380	241.4	91.66	135	92.69
Drawing	0.380	106.6	91.5	59.5	92.7
EngineRS	0.380	38.59	88.9	20.05	88.79
Fentilation_fan	0.380	44.29	88.93	20.25	78.11
Flayer_2	0.380	1.02	79.56	0.4	74.72
Flayer_1	0.380	21.87	87.45	10.9	87.45
Komp_Udara	0.380	28.89	88.16	14.7	87.68
Laborat	0.380	9.41	85.28	4.4	83.34
Luwa Pneumafil	0.380	26.14	87.31	13.2	87.29
Machoner_2	0.380	83.78	90.89	46	91.78
Maconer	0.380	83.78	90.89	46	91.78
MTC_Prod	0.380	7.91	84.84	3.65	82.67
ReturnFan 1&2	0.380	56.2	89.87	30	90.24
Return Fan3	0.380	134.9	91.42	75	92.39
Rotary Filter	0.380	15.44	86.56	7.5	85.26
RSF_OM	0.380	267.29	91.71	150	92.75
RSF_Toyoda	0.380	232.6	91.65	130	92.71
RSF Toyoda	0.380	106.7	91.51	59.6	92.67
Savio1&2	0.380	46.53	89.38	24.5	89.51
Savio3&4	0.380	46.53	89.38	24.5	89.51

## 4.3. SOLUSI Perbaikan Kualitas Tegangan dengan *Software*

### *PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*

*Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation* merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi,

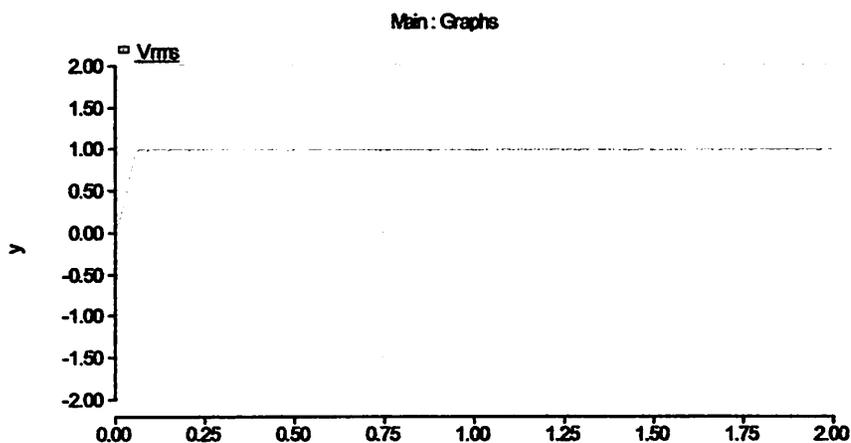
menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada PT Industri Sandang Nusantara dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan dengan *software* PSCAD.

#### **4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Voltage Dip Dengan STATCOM**

##### **4.4.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi STATCOM**

Pada simulasi awal, Komponen STATCOM tidak melakukan kompensasi sama sekali. STATCOM tidak memberikan suplai VAR maupun Penyerapan VAR pada beberapa kondisi pengujian, maka akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan STATCOM :

##### **4.4.1.1. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan**

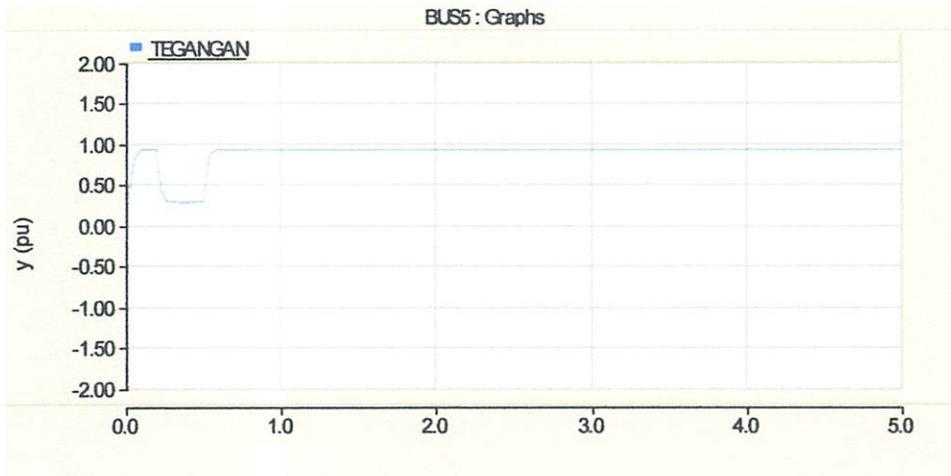


**Grafik 4.1 Bentuk Gelombang Tegangan**

Pada simulasi awal sistem sebelum mengalami gangguan bentuk gelombang tegangan stabil dapat terlihat pada grafik 4.1

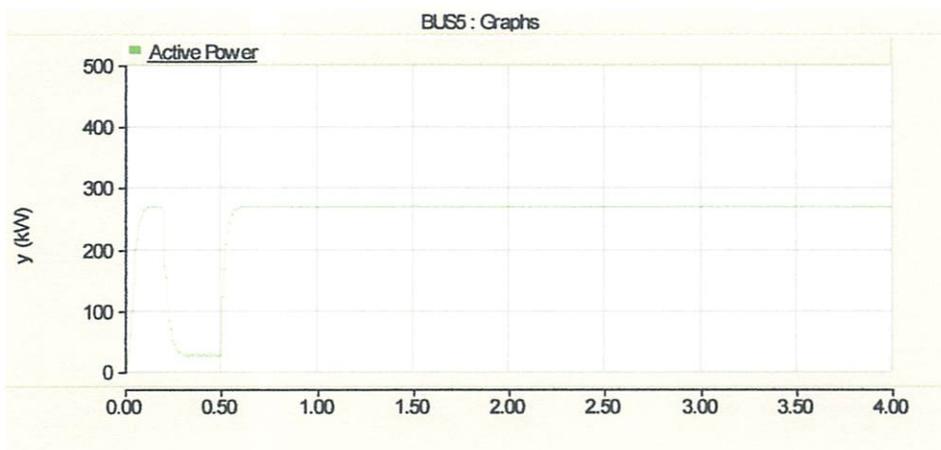
#### 4.4.1.2. Sistem Setelah Mengalami Gangguan

- a. Terjadi Gangguan *Voltage Dip* Selama (0.2– 0.5 s) Tanpa Dilakukan Kompensasi STATCOM



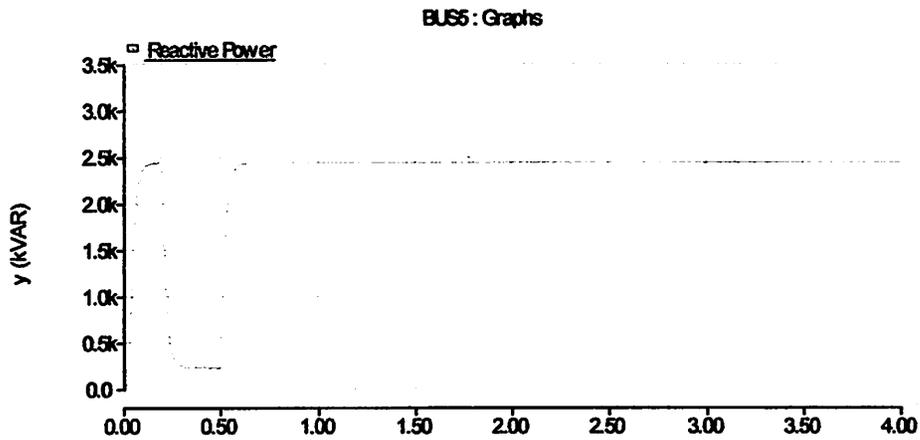
Grafik 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan

Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi voltage dip, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi penurunan tegangan/ voltage dip, selanjutnya tegangan kembali normal



Grafik 4.3 Bentuk Gelombang daya aktif

Bentuk gelombang daya aktif pada saat terjadi voltage dip, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi penurunan daya aktif, selanjutnya daya aktif kembali normal



Grafik 4.4 Bentuk Gelombang daya reaktif

Bentuk gelombang daya reaktif pada saat terjadi voltage dip, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi kenaikan daya reaktif, selanjutnya daya reaktif kembali normal

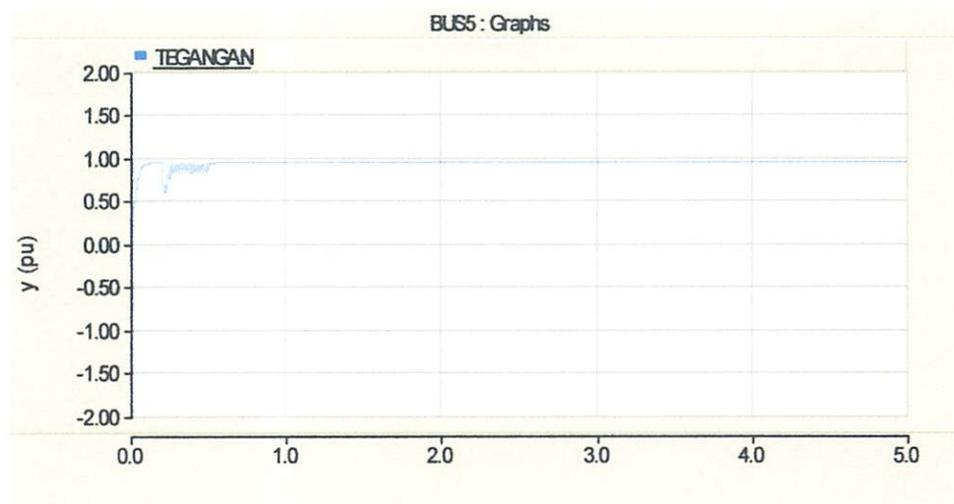
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Dip* Tanpa Kompensasi STATCOM

BUS	SEBELUM DIPASANG STATCOM		
	TEGANGAN ( pu )	P (kW)	Q (KVar)
BUS 1	0.908198336	238.0378983	1614.705076
BUS 2	0.937132111	248.9312285	1786.858399
BUS 3	0.919825048	237.2821254	1604.578173
BUS 4	0.908479429	196.4044005	1923.788631
BUS 5	0.911678298	198.6881729	1946.421435

Pada tiga kondisi gangguan di atas tampak bahwa tegangan dan daya mengalami penurunan dan kenaikan berdasarkan waktu simulasi gangguan. Pada keadaan *voltage sag* dalam selang waktu (0.2 – 0.5) s terjadi fluktuasi tegangan, sedangkan pada saat yang sama arus dan daya mengalami penurunan. Pada keadaan sistem mengalami *voltage dip* terjadi fluktuasi tegangan, sedangkan pada saat yang sama arus dan daya mengalami kenaikan

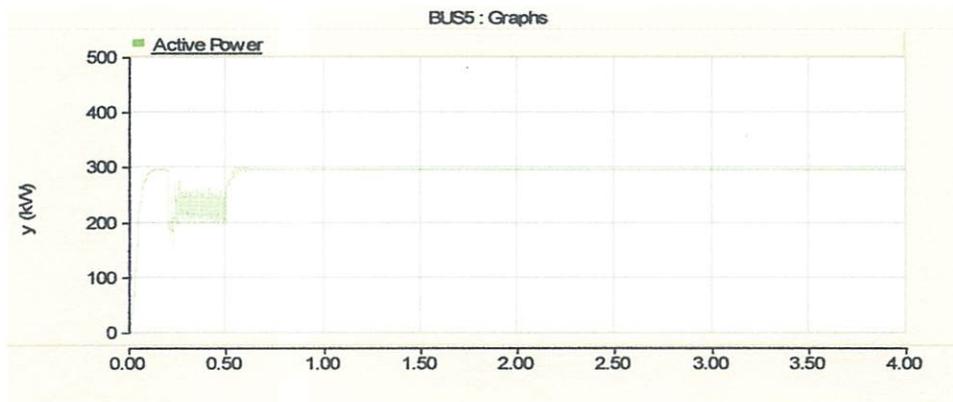
#### 4.4.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi

##### a. Kompensasi dengan STATCOM Saat Terjadi Gangguan *Voltage Sag* Selama (200-500 ms)



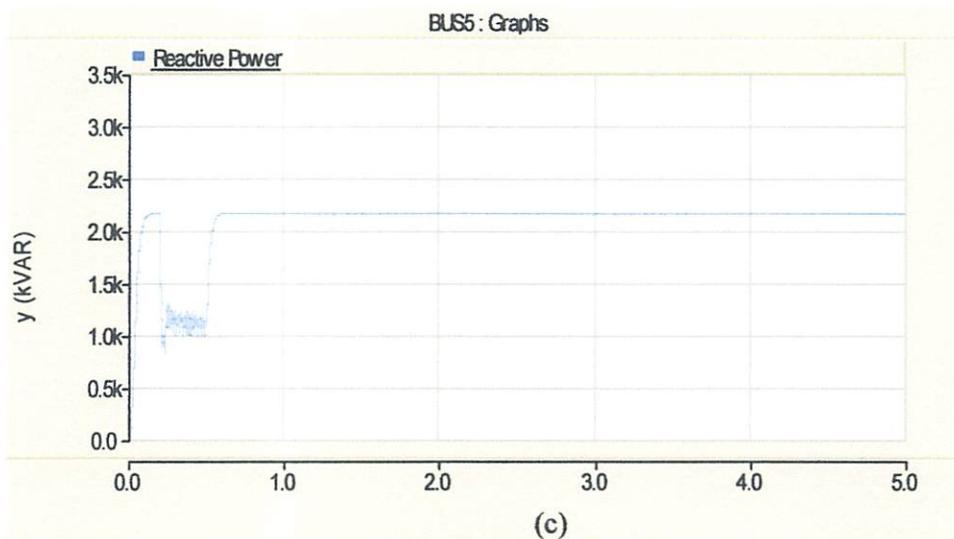
Grafik 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan

Bentuk gelombang tegangan pada saat terjadi *voltage dip*, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi perbaikan tegangan dengan pemasangan kompensasi Statcom selanjutnya tegangan kembali normal



Grafik 4.6 Bentuk Gelombang daya aktif

Bentuk gelombang daya aktif pada saat terjadi voltage dip, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi perbaikan daya aktif dengan pemasangan kompensasi Statcom selanjutnya daya aktif kembali normal



Grafik 4.7 Bentuk Gelombang daya reaktif

Bentuk gelombang daya reaktif tegangan pada saat terjadi voltage dip, dimana saat waktu (0.2 – 0.5) s terjadi penurunan daya reaktif dengan pemasangan kompensasi Statcom selanjutnya daya reaktif kembali normal

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Saat Terjadi *Voltage Dip* Setelah Kompensasi STATCOM

BUS	SESUDAH DIPASANG STATCOM		
	TEGANGAN ( pu )	P (kW)	Q (KVar)
BUS 1	0.953236494	267.2415955	1438.427609
BUS 2	0.970983231	272.6360733	1498.142556
BUS 3	0.965006819	267.8950879	1214.376931
BUS 4	0.956820598	257.6700495	1660.35403
BUS 5	0.973606923	260.1008993	1778.950743

Kadaan sistem jauh lebih stabil dengan menggunakan kompensasi STATCOM dibandingkan tanpa menggunakan STATCOM. Hal ini dapat diamati pada simulasi sistem dengan kondisi gangguan *voltage Dip*.

#### 4.4.3. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi dan Sesudah Kompensasi.

##### 4.4.3.1. Perbandingan Tegangan Daya Aktif Dan Daya Reaktif Sebelum Dan Sesudah Kompensasi STATCOM

Untuk mengetahui kerja STATCOM maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan *pada bus* dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi.

**Tabel 4.4. Perbandingan Tegangan Daya Aktif Dan Daya Reaktif Saat Gangguan *Voltage Dip* Sebelum Dan Sesudah Kompensasi Dengan Statcom**

BUS	SEBELUM DIPASANG STATCOM			SESUDAH DIPASANG STATCOM		
	TEGANGAN ( pu )	P (kW)	Q (KVar)	TEGANGAN ( pu )	P (kW)	Q (KVar)
BUS 1	0.908198338	238.0378983	1614.705076	0.953236494	267.2415955	1438.427609
BUS 2	0.937132111	248.9312285	1786.858399	0.970983231	272.6360733	1498.142556
BUS 3	0.919825048	237.2821254	1604.578173	0.965006819	267.8950879	1214.376931
BUS 4	0.908479429	196.4044005	1923.788631	0.956820598	257.6700495	1660.35403
BUS 5	0.911678298	198.6881729	1946.421435	0.973606923	260.1008993	1778.950743

Berdasarkan tabel 4.2, 4.3, 4.4 di atas bahwa penyaluran daya lebih optimal dengan menggunakan kompensasi STATCOM daripada tanpa kompensasi. Terlihat bahwa total penyaluran daya saat terjadi gangguan mengalami perbaikan pada saat menggunakan kompensasi STATCOM.

Rumusannya adalah sebagai berikut :

Nilai di Bus 5 dijadikan referensi karena merupakan Bus yang paling jauh dari sumber.

- **Optimasi Perbaikan Kualitas Tegangan Pada Kondisi *Voltage Dip* :**

$$\begin{aligned}
 V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{withSTATCOM}} - V_{\text{withoutSTATCOM}} \\
 &= 0.9736 \text{ (pu)} - 0.9116 \text{ (pu)} \\
 &= 0.062 \text{ (pu)} \text{ atau } 23.56 \text{ Volt.}
 \end{aligned}$$

Pada bus yang lain juga terjadi perbaikan kualitas tegangan, seperti yang terdapat pada tabel 4.3

- **Optimasi Penyaluran Daya Aktif Pada Kondisi *Voltage Dip*:**

$$\begin{aligned}
 P_{\text{optimasi}} &= \sum P_{\text{withSTATCOM}} - \sum P_{\text{withoutSTATCOM}} \\
 &= 260.1008 - 198.6881 \\
 &= 61.4127 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

- **Optimasi Penyaluran Daya Reaktif Pada Kondisi *Voltage Dip***

$$\begin{aligned}
 P_{\text{optimasi}} &= \sum P_{\text{withSTATCOM}} - \sum P_{\text{withoutSTATCOM}} \\
 &= 1778.9507 - 1946.4214 \\
 &= - 167.4707 \text{ KVar}
 \end{aligned}$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil analisa pemasangan *STATCOM* untuk kompensasi pada sistem kelistrikan di PT Industri Sandang Nusantara Unit Lawang, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Di ambil dari bus 5 sebagai referensi, saat *voltage dip* tegangan mengalami perbaikan sebesar 0.062 (pu) atau 23.56 Volt dari 0.9116 (pu) atau 346.408 Volt menjadi 0.9736 (pu) atau 369.968 Volt. Pada bus lain dapat dilihat pada tabel 4.4
2. Setelah kompensasi Penyaluran daya reaktif menurun dari 1946.4214 KVar menjadi 1778.9507 KVar
3. Pada saat *voltage dip* Setelah kompensasi Penyaluran daya aktif dapat di perbaiki sebesar 61.4127 kW dari 198.6881 kW menjadi 260.1008 kW

#### **5.2. Saran**

Untuk menganalisis *voltage Dip* jika memungkinkan sebaiknya dapat diperoleh data lapangan yang mencatat waktu terjadinya *voltage Dip* agar dapat diketahui karakteristik beban yang dipakai konsumen dengan melihat jatuh tegangan yang tercatat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hingorani, N. G., 1995. "*Introducing Custom Power*", IEEE Spectrum.32 (6): 41-48
- [2] 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.
- [3] Grebe, Thomas. "*Voltage Sag-RMS Magnitude*", Electrotec, IEEE, 2004.
- [4] Stevenson, William D, Jr, "*Analisis Sistem Tenaga Elektrik*" , Penerbit Erlangga edisi keempat, 1996.
- [5] Aredes, M. Heumann, K. and Watabe, E. H.1998, "*An Universal Active Power Line Conditioner*", IEEE Trans. on Power Delivery.13 (2): 545-551.
- [6] Woo, S. M, et al., 2001, "*The Distribution STATCOM for reducing the effect of Voltage Sag and Swell*". In Proceedings of the IEEE Industrial Electronics: 1132-1137. New York
- [7] William H. Hayt, Jr, Jack E. Kemmerly, "*Rangkaian Listrik*", Jilid 1 edisi 4 Penerbit Erlangga, 1996.
- [8] Hadi Saadat, "*Power System Analysis*", McGraw-Hill.

# LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

**PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI**

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1)  
yang diselenggarakan Pada :

Hari : Sabtu  
Tanggal : 21 Maret 2009

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : AGUSTINUS SATU
2. NIM : 03.12.075
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI  
TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM  
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD  
SIMULATION DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA  
UNIT LAWANG

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Keterangan
1	Abstraksi disempurnakan	b
2	Untuk grafik dan tabel pada bab 4 di beri penjelasan	b
3	Kesimpulan di perbaiki	b

**Anggota Penguji :**

**(Bambang Prio Hartono ST, MT)**  
NIP.Y. 1028400082

**Dosen Pembimbing I**

**(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)**  
NIP.Y. 1018800189

**Dosen Pembimbing II**

**(Ir. Eko Nurcahyo)**  
NIP.Y. 1028700172



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika / T. Infokom, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : Aartiney Satu  
NIM : 0512075  
Perbaikan meliputi :

- Abstrak di perbaiki

- Grafik 4.1 hal 46 - 4.2 di beri penjelasan.

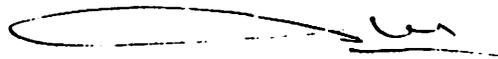
- ~~hal 46~~ 4.2, 4.3

- hal 52 di beri penjelasan

- Kesimpulan di perbaiki

- Untuk grafik dan tabel di beri penjelasan

Malang, 21 - 3 - 2009.

  
( \_\_\_\_\_ )



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Lampiran : Satu Lembar  
Perihal : **Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak / Ibu Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 03 12 075  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama/ Pendamping\*), untuk penyusunan Skripsi, dengan judul :

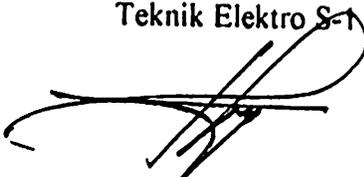
**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak / ibu kami ucapkan terimakasih.

Malang, Ncvember 2008

Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 1039500274

Hormat Kami

  
AGUSTINUS SATU  
NIM. 03 12 075

\*) coret yang tidak perlu

Form. S - 3a



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Lampiran : Satu Lembar  
Perihal : **Pembimbing Skripsi**

Kepada : Yth. Bapak / Ibu Ir. Eko Nurcahyo  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : AGUSTINIUS SATU  
Nim : 03 12 075  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik: Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama/ Pembimbing\*), untuk penyusunan Skripsi dengan judul :

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

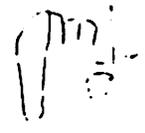
Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak / ibu kami ucapkan terimakasih.

Malang, November 2008

Hormat Kami

Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 1039500274

  
AGUSTINIUS SATU  
NIM. 03 12 075

\*) coret yang tidak perlu



## PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan dari Mahasiswa/i :

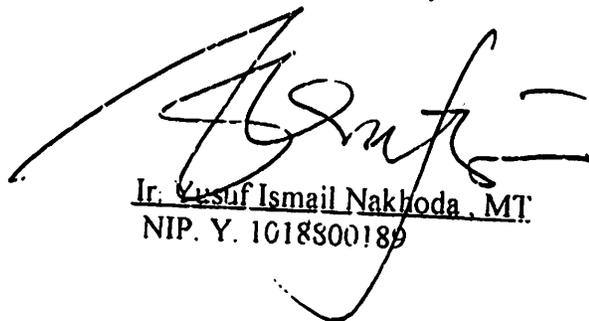
Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 03 12 075  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini saya menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) Membimbing Skripsi dari Mahasiswa tersebut, dengan judul :

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN  
RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD DI PT INDUSTRI  
SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

Demikian pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, November 2008  
Yang Membuat Pernyataan



Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP. Y. 1018300189

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini  
Diserahkan mahasiswa/I yang bersangkutan  
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.

\*) Coret yang tidak perlu



## PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan dari Mahasiswa/i :

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 03 12 075  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini saya menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) Membimbing Skripsi dari Mahasiswa tersebut, dengan judul :

**ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN  
RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD DI PT INDUSTRI  
SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG**

Demikian pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, November 2008  
Yang Membuat Pernyataan

Dr. Irfan Nurcahyo  
NIP. Y 1028700172

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini  
Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan  
Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut  
\*) Coret yang tidak perlu



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 02 Januari 2009

Nomor : ITN-587/ITPA/2/09  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Sdr. **IR. YUSUF ISMAIL NAKHODA, MT**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 0312075  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya  
kepada Saudara/i selama masa waktu (enam ) 6 bulan, terhitung mulai  
tanggal :

13 Desember 2008 s/d 13 Juni 2009

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan  
terima kasih



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT**  
Nip. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S 4a



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

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

Malang, 02 Januari 2009

Nomor : ITN-588/IT/A/2/09  
Lampiran : -  
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI

Kepada : Yth. Sdr. **IR. EKO NURCAHYO**  
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi  
Untuk Mahasiswa :

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 0312075  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya  
kepada Saudara/i selama masa waktu (enam) 6 bulan, terhitung mulai  
tanggal :

13 Desember 2008 s/d 13 Juni 2009

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan  
terima kasih



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, M.T.  
Nip. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S-4a



## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 03.12.075  
Masa Bimbingan : 13 DESEMBER 2008 s/d 13 JUNI 2009  
Judul Skripsi : ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA UNIT LAWANG

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	3 Januari 2009	Konsultasi Bab I, II, III, IV, Tata cara penulisan	
2	22 Januari 2009	Konsultasi Bab IV, Revisi analisa hasil	
3	27 Januari 2009	Konsultasi Bab V, Refisi kesimpulan	
4	1 Februari 2009	Acc bab I, II, III	
5	12 Februari 2009	Konsultasi Bab IV dan Bab V	
6	21 Februari 2009	Acc bab IV dan V, Konsultasi Jurnal	
7	28 Februari 2009	Acc Seminar Hasil	
8	13 Maret 2009	Konsultasi seluruh bab, Revisi tata cara penulisan rumus	
9	19 Maret 2009	Acc Ujian Skripsi	
10			

Malang,  
Dosen Pembimbing I

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP. Y. 1018800189



## FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : AGUSTINUS SATU  
Nim : 03.12.075  
Masa Bimbingan : 13 DESEMBER 2008 s/d 13 JUNI 2009  
Judul Skripsi : ANALISA VOLTAGE DIP PADA SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DENGAN PEMASANGAN STATCOM DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD SIMULATION DI PT INDUSTRI SANDANG NUSANTARA NUSANTARA UNIT LAWANG

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	5 Januari 2009	Konsultasi Bab I, II, III, IV, Tata cara penulisan	
2	20 Januari 2009	Konsultasi Bab IV, Revisi analisa hasil	
3	27 Januari 2009	Konsultasi Bab V, Revisi kesimpulan	
4	5 Februari 2009	Acc bab I, II, III	
5	17 Februari 2009	Konsultasi Bab IV dan Bab V	
6	21 Februari 2009	Acc bab IV dan V, Konsultasi Jurnal	
7	1 Maret 2009	Acc Seminar Hasil	
8	13 Maret 2009	Konsultasi seluruh bab	
9	19 Maret 2009	Acc Ujian Skripsi	
10			

Malang,  
Dosen Pembimbing II

**Ir. Eko Nurcahyo**  
NIP. Y. 1028700172

Form S-4b

Lawang, 11 Nopember 2008

Nomor : 673/17 - G/2008  
 Sifat : -  
 Lampiran : -  
 Perihal : Ijin Survey.

Kepada Yth :  
 Dekan  
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
 INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
 Jl. Raya Karanglo, Km 2  
 Malang

Memperhatikan surat Saudara No. ITN-172/III.TA-2/2/08 Tanggal 6 Nopember 2008 perihal Survey, maka dengan ini diberitahukan bahwa kami dapat menerima Mahasiswa Saudara sebagai berikut :

No.	N A M A	NIM	JURUSAN
1.	AGUSTINUS SATU	03.12.075	Teknik Electro

Dapat dilaksanakan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Dimulai pada tanggal 12 Nopember s/d 11 Desember 2008 waktu 07.30 s/d 11.30 Wib.
2. Harus mentaati peraturan perusahaan dan menunjukkan surat persetujuan ini kepada petugas SATPAM Perusahaan.
3. Berpakaian Atas Putih dan Bawah Hitam, Rapi dan Sopan (tidak diperkenankan memakai Kaos, Blue Jeans, dan atau memakai Sandal).
4. Perusahaan tidak menyediakan Fasilitas berbentuk apapun.
5. Sebelum laporan dijilid/dibendel konsepnya harus dikonsultasikan dengan pihak perusahaan.
6. Menyerahkan 1 (satu) buku hasil Survey ke Pihak Perusahaan.
7. Harus membawa surat persetujuan ini setiap pengambilan data dan atau konsultasi.

Demikian untuk menjadikan maklum.

General Manager,  
 Ub.  
  
**ARY SUPRIYATNO**  
 Patal Lawang  
 Manager Keuangan & Umum.



# Lembar Persembahan



**JANGANLAH MENAHAN KEBAIKAN DARI PADA ORANG-ORANG  
YANG BERHAK MENERIMANYA, PADAHAL ENKKAU MAMPU  
MELAKUKANNYA.**

**(Amsal 3 : 27)**

pertama-tama ku ucapkan Terimakasih Tuhan, My Lord and my beloved Father "Jesus Christ". Puji syukur atas segala berkat dan anugerah yang telah Engkau curahkan disepanjang hidupku

Terima kasih buat kedua orang tuaku atas segala dukungan moril, materil dan Do'a serta kasih sayang yang begitu tulus yang telah kalian berikan.

Kakak mustofa dan keluarga, mudah-mudahan tidak pernah bosan mendengar keluhan saya, saya minta maaf kalo selama ini sering buat kakak mus dan sering kali merepotkan. Terimakasih kakak, berkat nasihat dan bimbingan dari kakak saya bisa menjadi pribadi yang lebih dewasa.

Buat dosen pembimbingku yang kuhormati, Pak Yusuf & Pak Eko Nurcahyo terimakasih atas Bimbingan skripsinya, terimakasih juga kepada bu Pudji, Mas Jayeng, pak Yudi, sorry udah ngerepotin.

Spesial To Ngawe atas semua dorongan, semangat dan pengertiannya yang tak henti-hentinya, dan kasih sayang yang tak terbatas.

For all of my charles praja...thank's bro dah memberi motivasinya, sering curhat, kapan nih bro kita ngopi bareng lagi, sory bro dah merepotin selama ini. Nanda ali... thank's bro u memang u merupakan temen cocok buat sharing. Roki kristian..patner satu bimbingan, Septian..patner satu bimbingan, Aap, Fajri, Fitri, kae Kosmas, Halim, teman2 seperjuangan khususnya ST 03, anak-anak lab SSTE dan masih banyak lagi yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Thank's bro, atas segala saran dan dukungannya baik secara langsung maupun tidak langsung.

