

# **SKRIPSI**

## **ANALISA PEMASANGAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC)* UNTUK MEMPERBAIKI GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION* DI G.I SITUBONDO**



**Disusun Oleh :**

**Rizal Maulana**

**NIM : 98.12.153**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
MARET 2010**

INTERNAL SECURITY  
NATIONAL DEFENSE INFORMATION SERVICE  
EXECUTIVE SECRETARIAT  
COMMUNICATIONS SECTION  
WASHINGTON, DISTRICT OF COLUMBIA

DATE: 02/13/52

SECRET

CLASSIFICATION:

ALL INFORMATION CONTAINED  
HEREIN IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN  
OTHERWISE (U.S.C. 1352) AND IS AVAILABLE TO THE  
PUBLIC THROUGH NATIONAL DEFENSE INFORMATION SERVICE

SECRET

## LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PEMASANGAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER  
CONDITIONER (UCPC)* UNTUK MEMPERBAIKI GANGGUAN  
VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER  
SIMULATION* DI G.I SITUBONDO**

### SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Energi Listrik Strata Satu (S-1)*

**Disusun Oleh :**

**RIZAL MAULANA**

**NIM : 9812153**

**Diperiksa dan Disetujui,**

**Dosen Pembimbing Skripsi**



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

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**



**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.**  
**NIP.Y.103.9500.274**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2010**



**ANALISA PEMASANGAN  
UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC)  
UNTUK MEMPERBAIKI GANGGUAN VOLTAGE SAG  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION  
DI G.I SITUBONDO**

**Rizal Maulana**

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
E-mail:chaplin\_the\_baby@yahoo.co.id

**Abstrak**

Sistem tenaga listrik memiliki empat unsur utama yaitu; pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban atau disebut juga sebagai pengguna tenaga listrik. Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dan mutu tegangan dalam penyaluran energi listrik. Peningkatan efisiensi dan mutu tersebut dapat dimulai dari pembangkitan, transmisi dan distribusi, pada sisi distribusi, pengurangan terjadinya *voltage sag* pada saluran dan memberikan tingkat tegangan yang aman bagi peralatan pelanggan.

Pusat-pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang. Sehingga dalam penyaluran daya listrik melalui transmisi maupun distribusi akan mengalami tegangan jatuh (*drop voltage*) sepanjang saluran yang dilalui.

PSCAD/EMTDC adalah perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi. Pada penelitian ini penulis membahas performa UCPC dengan adanya *Voltage sag* yang terjadi pada saluran distribusi, UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER digunakan bertujuan untuk memperbaiki profil tegangan. Dari hasil simulasi pada GI Situbondo dengan Pemasangan UCPC dalam penelitian pada saat terjadi *voltage sag* sebesar 0.61013 (pu) terbukti mampu memperbaiki profil tegangan sampai beban yang paling jauh sebesar 0.3425 (pu) ke 0.9527 (pu), Dan karena tegangan naik maka daya aktif naik dari  $8.36 \cdot 10^{-7}$  kW menjadi 58.4530 kW.

**Kata kunci:** DC, AC, transmission system, FACTS, voltage sag.



## **KATA PENGANTAR**

Dengan mengucapkan syukur kehadiran TUHAN YME yang telah memberikan petunjuk, berkah dan rahmat-Nya, dan juga yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

**ANALISA PEMASANGAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER*  
*CONDITIONER (UCPC)* UNTUK MEMPERBAIKI GANGGUAN  
VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER*  
*SIMULATION* DI G.I SITUBONDO**

Pembuatan skripsi ini disusun guna memenuhi syarat akhir kelulusan pendidikan jenjang Strata Satu (S-1) di Institut Teknologi Nasional Malang. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan baik moril maupun materiil, saran dan dorongan semangat dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapakku Bpk. H. Atho' Al Ghani dan Ibuku Ibu Hj. Rumini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku rektor ITN Malang
3. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
4. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Bapak Ir. Choirul Saleh, MT. selaku Dosen Pembimbing.
6. Teman-teman dan sahabat yang banyak memberikan bantuan, motivasi dan kebersamaan.

7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak yang perlu disempurnakan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, penulis mohon maaf kepada semua pihak bilamana selama penyusunan skripsi ini penyusun membuat kesalahan secara tidak sengaja dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAKSI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</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.....	2
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 Sag</i> .....	14
2.4.3.1.	Penyebab <i>Voltage Sag</i> .....	16
2.5	Peralatan Elektronika Daya .....	17
2.5.1.	<i>Transistor Bipolar</i> .....	17
2.5.2.	<i>Metal Oxide Semiconductor FET (MOSFET)</i> .....	17
2.5.3.	<i>Insulate Gate Bipolar Transistor (IGBT)</i> .....	18
2.5.4.	Perbandingan Umum Antara Kinerja MOSFET dan IGBT .....	19
2.6.	Peralatan Kompensasi Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	23
2.6.1.	<i>Static VAR Compensator (SVC)</i> .....	23
2.6.2.	<i>NGH – Sub Synchronous Resonance (SSR)</i> .....	24
2.6.3.	<i>Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)</i> .....	25
2.6.4.	<i>Static Condenser (STATCON)</i> .....	26
2.6.5.	<i>Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)</i> .....	38
2.6.6.	<i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i> .....	29
2.7.7.	<i>Universal Custom Power Condotioner (UCPC)</i> .....	30



<b>BAB III PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN</b>	
<b><i>UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC)</i></b> .....	<b>32</b>
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. <i>Sistem Pengendalian PWM Sinusoidal</i> .....	35
3.3.1. <i>PWM Sinusoida</i> .....	35
3.3.2. <i>Aksi Konntrol PWM Sinusoida Terhadap DVR dan STATCOM</i> .....	36
3.4. <i>Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)</i> .....	37
3.4.1. <i>Umum</i> .....	37
3.4.2. <i>Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses</i> .....	40
3.4.3. <i>Prinsip Kerja Pengendali</i> .....	40
3.4.4. <i>Pengendali Proporsional (<i>Proporsional Controller</i>)</i> .....	41
3.4.5. <i>Pengendali Integral (<i>Integrator Controller</i>)</i> .....	44
3.4.6. <i>Pengendali Proporsional Integral (<i>PI Controller</i>)</i> .....	45
3.5. <i>Kompensasi UCPC Pada Sistem Distribusi 20 kV</i> .....	46
3.5.1. <i>Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi UCPC</i> .....	46
3.5.2. <i>Sistem Distribusi Dengan Kompensasi UCPC</i> .....	47
3.6. <i>Flowchart</i> .....	49
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL</b> .....	<b>50</b>
4.1. <i>Single Line sistem GI. SITUBONDO</i> .....	50
4.2. <i>Data Penyaluran dan Pembebanan dari GI.SITUBONDO</i> .....	51
4.2.1. <i>Data Saluran GI.SITUBONDO</i> .....	51
4.2.2. <i>Data Pembebanan GI.SITUBONDO</i> .....	52

4.2.3. Data Aliran Daya.....	53
<b>4.3. SOLUSI Perbaikan Profil Tegangan dengan <i>Software PSCAD/EMTDC</i></b>	
<i>V.4.2 Power Simulation</i> .....	54
<b>4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Profil Tegangan Dengan UCPC .....</b>	<b>54</b>
4.4.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Pemasangan UCPC .....	54
4.4.1.1. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan .....	54
4.4.1.2. Sistem Setelah Mengalami Gangguan.....	55
4.4.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah kompensasi.....	56
4.4.3. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Dan	
Sesudah di pasang UCPC.....	57
4.4.3.1. Perbandingan Tegangan, Arus Beban Dengan dan	
Tanpa UCPC .....	57
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
5.1. Kesimpulan.....	59
5.2. Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</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 dipasok 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 Sag</i> .....	15
Gambar 2.8	Ilustrasi <i>Voltage Sag</i> .....	16
Gambar 2.9	Gambaran Terjadinya <i>Voltage Sag</i> .....	17
Gambar 2.10	Tegangan Drop Kondisi Menyambung Untuk Sebuah MOSFET dan IGBT .....	23
Gambar 2.11	<i>Static VAR Compensator</i> .....	24
Gambar 2.12	NGH – <i>Sub Synchronous Resoance</i> .....	25
Gambar 2.13	<i>Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)</i> .....	26
Gambar 2.14	<i>Static Condenser (STATCON)</i> .....	27
Gambar 2.15	<i>Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)</i> .....	28
Gambar 2.16	<i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i> .....	30
Gambar 2.19	Diagram Blok Fungsional dari UCPC.....	31
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> GI Dalam <i>PSCAD</i> .....	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 .....	46
Gambar 3.10	Hubungan Input-Output Pengendali PI Dalam Fungsi Waktu .....	46
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> .....	49
Gambar 4.1	<i>Single Line</i> GI.SITUBONDO .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Tiga Piranti Penyaklar Daya Untuk Kemampuan Yang Setara .....	19
Tabel 2.2	Perbandingan Karakteristik Piranti Penyaklar Daya.....	20
Tabel 2.3	Perbandingan Tegangan Drop dan Rating Tegangan antara IGBT dan MOSFET .....	21
Tabel 4.1	Data Saluran G.I. SITUBONDO.....	51
Tabel 4.2	Data Pembebanan G.I. SITUBONDO.....	52
Tabel 4.3	Data Aliran Daya G.I. SITUBONDO .....	53
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> Tanpa UCPC.....	55
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> setelah kompensasi UCPC .....	56
Tabel 4.6	Hasil Perbandingan Tegangan Saat Gangguan <i>Voltage Sag</i> Dengan UCPC dan Tanpa UCPC.....	57

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Bentuk Gelombang Tegangan.....	54
Grafik 4.2 (a)	Bentuk Gelombang Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> TANPA UCPC .....	55
Grafik 4.2 (b)	Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Daya Reaktif Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> TANPA UCPC.....	55
Grafik 4.3 (a)	Bentuk Gelombang Tegangan Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> Dengan UCPC .....	56
Grafik 4.3 (b)	Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Daya Reaktif Saat Terjadi <i>Voltage Sag</i> Dengan UCPC.....	56



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem tipikal tenaga listrik memiliki empat unsur utama yaitu; pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban atau disebut juga sebagai pengguna tenaga listrik. Perkembangan sistem kelistrikan saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dan mutu tegangan dalam penyaluran energi listrik. Peningkatan efisiensi dan mutu tersebut dapat dimulai dari pembangkitan, transmisi dan distribusi, pada sisi distribusi, perbaikan *voltage sag* pada saluran dan memberikan tingkat tegangan yang aman bagi peralatan pelanggan.

Besarnya tegangan yang diterima oleh konsumen listrik tidaklah sama, hal ini terjadi karena adanya impedansi dari jaringan. Oleh karena itu, *voltage sag* selalu ada pada setiap bagian dari sistem tenaga, mulai dari sumber sampai ke pelanggan. *voltage sag* berbanding lurus dengan besarnya arus dan sudut phasanya, yaitu arus yang mengalir di seluruh sistem tenaga. Dengan pemasangan UCPC pada sistem maka tegangan pengiriman dapat dikontrol secara otomatis sesuai dengan tegangan yang di harapkan. Oleh karena itu, pada titik terjauh beban penerimaan tidak akan mengalami terlalu banyak penurunan tegangan.

Makalah ini menganalisa pengontrolan tegangan pada jaringan 20 kV menggunakan UCPC. Sehingga besarnya tegangan yang diterima di sisi sending dapat dioptimalkan kualitasnya yang akhirnya dapat memperbaiki faktor daya sehingga rugi-rugi saluran dapat dikurangi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pusat-pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang. Sehingga dalam penyaluran daya listrik melalui transmisi maupun distribusi akan mengalami *voltage sag* sepanjang saluran yang dilalui. Bagaimana solusi yang dilakukan untuk memperbaiki *voltage sag*?

Dari permasalahan di atas maka makalah ini berjudul:

**“ANALISA PEMASANGAN  
UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC)  
UNTUK MEMPERBAIKI GANGGUAN VOLTAGE SAG  
MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION  
DI G.I SITUBONDO”**

## **1.3 Tujuan**

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka skripsi ini bertujuan untuk memperbaiki *voltage sag* suatu sistem tenaga listrik dengan menggunakan *Universal Custom Power Conditioner (UCPC)*.

## **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 G.I Situbondo, PT. PLN (PERSERO).
3. Diasumsikan UCPC dipasang sebelum beban.
4. Membahas desain sistem
5. Tidak membahas harmonis

### **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.4.2 *Power Simulation*.
  - Analisa aliran daya aktif dan reaktif
  - Analisa profil tegangan dan arus pada sistem.
  - Analisa impedansi
  - Analisa sudut fasa
4. Mengambil kesimpulan dari perbandingan sistem yang menggunakan alat kompensasi UCPC dengan tanpa menggunakan UCPC.

## **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 transmisi tenaga listrik secara umum dan pengaruh pemasangan alat kompensasi untuk memperbaiki kualitas tegangan

### **BAB III : PERBAIKAN KUALITAS TEGANGAN DENGAN UCPC**

Berisi penguraian tentang perbandingan kualitas daya sistem yang menggunakan alat kompensasi UCPC dengan tanpa menggunakan kompensasi UCPC.

### **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**

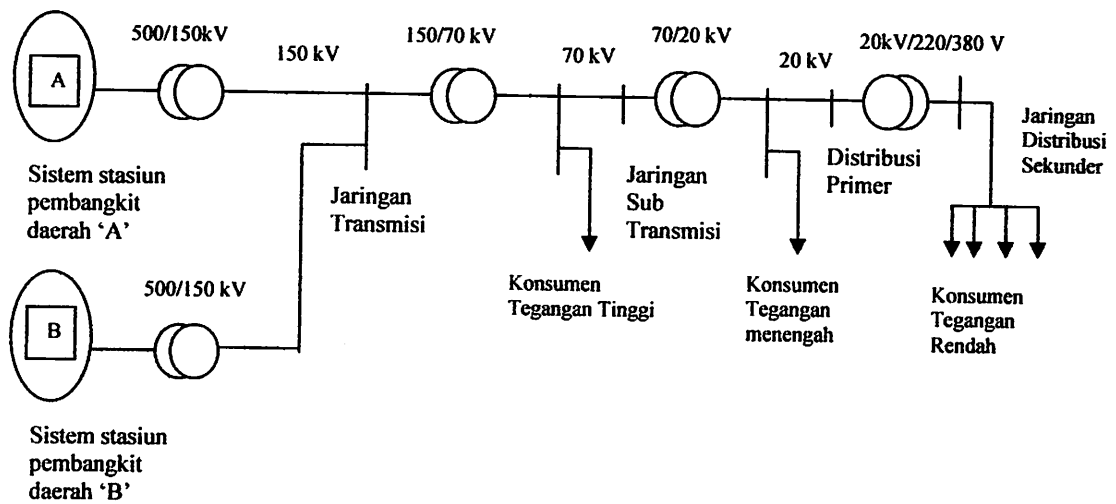
Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

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.

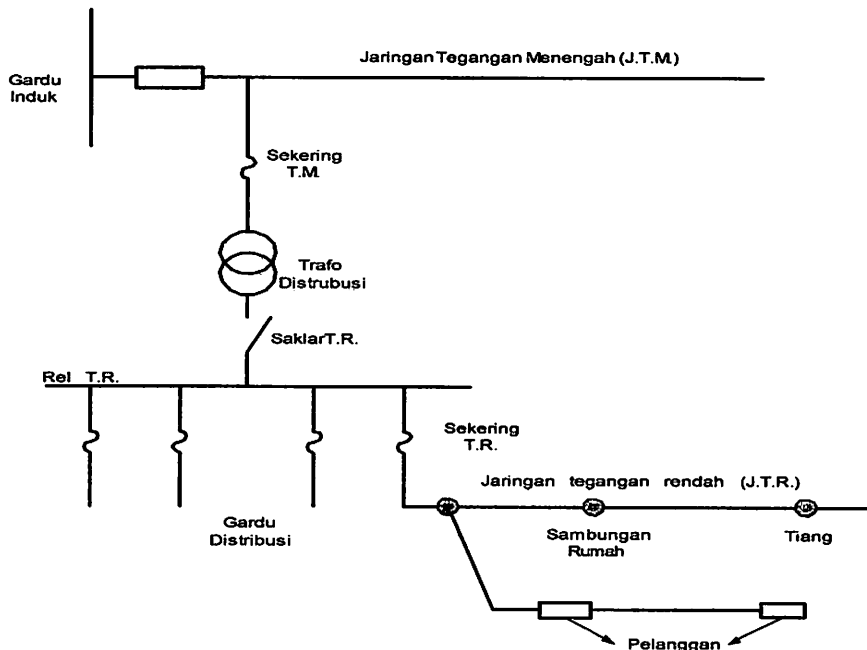
### 2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Dalam rangka mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada masa tertentu, maka struktur jaringan harus dieprtimbangkan 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

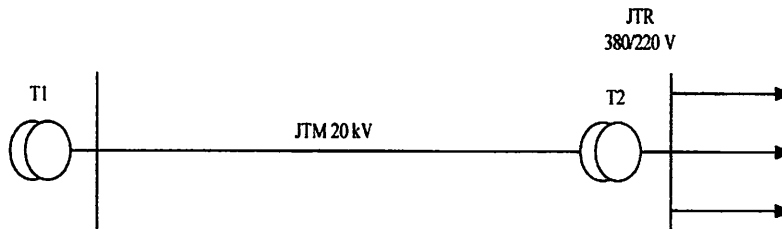
### 2.3.2. Sistem Distribusi Sekunder

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).

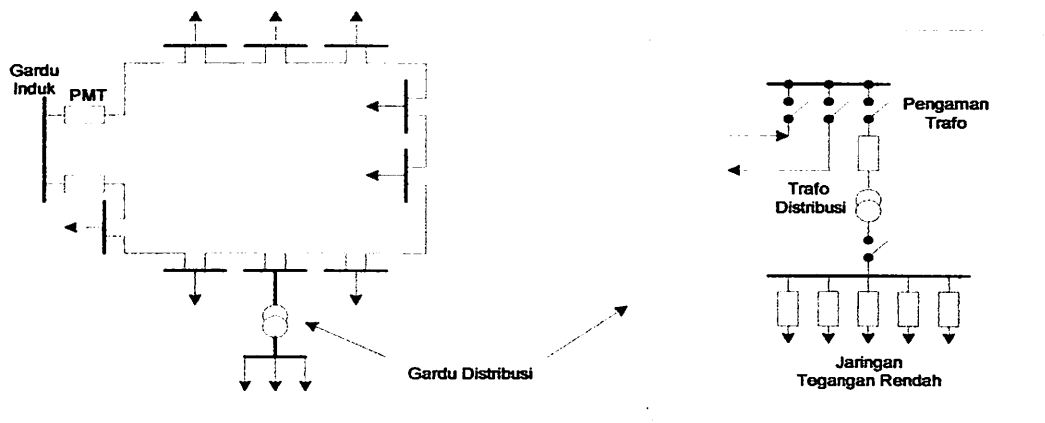


**Gambar 2.3**  
**Bentuk Sederhana dari Sistem Distribusi Radial**

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)**

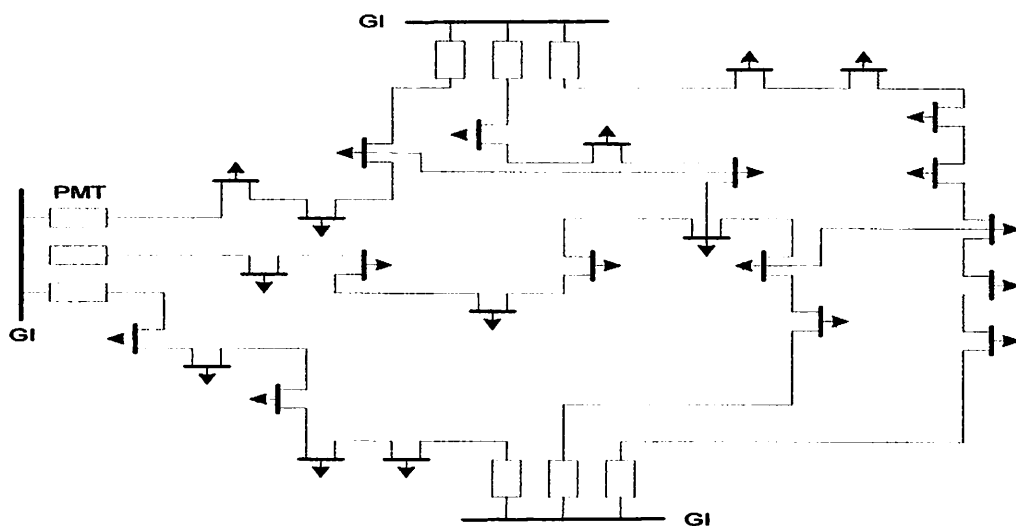
Struktur jaringan loop merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial. Dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (CB) atau pemisah (DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak 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 alternative 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/tarif listrik, maka tuntutan efisiensi dalam pemakaian daya listrik menjadi pertimbangan utama. Efisiensi penggunaan daya listrik dipengaruhi banyak faktor, diantaranya adalah sangat bergantung pada kualitas daya listrik. Kualitas daya listrik sangat dipengaruhi oleh penggunaan jenis-jenis beban tertentu yang mengakibatkan turunnya efisiensi salah satunya pemakaian beban non linier seperti: konverter dengan adanya pengoperasian peralatan seperti ini maka akan menghasilkan harmonisa yang 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 adanya harmonisa yang dihasilkan, contohnya dengan menggunakan alat kompensasi UCPC. Sehingga kerugian serta gangguan 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

- Gangguan satu saluran terbuka
- Gangguan dua saluran terbuka
- Impedansi seri tak seimbang

c. Gangguan simultan, merupakan dua jenis gangguan yang terjadi pada waktu yang bersamaan, berupa:

- Gangguan shunt dengan gangguan shunt
- Gangguan shunt dengan gangguan seri
- 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 phasa 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 :

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

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*)**

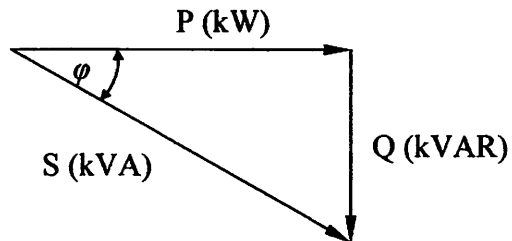
Daya semu merupakan penjumlahan secara vektoris antara daya aktif dan daya reaktif.

➤ **Power Factor**

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

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata(kW)}}{\text{Daya Semu(kVA)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

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:

$$\cos \varphi = \text{Faktor Daya}$$

$$P = \text{Daya Nyata (kW)}$$

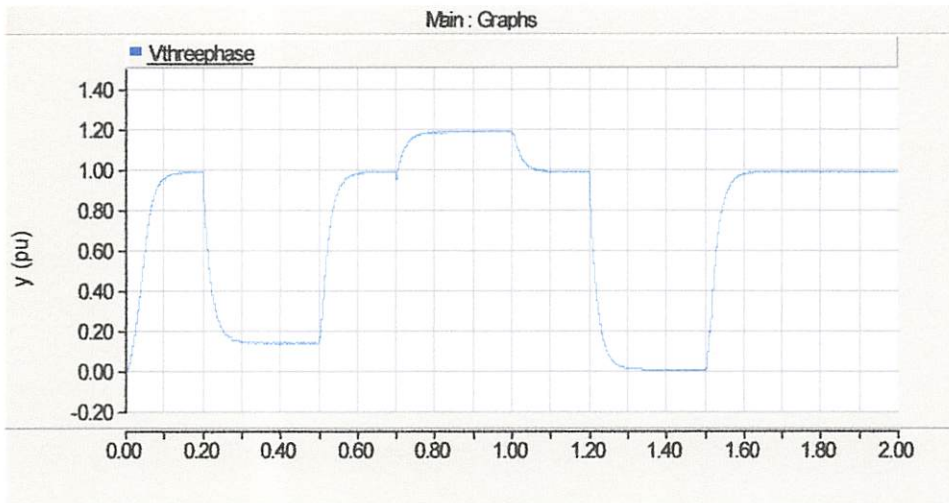
$$S = \text{Daya Semu (kVA)}$$

$$Q = \text{Daya Reaktif (kVAR)}$$

### 2.4.3. Voltage Sag

Kebutuhan akan energi listrik yang terus berkembang menghendaki suatu kontinuitas pencatutan dan juga memerlukan kualitas dari bentuk tegangannya. Gangguan terhadap tegangan yang biasa terjadi antara lain, *Voltage Sag*, *Voltage*

*Swell*, fluktuasi tegangan, harmonisa, dan juga ketidakseimbangan tegangan. Gangguan yang sangat berpengaruh pada kualitas tegangan adalah *Voltage Sag* dan *Voltage Swell*.

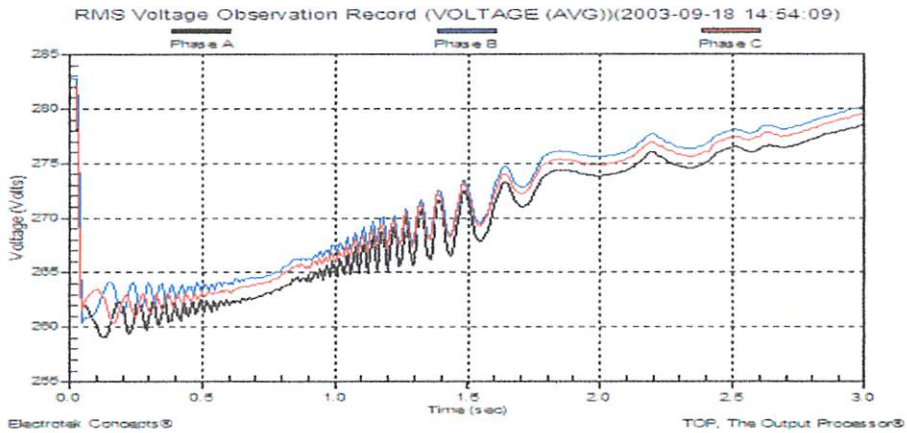


Gambar 2.7  
Ilustrasi *Voltage Sag*

#### 2.4.3.1. Penyebab *Voltage Sag*

*Voltage Sag* atau *Voltage Dip* 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 Sag*

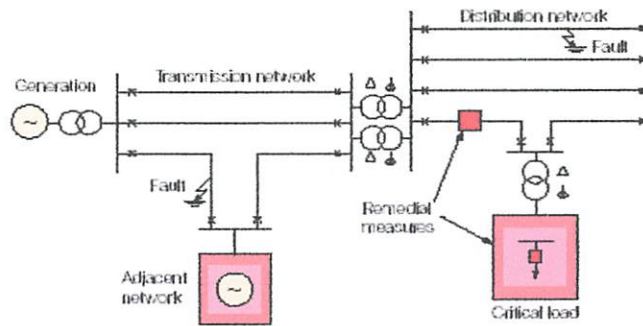
Gambar di atas menunjukkan suatu besaran rms *voltage sag* untuk suatu peristiwa *motor starting*. Peristiwa ini direkam dengan *Dranetz-BMI 5530 DataNode* [4].

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 Sag* akibat *fault* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9  
Gambaran terjadinya *voltage sag*

## 2.5. Peralatan Elektronika Daya dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik

### 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 penyakelar 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 (arus keluaran dibagi oleh  $h_{FE}$ ), 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/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 penyakelar MOSFET dan IGBT secara singkat dinyatakan dalam Tabel 1. Untuk tujuan komparasi, Tabel 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 1 tersebut ditranslasikan ke dalam besaran resistansi kolektor-emitor dalam kondisi menyambung ( $R_{on}$ ).

Tabel 2.1.  
Perbandingan tiga piranti penyakelar 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 penyakelarnya. 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 (arus keluaran dibagi oleh  $h_{FE}$ ), 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 penyakelarnya. Sementara itu  $V_{CE}$  saturasinya naik berturut-turut untuk masing-masing tipe tersebut menjadi; 1.3, 1.5 dan 1.9 Volt.

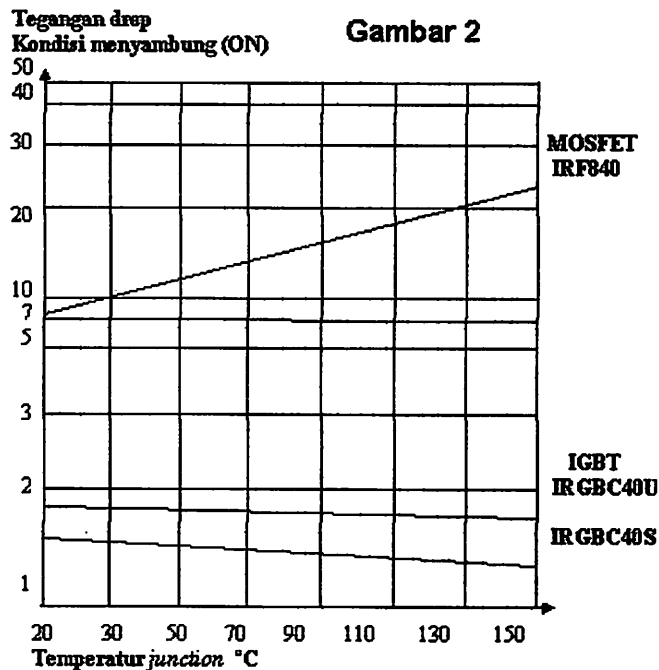
Parameter terakhir dalam Tabel 2.2 tersebut adalah rugi penyakelaran (*switching losses*), yang mencerminkan kecepatan penyakelaran dari ketiga piranti elektronik tersebut. Untuk MOSFET, baik transisi saat menyambung (*turn-on*) dan memutus (*turn-off*) sangat cepat. Sedang untuk IGBT, kita dihadapkan 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 3.1  
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 3.1 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 2.11. 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.



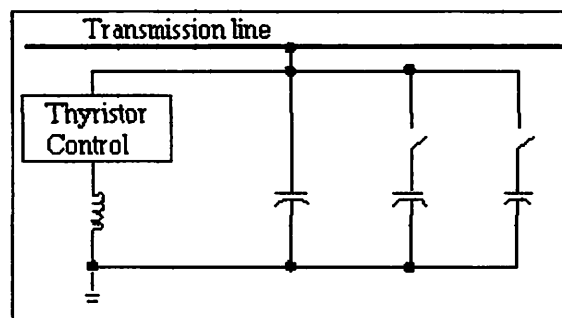
Gambar 2.10  
Tegangan drop dalam kondisi menyambung  
untuk sebuah MOSFET dan dua IGBT

## 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 sistem

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 2.12 menunjukkan contoh dari topologi SVC.

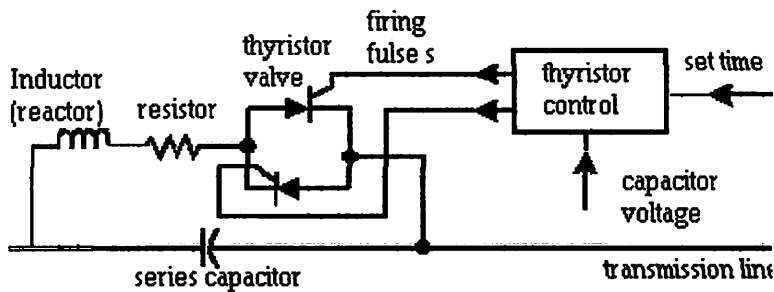


Gambar 2.11  
*Static VAR Compensator*

### 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 2.13 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).

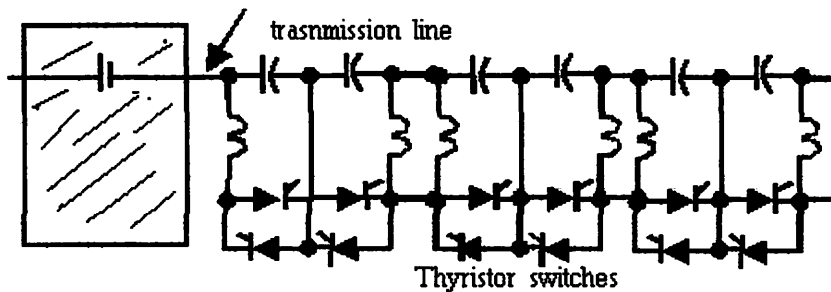


Gambar 2.12  
NGH - *SubSynchronous Resonance*

### 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 kenaikan impedansi pada transmisi yang sama. Gambar 2.14 menunjukkan contoh dari TCSC yang telah dipasang pada jaringan transmisi 500kV milik Bonneville Power

Administration (BPA) di negara 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 sistem jaringan transmisi tersebut. Hal ini yang mengakibatkan pemasangan TCSC, menurut studi kasus pada jaringan transmisi tersebut, akan memberikan keuntungan sebesar kurang lebih \$68 juta US dolar setiap tahunnya.



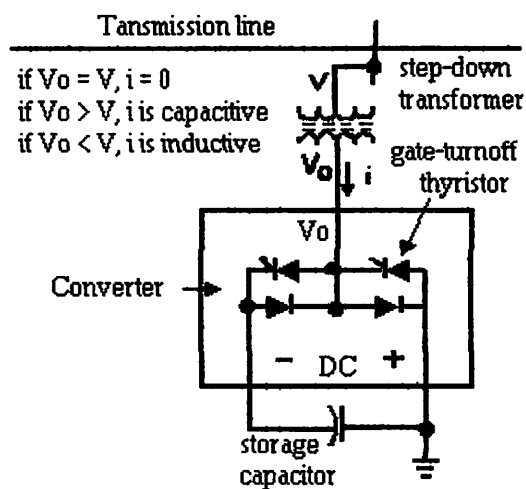
Gambar 2.13  
*Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*

#### 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



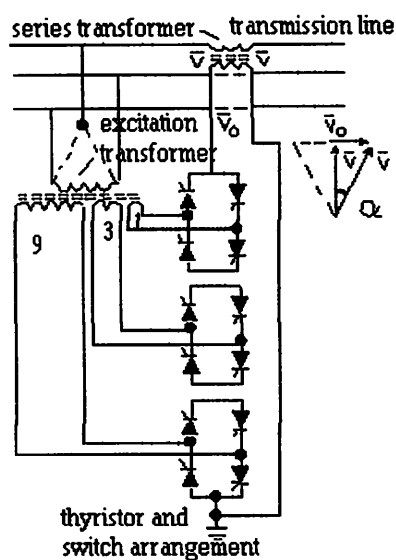
dihasilkan oleh tegangan satu arah (dc) dari kapasitor seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2.15. Pada gambar tersebut, jika tegangan  $V_0$  lebih tinggi (atau lebih rendah) dari pada tegangan sistim transmisi  $V$ , maka selisih sudut fasa dari kedua tegangan tersebut akan menentukan jumlah arus 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 2.14  
 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 2.16 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.

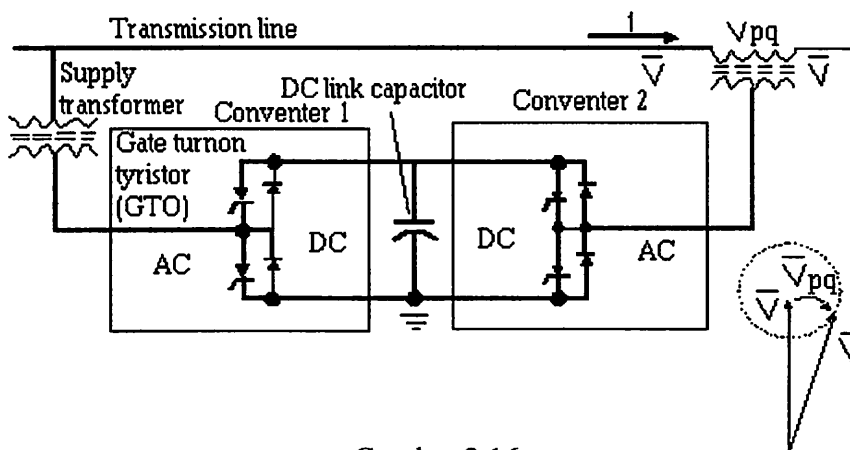


Gambar 2.15  
*Thyristor Controlled Phase angle Regulator (TCPR)*

#### **2.6.6. Unified Power Flow Controller (UPFC)**

Alat selanjutnya adalah konsep lain dari pengaturan selisih sudut fasa seperti pada TCPR. Alat ini diberi nama *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang mana perancangannya berbasis inverter dengan menggunakan thyristor. Sebagaimana diilustrasikan pada gambar 2.17, pada UPFC, vektor tegangan  $V_{pq}$  yang dihasilkan oleh inverter disuntikkan secara seri ke jaringan transmisi. Tegangan searah (dc) yang digunakan inverter ini didapatkan dari hasil penyearah (*rectification*) tegangan dari transmisi yang sama. UPFC merupakan alat kendali daya aktif dan daya reaktif secara terpisah pada transmisi listrik dan dapat dipasang pada ujung pengirim maupun penerima daya. Lebih penting lagi, UPFC juga merupakan alat pengendali daya yang sangat fleksibel karena dapat menggunakan salah satu ataupun kombinasi parameter dasar dari sistem aliran daya yaitu tegangan transmisi, impedansi transmisi, dan selisih sudut fasa transmisi. Hal ini merupakan suatu keuntungan karena dengan pemasangan satu UPFC yang dapat mengendalikan ketiga parameter tersebut, maka tidak hanya sistem jaringan transmisi akan menjadi lebih baik, tetapi juga akan menjadi lebih murah dan mudah dalam pemeliharaan dan pengoperasiannya. Dengan kata lain, pemasangan satu UPFC akan sama halnya dengan pemasangan alat TCSC, STATCON dan TCPR secara bersamaan. Studi kasus terhadap UPFC, baik itu dalam skala besar maupun kecil telah berhasil dilaksanakan. Sebagai contoh, 1060 MVA UPFC telah dipasang pada jaringan transmisi 500kV yang menghubungkan kota Phoenix (negara bagian Arizona) dengan kota Las Vegas (negara bagian Nevada) dan kota Los Angeles (negara bagian California). Gangguan tiga fasa pada satu titik di jaringan tersebut disimulasikan untuk menginvestigasi reaksi UPFC dan peralatan

konvensional. Hasil simulasi menunjukkan UPFC memberikan reaksi lebih stabil dibandingkan dengan reaksi peralatan konvensional. Tegangan dari transmisi menunjukkan lebih kurang osilasinya dengan menggunakan UPFC dibandingkan pemasangan peralatan lama. Dengan demikian, UPFC merupakan alat yang dapat diandalkan untuk pengendalian aliran daya listrik dengan sekaligus menjaga kestabilan sistem jaringan transmisi itu sendiri.

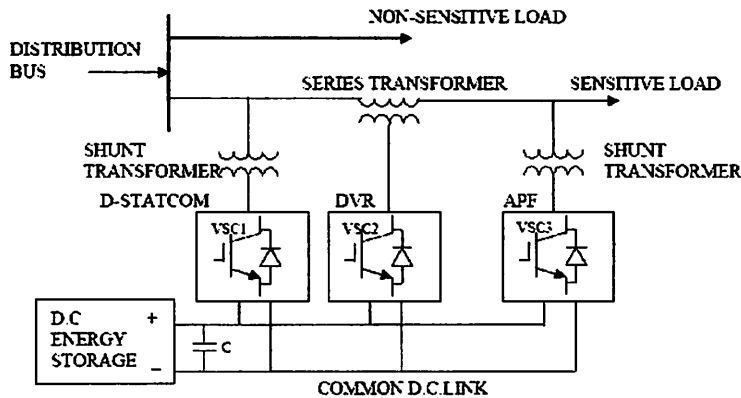


Gambar 2.16  
Unified Power Flow Controller (UPFC)

### 2.6.7. Universal Custom Power Conditioner (UCPC)

Alat UCPC memiliki kesamaan konstruksi dengan *unified power flow controller* (UPFC). UPFC memberikan pengaturan kompensasi shunt dan atau seri. Suatu sistem distribusi tenaga mengandung ketidakseimbangan, penyimpangan dan komponen DC. Suatu UCPC harus beroperasi dengan semua aspek ini untuk memberikan kompensasi shunt atau seri, peningkatan kualitas suplai daya dan keandalan sistem tenaga. Ini merupakan suatu kombinasi DSTATCOM, DVR dan APF. Topologi utama UCPC yaitu mempunyai satu unit penyimpanan energi DC dan tiga sumber tegangan konverter dihubungkan dengan jaringan DC. Sistem yang ditawarkan tidak hanya beroperasi sebagai D-Statcom

Atau DVR atau APF, tetapi bertindak sebagai suatu pengatur kualitas daya yang lengkap. Komponen seri Rangkaian UCPC terpasang tegangan agar memelihara keseimbangan dan distorsi tegangan bebas pada terminal beban.



Gambar 2.17  
Diagram Blok Fungsional dari UCPC

Secara simultan, komponen shunt UCPC menginjeksi arus dalam sistem AC seperti arus yang memasuki bus dimana UCPC dihubungkan adalah sinusoidal seimbang.

Sasaran hasil Keduanya harus memenuhi masing-masing keseimbangan dan distorsi di dalam salah satu sumber atau sisi beban. Tiga konverter Sumber tegangan digunakan untuk mensuplai tegangan rangkaian, injeksi arus shunt dan penyangkal daya aktif. Konverter Sumber Tegangan 1 pada gambar 2.18 digunakan untuk menyediakan kebutuhan tegangan DC Konverter 2. Konverter 3 digunakan sebagai suatu filter daya aktif untuk memberikan suatu impedansi rendah dan kendali faktor daya beban yang tidak linier tersebut. UCPC dirancang untuk menyediakan daya yang bersih dan tidak terganggu oleh tegangan beban sensitif.

## **BAB III**

### **PERBAIKAN KUALITAS DAYA MENGGUNAKAN *UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC)***

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

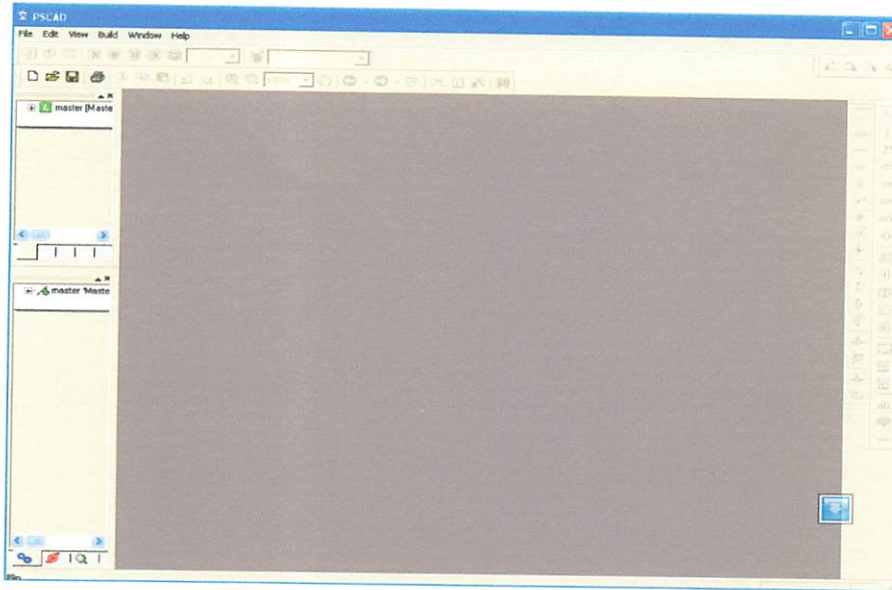
*PSCAD (Power System CAD)* adalah *graphical user interface* yang sangat baik dan fleksibel. *PSCAD* memungkinkan pengguna menggambar mengkonstruksi sebuah rangkaian, menjalankan sebuah simulasi, analisa hasil dan manajemen data terintegrasi secara lengkap. Penggambaran, pengontrolan dan pengukuran juga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

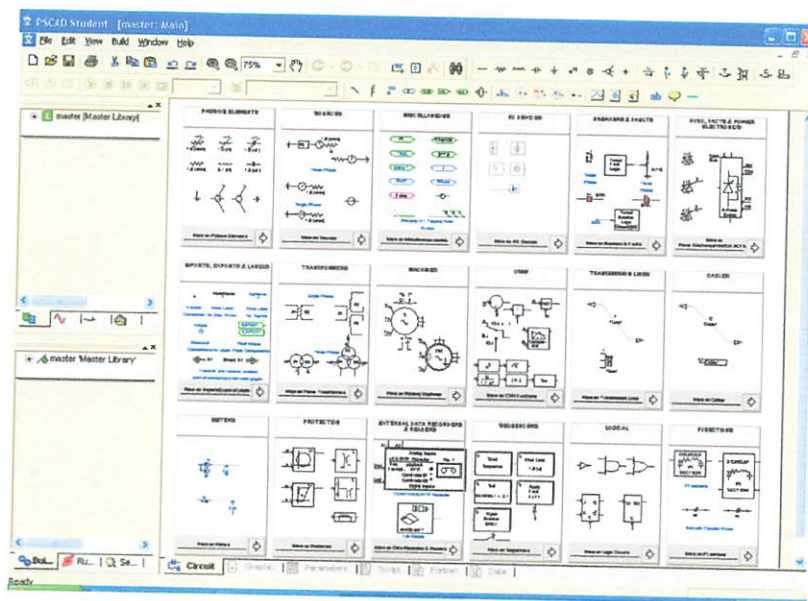
Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1

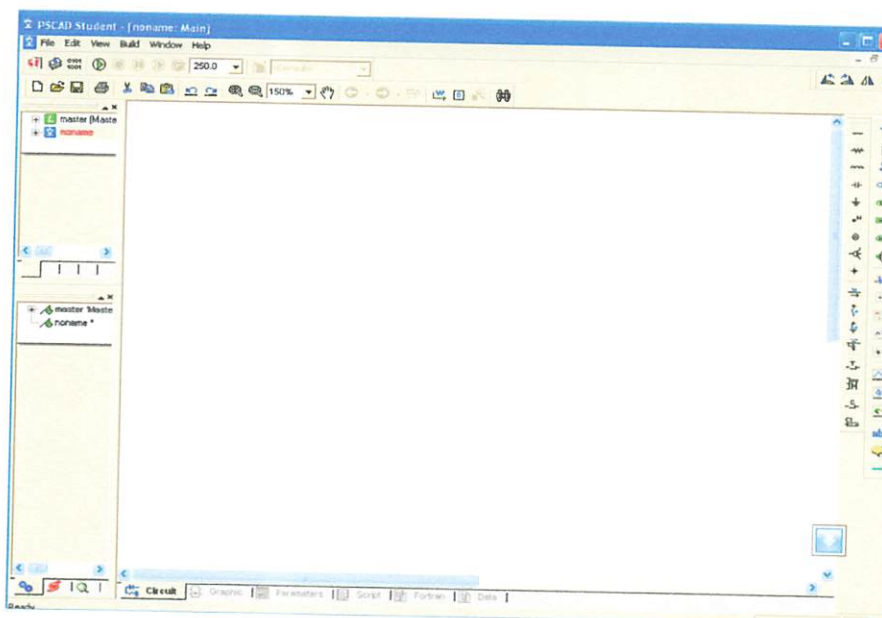
Tampilan utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- 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*

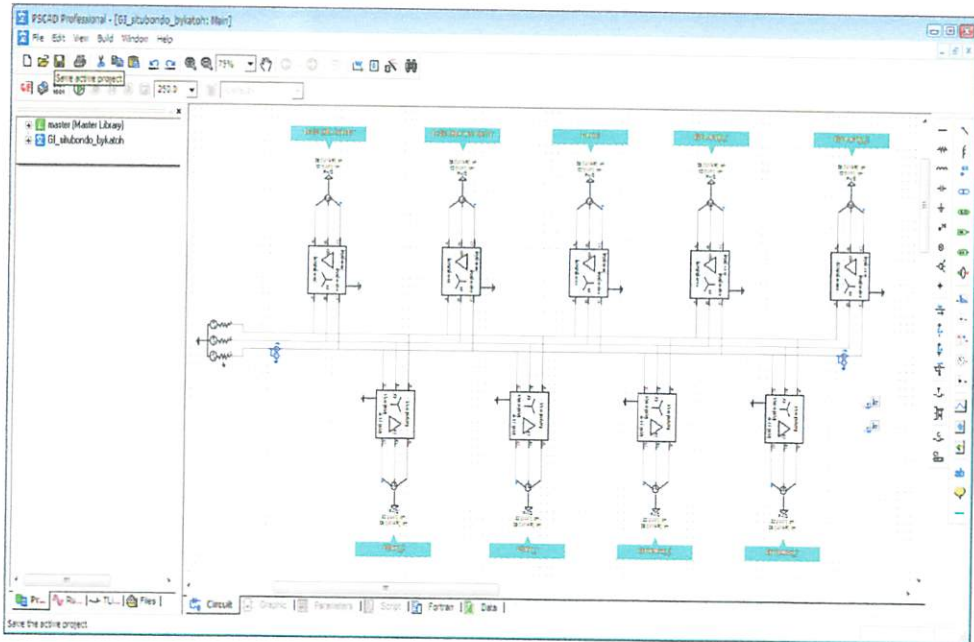
- *Double klik file* baru yang sudah dibuat, maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini, komponen-komponen dirangkai dalam modul ini.



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* GI Dalam PSCAD

### 3.3. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

#### 3.3.1. PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarakan PWM berkenaan dengan D-Statcom diterangkan pada bagian ini. Rencana Kendali untuk DVR dan APF mengikuti prinsip yang sama. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara magnitud 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. Sejak *custom power* adalah secara relatif sebagai aplikasi *low-power*, metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel

dibandingkan dengan metode *Fundamental Frequency Switching* (FFS) yang diunggulkan dalam aplikasi FACTS. 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 penyakelaran 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 Amplitudo  $M_a$  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 UCPC**

Prinsip dari UCPC 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 *vessel* 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 serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Process 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.

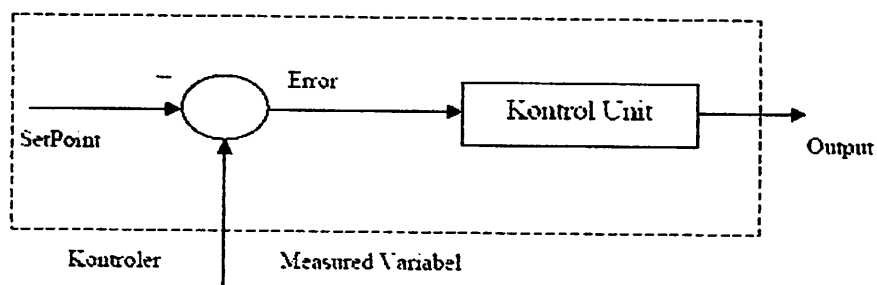
### **3.4.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses**

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 sekali 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 (*automatic 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 kontinu, 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 kontinu 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.

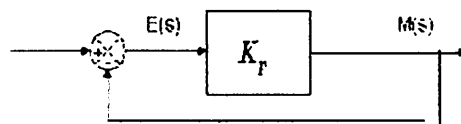


Gambar 3.5  
Kontroler Dan Diagram Kotaknya

#### 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 3.2 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 negative (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 :

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

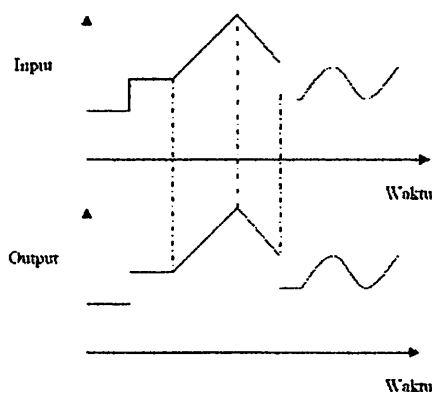
Dimana:

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 3.3 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*)

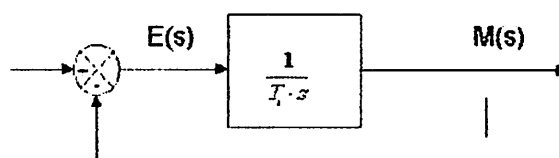
Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain 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 3.4 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.

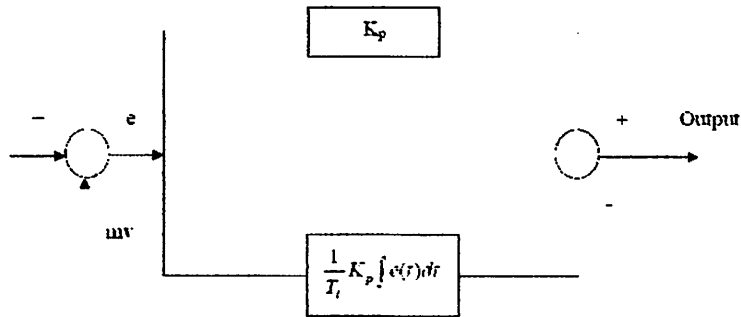


Gambar 3.8  
Blok Diagram Kontroler Integral

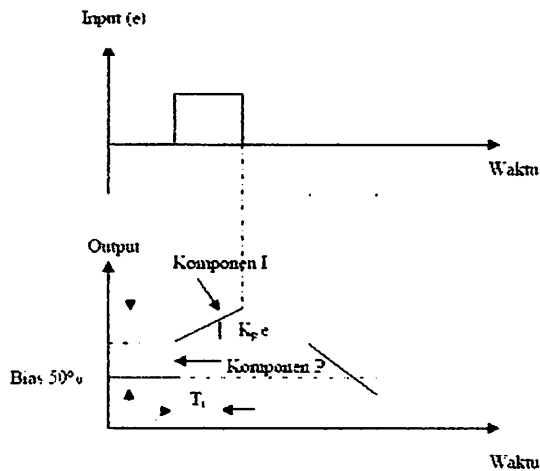
### 3.4.6. Pengendali Proporsional Integral (*PI Controller*)

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 3.7*

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 UCPC Pada Sistem Distribusi 20 kV

#### 3.5.1. Sistem Distribusi Tanpa Kompensasi UCPC

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 dan dapat mengintrodukir frekuensi

harmonik ke jala-jala sistem. Untuk mengatasi permasalahan ini UCPC menawarkan pengendalian yang fleksibel dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Ini mungkin dilakukan dengan adanya perkembangan piranti elektronika daya yang berkembang cukup pesat, *full controllable* dan penggunaannya dapat dipadukan ke dalam sistem tenaga listrik baik sisi tegangan tinggi maupun tegangan rendah. Dalam hal ini UCPC dilengkapi dengan pengendali PI dan kontrol SPWM.

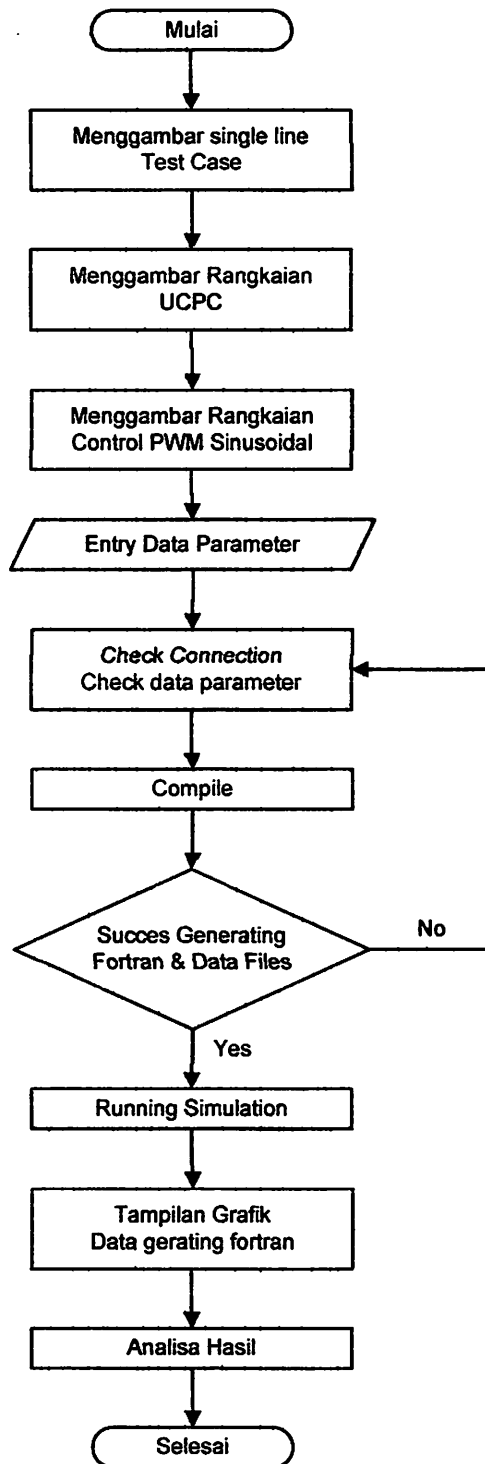
### **3.5.2. Sistem Distribusi Dengan Kompensasi UCPC**

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 pembrosan energi listrik itu maka timbul panas sehingga bisa menyebabkan pertama kerusakan isolator peralatan yang dipakai. Ke dua 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.

Selain permasalahan kualitas tegangan, yang menjadi masalah dalam sistem distribusi adalah munculnya harmonik. Harmonik itu bisa menimbulkan panas, hal ini terjadi karena adanya energi listrik yang berlebihan. Harmonik itu bisa muncul karena peralatan seperti komputer, kontrol motor dll. Harmonik merupakan suatu keadaan timbulnya tegangan yang periodenya berbeda dengan

periode tegangan standar. Periode itu bisa 180 Hz (harmonik ke-3), 300 Hz (harmonik ke-5) dan seterusnya. Harmonik pada transformator lebih berbahaya, hal ini karena adanya sirkulasi arus akibat panas yang berlebih. Sehingga hal ini bisa mengurangi kemampuan peralatan proteksi yang menggunakan *power line carrier* sebagai detektor kondisi normal. 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. Kondisi harmonik yang terdeteksi bisa dihilangkan dengan menggunakan filter LC. Komponen LC yang dimaksudkan diatas sudah terintegrasi dalam peralatan UCPC.

### 3.6 Flowchart

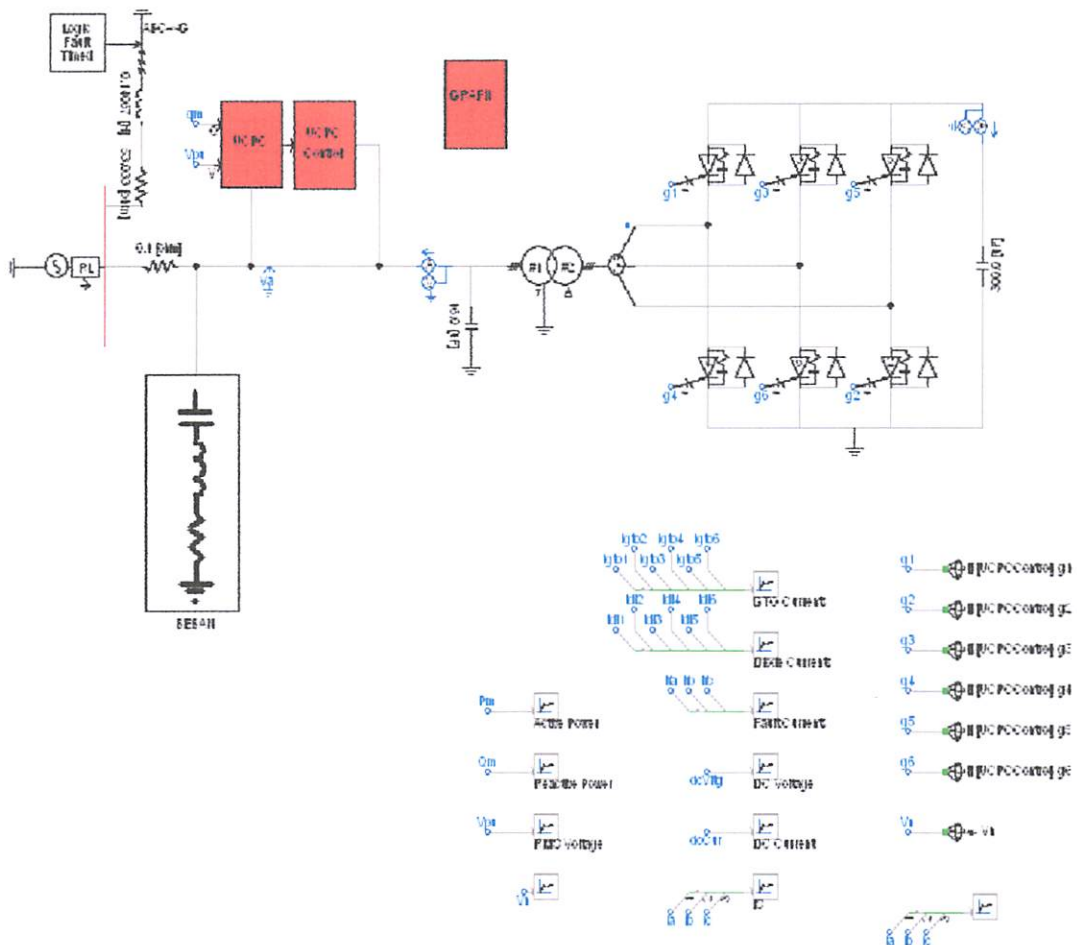


Gambar 3.11  
Flowchart Pemecahan Masalah

## BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

### 4.1. Single Line sistem GI. SITUBONDO

Untuk mensimulasikan sistem dari GI. SITUBONDO menggunakan *software PSCAD/EMTDC Power Simulation*, maka terlebih dahulu kita harus menggambarkan sistem tersebut pada lembar kerja. Kemudian dijalankan sesuai urutan langkah kerja untuk memperoleh hasil simulasi dan menganalisa hasilnya.



Gambar 4.1. Single Line GI.SITUBONDO



## 4.2. Data Penyaluran dan Pembebanan dari GI.SITUBONDO.

### 4.2.1. Data Saluran GI.SITUBONDO

Tabel 4.1.  
Data Saluran GI.SITUBONDO.

NO Saluran	Panjang Saluran ( m )	Impedansi	
		R	XL
1	309.75	66.96795	102.372375
2	392.7	84.90174	129.78735
3	40.7	8.79934	13.45135
4	94	20.3228	31.067
5	434.39	200.166912	155.164108
6	80.84	17.477608	26.71762
7	86.62	18.727244	28.62791
8	203.17	43.925354	67.147685
9	329.33	71.201146	108.843565
10	618.96	133.819152	204.56628
11	306.2	141.09696	109.37464
12	51.54	11.142948	17.03397
13	291.87	134.493696	104.255964
14	291.79	63.084998	96.436595
15	474.2	218.51136	169.38424
16	89.6	19.37152	29.6128
17	558.2	257.21856	199.38904
18	205.47	44.422614	67.907835
19	106.08	48.881664	37.891776
20	68.18	14.740516	22.53349
21	145.45	67.02336	51.95474
22	310.63	67.158206	102.663215
23	149.78	69.018624	53.501416
24	224.56	103.477248	80.212832

#### 4.2.2. Data Pembebanan GLSITUBONDO

Tabel 4.2.  
Data Pembebanan GI.SITUBONDO.

No. Gardu	Kapasitas Nominal (kVA)	Beban Puncak (kVA)	Beban Pukul 19.00		Type Bus
			P (kW)	Q (kVAR)	
	0	0	0	0	Slack
KS. 16	100	93.03	93.01639213	18.51273622	Load
	0	0	0	0	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 83	100	67.35	67.34090775	22.9777995	Load
KS. 13	160	165	164.9787295	64.66652907	Load
KS. 49	160	104.66	104.6453094	29.3048	Load
KS. 62	100	42.98	42.97409214	13.42050066	Load
KS. 43	200	59.369	59.36321295	35.6214	Load
KS. 52	160	122.23	122.2174823	69.95999305	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 47	160	106.48	106.4677249	52.50014725	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 06	160	87.84	87.82792586	27.42803113	Load
KS. 71	100	55.91	55.9031025	24.37060397	Load
KS. 56	200	149.58	149.5643055	83.43024788	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 34	200	162.321	162.3000749	63.61657979	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 77	100	65.338	65.32844275	13.00209781	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 07	160	101.17	101.1580674	48.05308751	Load
	0	0	0	0	Load
KS. 78	50	33.7	33.69574959	13.97229796	Load

### 4.2.3. Data Aliran Daya

Tabel 4.3.  
Data Aliran Daya

NO Saluran	Daya	
	P (kW)	Q (kVAR)
1	1257.8	725.9
2	1067.3	652.3
3	214.8	161.6
4	657.1	489.2
5	-	-
6	-	-
7	617.1	488.8
8	25.1	9.6
9	435.9	404.3
10	-	-
11	32.9	23.6
12	370.4	303.2
13	44.9	20.7
14	325.4	273.6
15	17.3	9.2
16	-	-
17	41.9	22.3
18	-	-
19	17.1	5.1
20	-	-
21	50.5	26.9
22	175.7	120.1
23	26	12.3
24	82	42

### 4.3. SOLUSI Perbaikan Profil Tegangan dengan *Software PSCAD/EMTDC*

#### *V.4.2 Power Simulation*

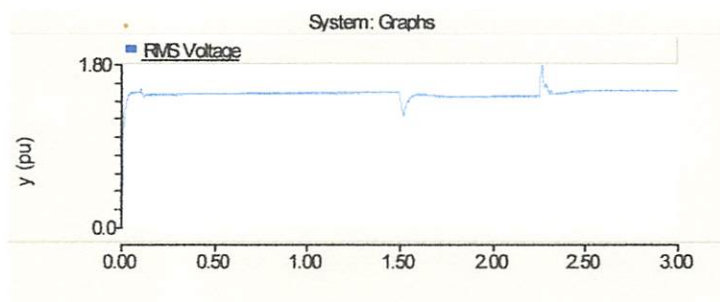
*Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation* merupakan *graphical user interface* yang fleksibel dan *powerful*. Dengan *software* ini secara skematik kita dapat mengkonstruksi rangkaian, menjalankan simulasi, menganalisa hasil dan manajemen data dalam sebuah integrasi yang lengkap dalam hal grafis, termasuk kontrol dan alat-alat ukur. Dengan demikian permasalahan yang ada pada G.I Sitobondo dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan dengan *software PSCAD*.

### 4.4. Hasil dan Analisa Hasil Perbaikan Profil Tegangan Dengan UCPC

#### 4.4.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Pemasangan UCPC

Pada simulasi awal, Komponen UCPC tidak melakukan kompensasi sama sekali. UCPC ini belum bekerja dan tidak memberikan tegangan injeksi ke beban dan tidak memberikan suplai VAR maupun Penyerapan VAR pada beberapa kondisi pengujian, maka akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan UCPC.

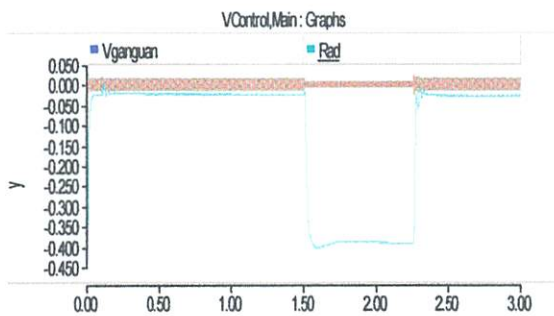
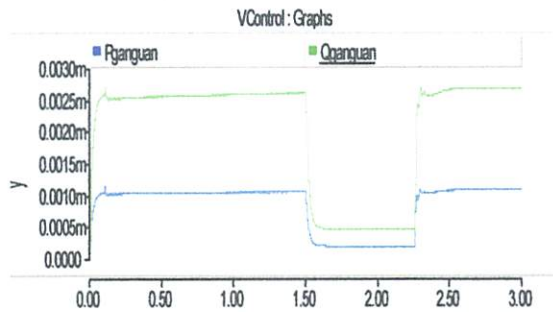
##### 4.1.1.1. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan, $V_{in} = 1 \text{ pu}$ , $V_o = 1 \text{ pu}$ ,



Grafik 4.1 Bentuk Gelombang Tegangan

#### 4.1.1.2. Sistem Setelah Mengalami Gangguan

- Terjadi Gangguan *Voltage Sag* Selama (1500-2500 ms) Tanpa UCPC



(a)

(b)

Grafik 4.2 (a) Bentuk Gelombang Tegangan (b) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Daya Reaktif, Saat Terjadi *voltage sag* Tanpa UCPC

Tabel 4.4.

Hasil Perhitungan Saat Terjadi *voltage sag* Tanpa UCPC

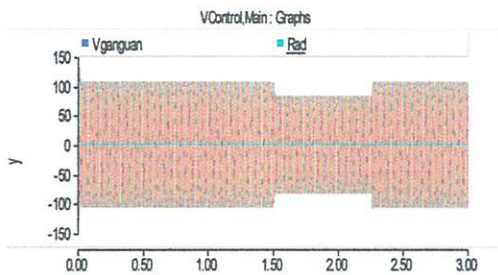
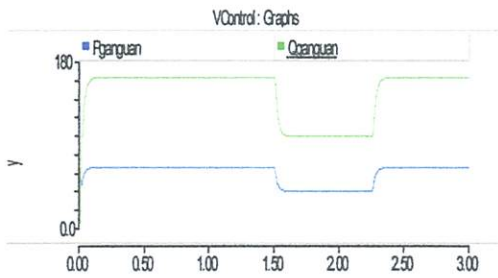
Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	P (kW)	Q (kVAR)
0.357630843	-0.026713855	1.04E-06	2.60E-06
0.356684552	-0.026349184	1.01E-06	2.56E-06
0.363396841	-0.025351237	9.81E-07	2.51E-06
0.367436305	-0.022911332	9.49E-07	2.47E-06
0.350840322	-0.019353744	9.20E-07	2.43E-06
0.360515378	-0.016297901	8.98E-07	2.38E-06
0.345165887	-0.015665117	8.78E-07	2.33E-06

0.341506581	-0.018370466	8.58E-07	2.29E-06
0.342579774	-0.023829876	8.36E-07	2.24E-06

Pada kondisi gangguan di atas tampak bahwa tegangan dan daya mengalami penurunan. Pada keadaan Tegangan Jatuh dalam selang waktu (1.5 – 2.5) s.

#### 4.4.2 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah kompensasi

- **Kompensasi dengan UCPC Saat Terjadi Gangguan *Voltage Sag* Selama (1500-2500 ms)**



(a)

(b)

Grafik 4.3 (a) Bentuk Gelombang Tegangan Tegangan (b) Bentuk Gelombang Daya Aktif dan Daya Reaktif, Saat Terjadi *voltage sag* Dengan UCPC

Tabel 4.5.

Hasil Perhitungan Saat Terjadi *voltage sag* Setelah Kompensasi UCPC

Tegangan (pu)	Sudut Fasa (rad)	P (kW)	Q (kVAR)
0.959599704	-0.066784802	64.49431211	161.5181233

0.95795087	-0.066705285	64.4541051	161.4315806
0.977027417	-0.065857104	64.18780453	161.0334715
0.986529546	-0.063286425	63.54769684	160.2497215
0.950613741	-0.058787149	62.5507213	159.161175
0.968722966	-0.053347261	61.35726677	157.9045174
0.952081135	-0.048839793	60.17710212	156.5955082
0.953972582	-0.047166051	59.18061595	155.2963607
0.952709425	-0.049378984	58.45300866	154.0229373

#### 4.4.3. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Dan Sesudah di pasang UCPC.

##### 4.4.3.1 Perbandingan Tegangan, Arus Beban Dengan dan Tanpa UCPC

Untuk mengetahui kerja UCPC maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan tiap *node* dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan UCPC Dan Tanpa UCPC.

Tabel 4.6.  
Perbandingan Tegangan Saat Gangguan *voltage sag* dengan UCPC dan Tanpa UCPC

Tanpa UCPC	Dengan UCPC
Tegangan (pu)	Tegangan (pu)
0.357630843	0.959599704
0.356684552	0.95795087
0.363396841	0.977027417
0.367436305	0.986529546
0.350840322	0.950613741
0.360515378	0.968722966
0.345165887	0.952081135
0.341506581	0.953972582
0.342579774	0.952709425

Berdasarkan tabel 4.4, 4.5, 4.6 di atas bahwa penyaluran daya lebih optimal dengan menggunakan UCPC daripada tanpa UCPC. Terlihat bahwa Profil

Tegangan saat terjadi gangguan dapat dioptimalkan pada saat menggunakan UCPC.

***Voltage sag***

✓ **Optimasi Kualitas Tegangan :**

$$\begin{aligned}V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{withUCPC}} - V_{\text{withoutUCPC}} \\ &= 0.9527 \text{ (pu)} - 0.3425 \text{ (pu)} \\ &= 0.61013 \text{ (pu)}\end{aligned}$$

✓ **Optimasi kualitas daya :**

$$\begin{aligned}P_{\text{optimasi}} &= \sum P_{\text{with UCPC}} - \sum P_{\text{without UCPC}} \\ &= 58.45300866 - 8.36\text{E-}07 \\ &= 57.9890 \text{ kW}\end{aligned}$$



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap UCPC dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan UCPC pada saat terjadi *voltage sag* mengalami perbaikan tegangan sebesar 0.61013 (pu) atau 231.8494 Volt dari 0.3425 (pu) atau 130.15 Volt menjadi 0.9527 (pu) atau 361.9994 Volt.
2. Dengan menggunakan UCPC pada saat terjadi *voltage sag* penyaluran daya aktif dapat diperbaiki sebesar 57.9890 kW dari 8.36E-07 kW menjadi 58.4530 kW

#### **5.2 Saran**

Pengaplikasian UCPC pada PSDCAD power sistem simulation masih banyak kekurangan di karenakan pada pscad tidak disediakan perhitungan yang kompleks, mungkin suatu saat ada yang dapat mengembangkan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Michael John Newman., "*Design and Control of a Universal Custom Power Conditioner (UCPC)*," Department of Electrical and Computer System Engineering Monash University Victoria , Victoria, 2003.
- [2]. Narain G. Hingorani and L. Gyugyi. 2000. *Understanding FACTS, Concepts, and Technology of Flexible AC Transmisstion systems*. Piscataway, NJ: IEEE Press.
- [3]. Klaus Habur and Donal O'Leary. *FACTS For Cost Effective and Reliable Transmission of Electrical Energy*.
- [4]. Mahdi Syukri. *Perhitungan Drop Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer Banda Aceh*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- [5]. Mudrik Alaydrus, Dr.Ing. *Dasar Saluran Transmisi*. Departemen Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.

*LAMPIRAN*



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

## BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : Rizal Maulana
2. NIM : 98.12.153
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS PEMASANGAN UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC) UNTUL MEMPERBAIKI GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI G.I SITUBONDO

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

Hari : Rabu  
Tanggal : 10 Februari 2010  
Dengan Nilai : 76.3 (B+) *B+*



**Ketua Majelis Penguji**

Ir. H. Sidik Noertjahjono, MT.  
NIP.Y.102.8700.163

**Panitia Ujian Skripsi**

**Sekretaris Majelis Penguji**

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.  
NIP.Y.103.9500.274

**Anggota Penguji**

**Penguji I**

Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y.1028700172

**Penguji II**

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



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu

Tanggal : 10 Februari 2010

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh:

1. Nama : Rizal Maulana
2. NIM : 98.12.153
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **ANALISIS PEMASANGAN UNIVERSAL CUSTOM POWER CONDITIONER (UCPC) UNTUL MEMPERBAIKI GANGGUAN VOLTAGE SAG MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI G.I SITUBONDO**

Perbaikan meliputi:

No	Materi Perbaikan	Ket
1	Judul dan isi pembahasan harus sesuai	RF
2	Apabila membahas masalah voltage sag maka kesimpulan dan pembahasan mengenai mengatasi gangguan voltage sag	RF
3	Gangguan dimana? Dan UCPC di pasang dimana?	RF

Disetujui:

Penguji I

Ir. Eko Nurcahyo  
NIP.Y.1028700172

Penguji II

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

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

## PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : Riza<sup>1</sup> Maulana  
Nim : 98.12.153  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) menjadi Dosen Pembimbing Utama/Pendamping \*) , untuk penyusunan Skripsi Mahasiswa tersebut dengan judul :

**ANALISA PEMASANGAN UNIVERSAL CUTOM POWER  
CONDITIONER (UCPC) UNTUK MEREDUKSI JATUH  
TEGANGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC  
POWER SIMULATION DI G.I SITUBONDO**

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, Agustus 2009  
Yang Membuat Pernyataan,

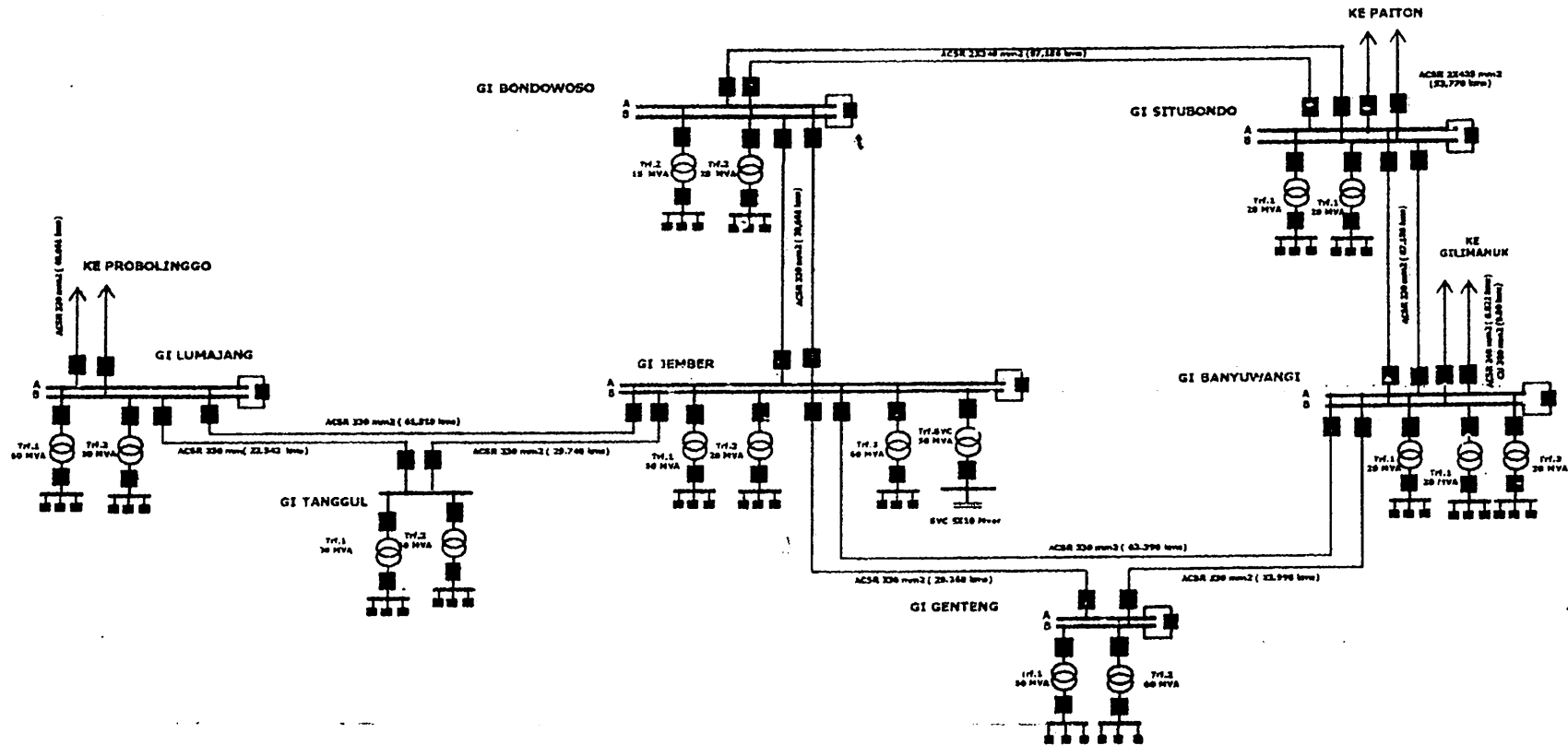
Ir. Choirul Saleh, MT.  
Nip.Y. 1018800190

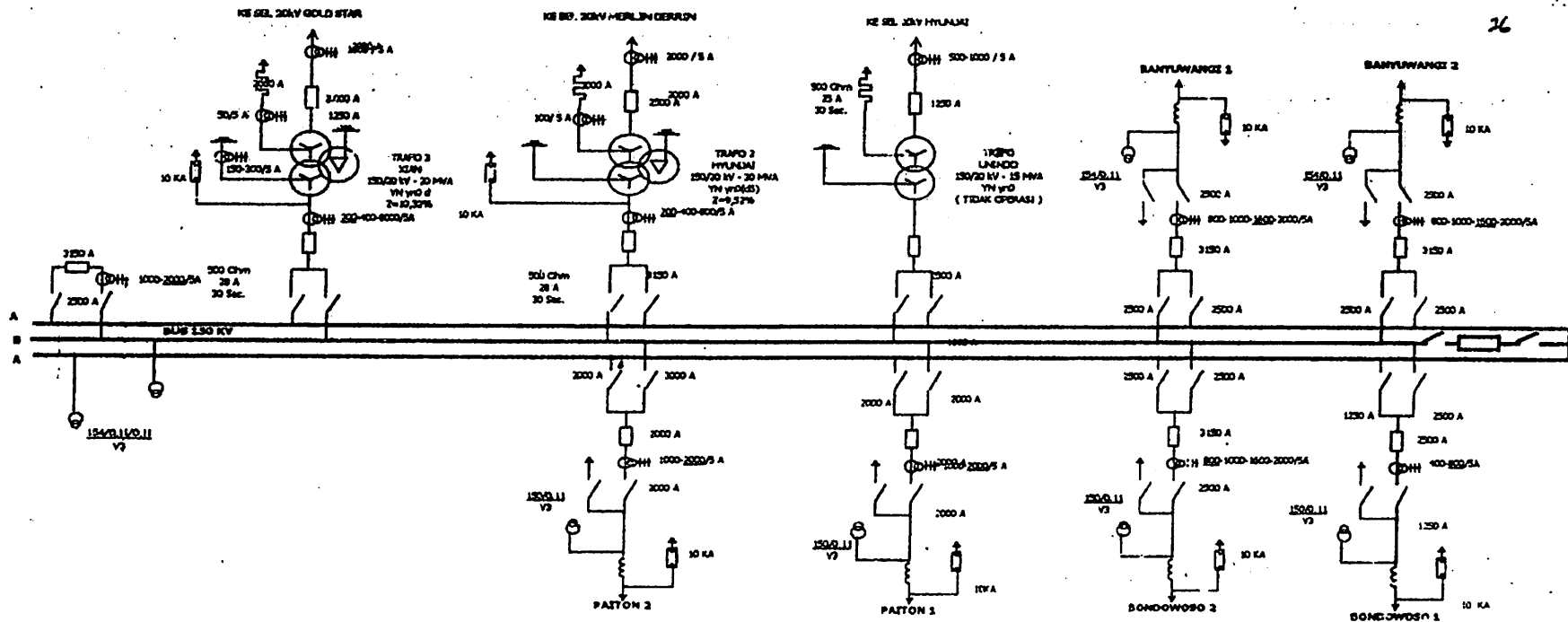
Catatan :


1. Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut.
2. \*) Coret yang tidak perlu

Form. S - 3b

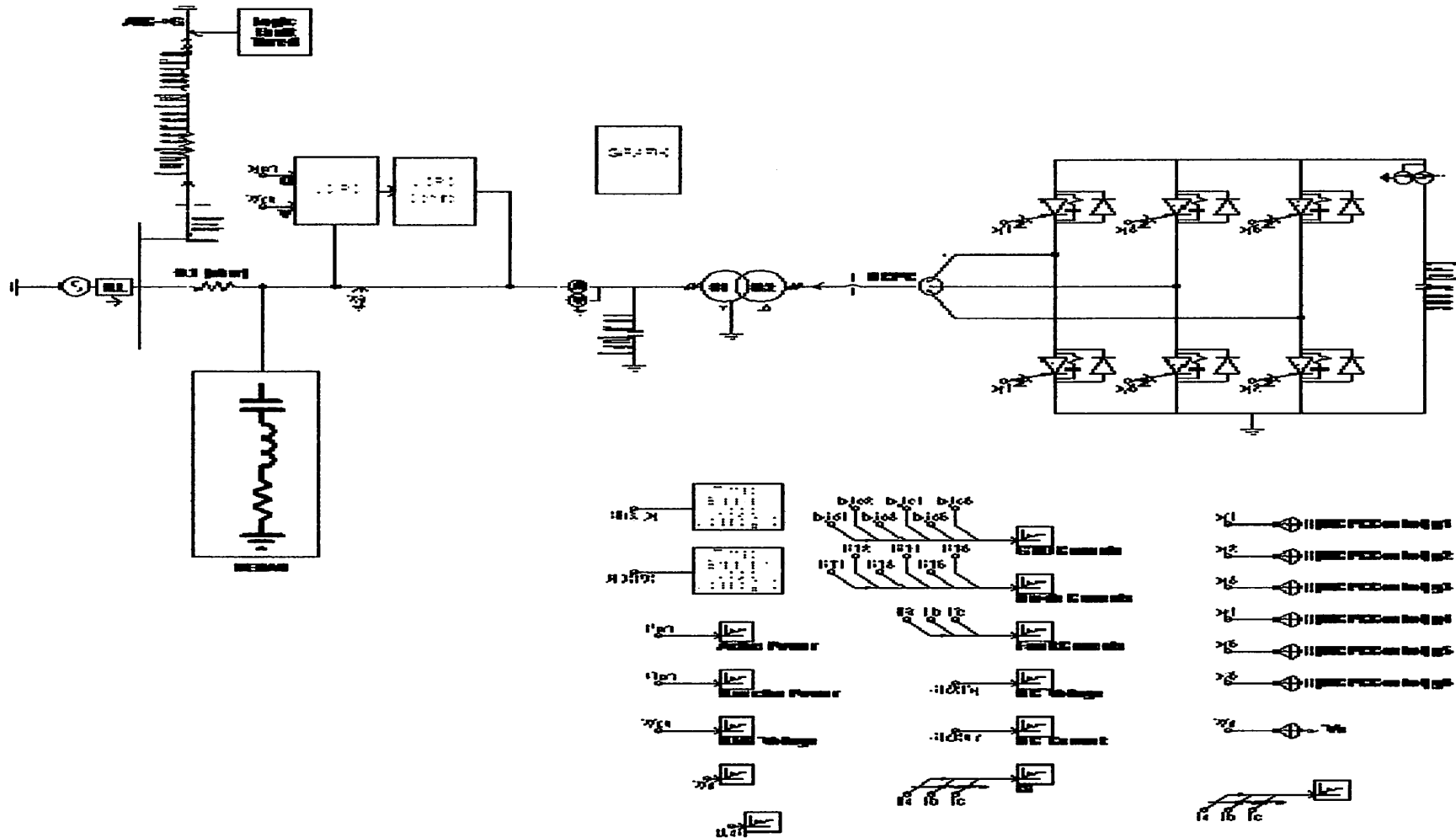
# KONFIGURASI TRANSMISI 150 kV UPT JEMBER





 <b>PT. PLN (PERSERO) P3B JAWA BALI</b> <b>REGION JAWA TIMUR DAN BALI</b> <b>UNIT PELAYANAN TRANSMISI JEMBER</b>			
<b>GI. SITUBONDO</b>			
DIGAMBAR	DIPERUSA	DISETUI	TANGGAL
HERU	OLMENNO		MARET 2018





Gambar single line GI situbondo pada PSCAD

### Steady state applications of FACTS

Issue	Problem	Corrective Action	Conventional solution	FACTS device
Voltage limits	Low voltage at heavy load	Supply reactive power	Shunt capacitor, Series capacitor	SVC, TCSC, STATCOM
	High voltage at light load	Remove reactive power supply	Switch EHV line and/or shunt capacitor	SVC, TCSC, STATCOM
		Absorb reactive power	Switch shunt capacitor, shunt reactor	SVC, STATCOM
	High voltage following outage	Absorb reactive power	Add shunt reactor	SVC, STATCOM
		Protect equipment	Add arrester	SVC
	Low voltage following outage	Supply reactive power	Switch shunt capacitor, reactor, series capacitor	SVC, STATCOM
Prevent overload		Series reactor, PAR	TCPAR, TCSC	
Thermal limits	Line or transformer overload	Supply reactive power and limit overload	Combination of two or more devices	TCSC, UPFC, STATCOM, SVC
		Reduce overload	Add line or transformer	TCSC, UPFC, TCPAR
Loop flows	Parallel line load sharing	Limit circuit (line) loading	Add series reactor, capacitor	SVC, TCSC
		Adjust series reactance	Add series capacitor/reactor	UPFC, TCSC
	Post-fault sharing	Adjust phase angle	Add PAR	TCPAR, UPFC
		Rearrange network or use "Thermal limit" actions	PAR, Series Capacitor/Reactor	TCSC, UPFC, SVC, TCPAR
Short circuit levels	Excessive breaker fault current	Adjust phase angle	PAR	TCPAR, UPFC
		Limit short circuit current	Add series reactor, new circuit breaker	SCCL, UPFC, TCSC
		Change circuit breaker	Add new circuit breaker	
Subsynchronous resonance	Potential turbine /generator shaft damage	Rearrange network	Split bus	
		Mitigate oscillations	series compensation	NGH, TCSC

#### Legend for Exhibit 3

NGH = Ingranani Damper  
 PAR = Phase-Angle-Regulator  
 SCCL = Super-Conducting Current Limiter  
 SVC = Static Var Compensator  
 STATCOM = Static Compensator  
 TCPAR = Thyristor Controlled Phase-Angle Regulator

TCSC = Thyristor Controlled Series Capacitor  
 TCVL = Thyristor Controlled Voltage Limiter  
 TSBRL = Thyristor Switched Braking Resistor  
 TSSC = Thyristor Switched Series Capacitor  
 UPFC = Unified Power Flow Controller

## Dynamic applications of FACTS

Issue	Type of System	Corrective Action	Conventional Solution	FACTS device
Transient Stability	A, B, D	Increase synchronizing torque	High-response exciter, series capacitor	TCSC, TSSC, UPFC
	A, D	Absorb kinetic energy	Braking resistor, fast valving (turbine)	TCBR, SMES, BESS
	B, C, D	Dynamic load flow control	HVDC	TCPAR, UPFC, TCSC
Dampening	A	Dampen 1 Hz oscillations	Exciter, Power system stabilizer (PSS)	SVC, TCSC, STATCOM
	B, D	Dampen low frequency oscillations	- Power system stabilizer (PSS)	SVC, TCPAR, UPFC, NGH, TCSC, STATCOM
Post Contingency Voltage Control	A, B, D	Dynamic voltage support	-	SVC, STATCOM, UPFC
		Dynamic flow control	-	SVC, UPFC, TCPAR
		Dynamic voltage support and flow control	-	SVC, UPFC, TCSC
	A, B, C, D	Reduce impact of contingency	parallel lines	SVC, TCSC, STATCOM, UPFC
Voltage Stability	B, C, D	Reactive Support	shunt capacitor, shunt reactor	SVC, STATCOM, UPFC
		Network control actions	LTC, reclosing, HVDC controls	UPFC, TCSC, STATCOM
		Generation control	High-response exciter	-
		Load control	Under-voltage load shedding Demand-Side Management Programs	-

### Legend for Exhibit 4:

A Remote Generation – Radial Lines (e.g. Namibia)      B Interconnected Areas (e.g. Brazil)  
 C Tightly meshed network (e.g. Western Europe)      D Loosely meshed network (e.g. Queensland, Austr.)

BESS = Battery Energy Storage System  
 HVDC = High Voltage Direct Current  
 LTC = Transformer-Load Tap Changer  
 NGH = Hingorani Damper  
 PAR = Phase-Angle Regulator  
 SCCL = Super-Conducting Current Limiter  
 SMES = Super-Conducting Magnetic Energy Storage

STATCOM = Static Synchronous Compensator  
 SVC = Static Var Compensator  
 TCPAR = Thyristor Controlled Phase-Angle Regulator  
 TCSC = Thyristor Controlled Series Capacitor  
 TCVL = Thyristor Controlled Voltage Limiter  
 TSBR = Thyristor Switched Braking Resistor  
 TSSC = Thyristor Switched Series Capacitor  
 UPFC = Unified Power Flow Controller