

**ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT DENGAN TCSC
(THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR) MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION
DI PLTGU SENGKANG**

SKRIPSI



Disusun oleh :

MUHAMMAD MIZHAR MUIS

NIM: 0712007

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

2012

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PERBAIKAN *STABILITAS TRANSIENT* DENGAN *TCSC*
(*THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR*) MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU SENGKANG**

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan guna mencapai
gelar Sarjana Teknik*

**Disusun oleh :
MUHAMMAD MIZHAR MUIS
NIM : 0712007**



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

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y.101.8800.189**

Diperiksa dan Disetujui,



Dosen Pembimbing I

**Ir. M. Abd Hamid, MT
NIP.Y.101.8800.188**

Dosen Pembimbing II

**Bambang Prio H, ST, MT
NIP.Y.102.8400.082**

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

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : MUHAMMAD MIZHAR MUIS
NIM : 07.12.007
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK

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

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

Malang, 14 Maret 2012

Yang Membuat Pernyataan,



MUHAMMAD MIZHAR MUIS

NIM. 0712007



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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

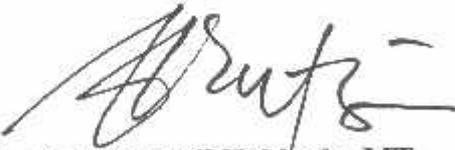
Nama : Muhammad Mizhar Muis
Nim : 07.12.007
Jurusan : Teknik Elektro, S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN STABILITAS *TRANSIENT* DENGAN *TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR)* MENGGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION* DI PLTGU SENGKANG

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

Hari : Sabtu
Tanggal : 18 Februari 2012
Dengan nilai : 81,35 (A) σ

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ketua Majelis Penguji


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP.Y. 101.8800.189

Sekretaris Majelis Penguji


Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT
NIP. Y. 103.0800.417

ANGGOTA PENGUJI

Penguji I


Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.103.8900.209

Penguji II


Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.101.8800.190

ABSTRAK

**ANALISA PERBAIKAN STABILITAS *TRANSIENT* DENGAN *TCSC*
(*THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR*)
MENGUNAKAN *SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION* DI
PLTGU SENKANG**

Muhammad Mizhar Muis, NIM : 07.12.007

Dosen Pembimbing : Ir. M. Abd.Hamid, MT dan Bambang Prio H, ST,MT

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

E-mail: mizhardmuis@yahoo.co.id

Penelitian ini mendeskripsikan hasil penelitian tentang pemodelan dan analisis dari Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) yang digunakan untuk perbaikan stabilitas transient dengan melihat perubahan pada sudut rotor generator akibat gangguan hubung singkat tiga fasa simetris. Ketika sistem mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris, rotor generator mengalami ayunan. Sebelum pemasangan Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) sudut rotor mengalami ayunan sebesar 40° . Dan setelah pemasangan Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) ayunan pada sudut rotor dapat diredam menjadi $0,18^{\circ}$. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program Power System Computer Aided Design (PSCAD).

Kata kunci: Stabilitas transient, *TCSC*, *PSCAD*.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Hidayah dan Pertolongan-Nya, serta Shalawat beriring salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penelitian berjudul **“Analisa Perbaikan Stabilitas Transient Dengan Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) Menggunakan Software PSCAD/EMTDC Power Simulation Di PLTGU Sengkang”** dapat terselesaikan.

Penelitian ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.

Tak lupa penulis sampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT, selaku Rektor ITN Malang.
 2. Bapak Ir.Sidik Noertjahjono, MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
 3. Bapak Ir.Yusuf Ismail Nakhoda,MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.
 4. Bapak Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro ITN Malang
 5. Bapak Ir. M.Abdul Hamid, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
 6. Bapak Bambang Prio Hartono, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
 7. Bapak Ir.Teguh Herbasuki, MT , selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan dan banyak masukan kepada penulis.
 8. Bapak Ir.Choirul Salch, MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan, arahan dan banyak masukan kepada penulis.
 9. Ibu Irrine Budi Susilowati, ST, MT yang telah meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu.
 10. Kedua orang tuaku yang telah memberikan dukungan dan doa secara tulus-ikhlas.
 11. Semua Pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyusunan penelitian ini.
-

Dengan keterbatasan pengalaman, pengetahuan maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan dan perlu pengembangan lebih lanjut agar benar benar bermanfaat. Untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan untuk perbaikan penelitian ini.

Malang, Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Sistem Tenaga Listrik	4
2.1.1. Saluran Transmisi.....	5
2.1.2. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.1.3. Sistem Per Unit	10
2.1.4. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	11
2.2. Stabilitas Dalam Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.2.1. Stabilitas Tunak	15
2.2.2. Stabilitas Dinamis.....	15
2.2.3. Stabilitas Peralihan	16
2.3. Flexible AC Transmission System (FACTS).....	17
2.3.1. Static VAR Compensator (SVC).....	19
2.3.2. NGH-Sub Synchronous Resonance (SSR)	20
2.3.3. Static Condenser (STATCON)	21
2.3.4. Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)	22
2.3.5. Unified Power Flow Controller (UPFC)	22

2.3.6. Universal Custom Power Condotioner (UCPC)	24
2.4. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC).....	25
2.4.1. Prinsip Kerja TCSC.....	26
2.4.2. Mode Operasi TCSC	27
2.4.3. Rangkaian Dasar Dan Kontrol TCSC	29
2.4.4. Keuntungan Penggunaan TCSC	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Metodologi Penelitian.....	34
3.2. Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation	34
3.3. Memulai PSCAD/EMTDC Power Simulation	37
3.4. Model Pengontrolan <i>TCSC</i>	39
3.5. Bahan Dan Alat Yang Diperlukan	39
3.6. Tempat Penelitian	39
3.7. Flowchart Simulasi Sistem <i>TCSC</i>	40
BAB IV SIMULASI DAN PEMBAHASAN	
4.1.Sistem Pembangkit Di Wilayah SULSELTRABAR	41
4.2.Data Sistem Kelistrikan PLTGU Sengkang	41
4.3.Pemodelan Sistem PLTGU Sengkang Dan <i>TCSC</i> dalam PSCAD	42
4.4. Hasil Simulasi	47
4.4.1. Simulasi Sistem Sebelum Pemasangan <i>TCSC</i>	47
4.4.2. Simulasi Sistem SesudahPemasangan <i>TCSC</i>	48
BAB V PENUTUP	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik	4
Gambar 2.2. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik	5
Gambar 2.3. Sistem Radial	6
Gambar 2.4. Sistem Ring.....	7
Gambar 2.5. Sistem Interkoneksi.....	8
Gambar 2.6. Segitiga Daya Dan Hubungannya Antara Daya Aktif Reaktif Dan Daya Semu.....	10
Gambar 2.7. Gangguan Hubung Singkat Simetris	13
Gambar 2.8. Gangguan Hubung Tak Singkat Simetris	13
Gambar 2.9. Static VAR Compensator (SVC)	20
Gambar 2.10. NGH-Sub Synchronous Resonance (SSR).....	20
Gambar 2.11. Static Condenser (STATCON)	21
Gambar 2.12. Thyristor Controlled Phase Angle Regulator (TCPR)	22
Gambar 2.13. Unified Power Flow Controller (UPFC)	24
Gambar 2.14. Universal Custom Power Conditioner (UCPC)	24
Gambar 2.15. Variabel Induktor Terhubung Pararel Dengan Kapasitor	26
Gambar 2.16. Bypassed Thyristor Mode	27
Gambar 2.17. Blocked Thyristor Mode	28
Gambar 2.18. Capacitive Vernier Mode	29
Gambar 2.19. Rangkaian Dasar TCSC.....	30
Gambar 2.20. Modul Praktis TCSC.....	31
Gambar 2.21. TCSC Yang Dimodelkan Cascade	31
Gambar 3.1. Tampilan Utama Software PSCAD/EMTDC Power Simulation ..	37
Gambar 3.2. Tampilan Master Library	38
Gambar 3.3. Tampilan Modul Utama.....	38
Gambar 3.4. Tampilan Single line Sistem Tenaga Listrik PLTGU Senggang Menggunakan TCSC di PSCAD	39
Gambar 3.5. Flowchart Simulasi Sistem dengan TCSC Menggunakan PSCAD	40
Gambar 4.1. Pemodelan Dan Input Data Generator	42
Gambar 4.2. Pemodelan Dan Input Data Trafo	43
Gambar 4.3. Pemodelan Dan Input Data TCSC	44

Gambar 4.4. Kontrol Pada TCSC	45
Gambar4.5. Tampilan Single Line Sistem Tenaga Listrik PLTGU Sengkang Menggunakan TCSC di PSCAD.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Generator PLTGU Sengkang	41
Tabel 4.2. Data Transformator PLTGU Sengkang	42
Tabel 4.3. Data Hasil Simulasi	52

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Pada Keadaan Normal.....	47
Grafik 4.2. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Pada $t= 2$	47
Grafik 4.3. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Setelah Pemasangan TCSC Dengan Nilai Kapasitor 500 μF	48
Grafik 4.4. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Setelah Pemasangan TCSC Dengan Nilai Kapasitor 700 μF	49
Grafik 4.5. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Setelah Pemasangan TCSC Dengan Nilai Kapasitor 900 μF	49
Grafik 4.6. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Setelah Pemasangan TCSC Dengan Nilai Kapasitor 1100 μF	50
Grafik 4.7. Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Setelah Pemasangan TCSC Dengan Nilai Kapasitor 1500 μF	51

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Akibat meningkatnya kebutuhan tenaga listrik, maka pemerintah harus dapat meningkatkan kapasitas tenaga listrik agar dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik saat ini dan masa yang akan datang. Energi listrik dibangkitkan, ditransmisikan, lalu didistribusikan dengan konversi energi dari energi yang satu menjadi energi lainnya. Suatu sistem tenaga listrik tidak hanya didukung oleh sistem operasi yang optimal maupun pelayanan yang efisien.

Salah satu bagian terpenting dalam proses bisnis ketenagalistrikan adalah pendistribusian listrik kepada pelanggan. Dan salah satu komponen yang berperan penting adalah mesin pembangkit listrik. Kondisi kelistrikan di sistem Sulawesi Selatan sendiri secara umum beroperasi tanpa adanya cadangan sehingga jika ada gangguan pembangkit dalam hal ini PLTGU Sengkang sebagai pemasok utama listrik, maka akan terjadi defisit daya.

Pada suatu sistem tenaga listrik skala besar yang terdiri dari banyak pembangkit listrik dan beban yang terinterkoneksi, pengaturan stabilitas sistem merupakan suatu hal penting yang rumit dan tidak mudah. Untuk menjaga sistem tenaga agar dapat tetap beroperasi secara kontinyu dan stabil, maka diperlukan pengaturan stabilitas yang baik. Salah satu parameter stabilitas suatu sistem tenaga listrik adalah stabilitas *transient*. Stabilitas *transient* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mencapai kondisi stabil operasi baru yang dapat diterima setelah mengalami gangguan besar.

Untuk mengatasi permasalahan stabilitas *transient* khususnya ayunan sudut rotor yang terjadi pada generator maka dilakukan pemodelan dan simulasi menggunakan *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam skripsi ini adalah :

- a. Bagaimana pemodelan TCSC dalam *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.
- b. Bagaimana menganalisis stabilitas *transient* sistem tenaga listrik dengan pemasangan TCSC akibat gangguan tiga fasa simetris menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power Simulation*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis stabilitas *transient* sistem tenaga listrik agar dapat mendekati kondisi stabil dengan parameter sudut rotor pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa simetris menggunakan TCSC (*Thyristor Controlled Series Capacitor*).

1.4. Batasan Masalah

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

- a. Perhitungan dan simulasi dilakukan dengan *software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation*.
- b. Kompensator yang digunakan hanya TCSC.
- c. Menganalisis stabilitas *transient* dengan menggunakan parameter sudut rotor.
- d. Studi dilakukan pada sistem tenaga listrik PLTGU Sengkang.

1.5 .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 pembahasan yang akan dipaparkan dalam skripsi ini.

BAB II : Landasan Teori

Pada bab ini diuraikan mengenai teori dasar tentang sistem tenaga listrik secara umum, stabilitas *transient* dan prinsip kerja *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)*.

BAB III : Metodologi Penelitian

Metode penelitian ini menjelaskan secara rinci mengenai rancangan dan prosedur, waktu dan tempat penelitian serta alat dan bahan yang digunakan.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi.

BAB V : Penutup

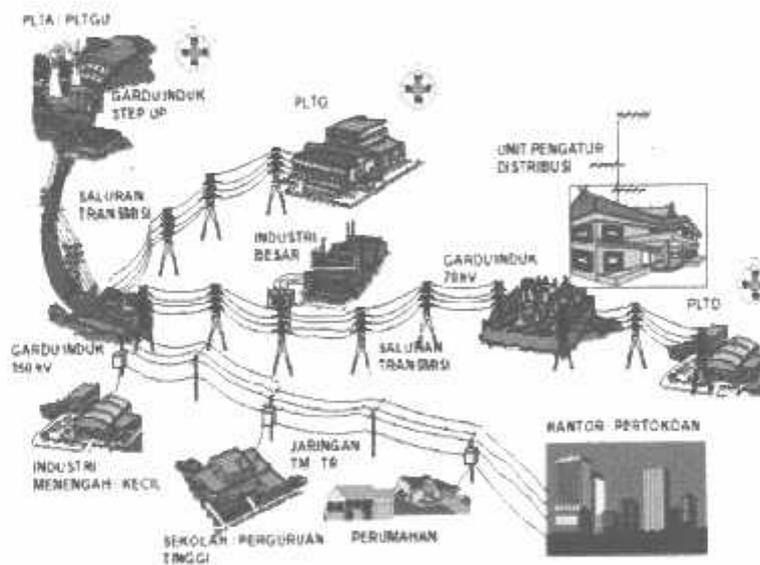
Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Pada pusat pembangkitan tenaga listrik dilakukan pembangkitan tenaga listrik dengan cara memanfaatkan generator sinkron.

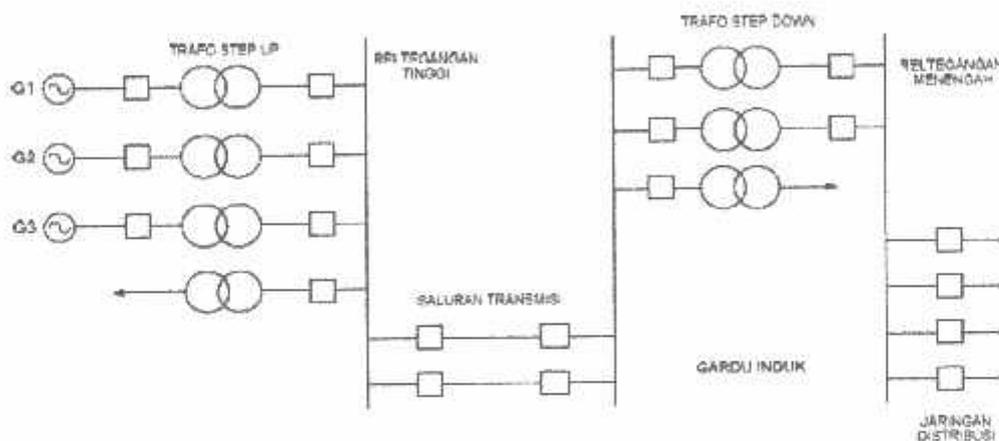
Tenaga listrik yang telah dihasilkan pada pusat pembangkit tenaga listrik akan ditransmisikan ke beban. Sebelum di transmisikan, tegangan di naikkan dengan menggunakan transformator penaik tegangan (*step-up*) pada pusat pembangkit tenaga listrik. Tegangan tersebut dinaikkan ke level tegangan tinggi (antara 70 kV sampai 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (di atas 150 kV). Saluran transmisi yang di gunakan bisa berupa saluran udara maupun kabel tanah. Gambar 2.1 mengilustrasikan proses pembangkitan, transmisi dan distribusi dari pusat listrik ke konsumen.



Gambar 2.1
Sistem Tenaga Listrik

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step-down*) menjadi tegangan menengah atau disebut tegangan distribusi primer. Tegangan menengah yang digunakan oleh PLN sebesar 20 kV. Pada level tegangan menengah ini, tenaga listrik dapat langsung digunakan oleh konsumen yang mempunyai daya tersambung besar seperti industri besar.

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



Gambar 2.2
Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

2.1.1 Saluran Transmisi

Tenaga listrik yang dibangkitkan oleh pusat-pusat pembangkit disalurkan melalui kawat-kawat (saluran-saluran) transmisi yang selanjutnya diterima oleh pusat-pusat beban baik secara langsung maupun melalui saluran penghubung dan gardu-gardu induk.

Beberapa kategori saluran transmisi yang dapat dibedakan menurut:

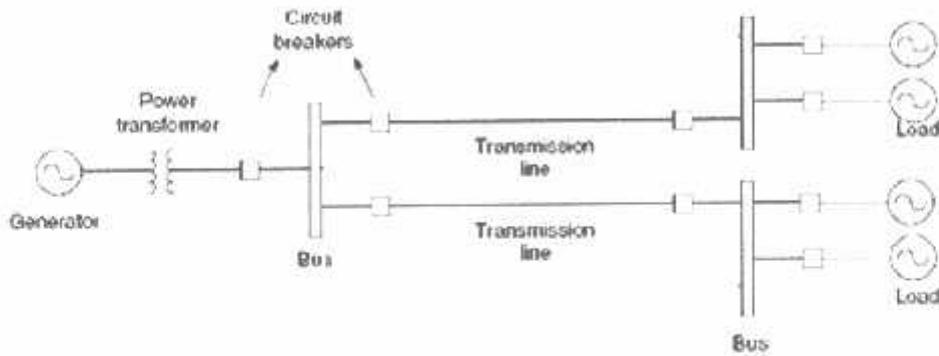
- a. Jenis jaringan
- b. Sistem tegangannya
- c. Jenis arusnya
- d. Jenis salurannya

e. Jenis saluran dan jumlah circuitnya

Pada sistem jaringan transmisi dapat dibedakan menjadi:

a. Sistem Radial (terbuka)

Sistem radial adalah yang dihubungkan pada pembangkit tenaga listrik dengan gardu induk dan kemudian disalurkan ke konsumen melalui jaringan distribusi.



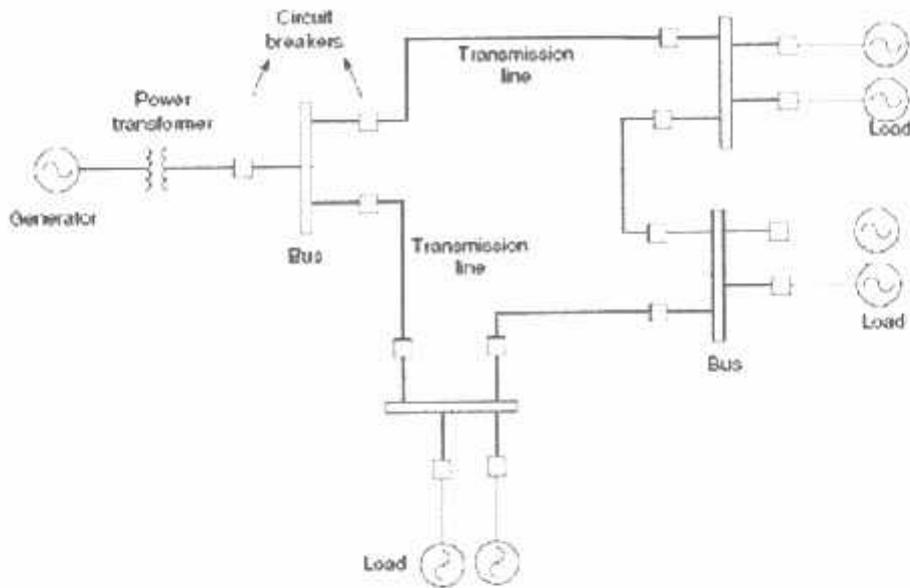
Gambar 2.3
Sistem Radial (terbuka)

Keuntungan dari sistem radial adalah sangat sederhana mengalirkan tenaga listrik dari tempat satu ketempat yang lain serta biaya pembangunannya relative lebih murah.

Kendala penyaluran pada sistem radial adalah kontiyuitas penyaluran tenaga listrik kurang andal. Dan bila sistem ini digunakan pada daerah yang luas (banyak sistem radial) biayanya menjadi mahal.

b. Sistem Ring (tertutup)

Sistem ring adalah sistem yang memanfaatkan beberapa gardu induk dapat dihubungkan sehinggah merupakan rangkaian tertutup dan sumber tenaga listriknya berasal dari satu pusat tenaga listrik.

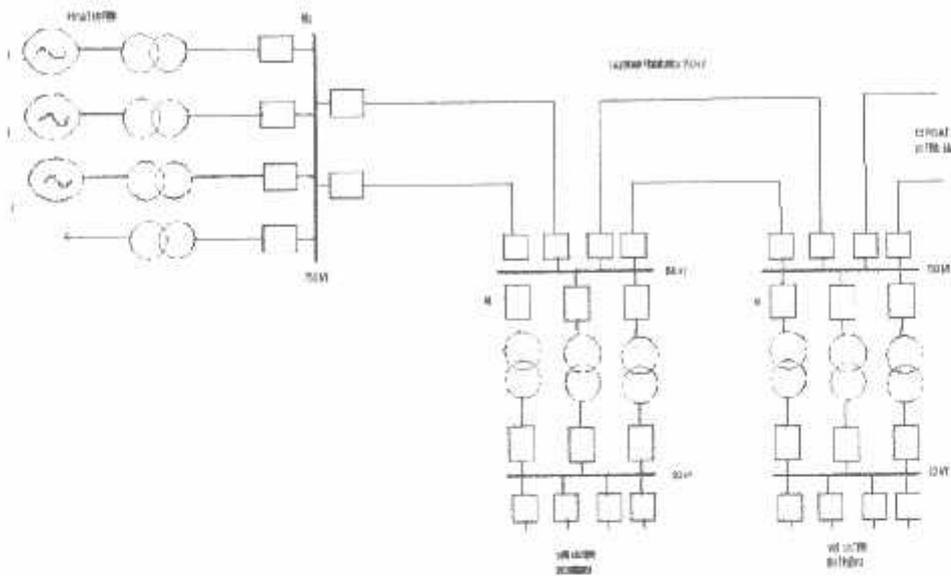


Gambar 2.4
Sistem Ring (tertutup)

Keuntungan dari sistem ring adalah kontinuitas penyaluran cukup baik dan perencanaanya tidak begitu sulit. Kendala dari sistem ring adalah sulit dilakukan terutama gardu induk (GI) yang terletak jauh dan perhitungan-perhitungan pengamannya lebih sulit dibandingkan sistem radial.

c. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi terdapat beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang digunakan melalui jaringan transmisi. Dengan bergabungnya pusat pembangkit ini maka kontinuitas pelayanan menjadi sangat andal karena saling mensuplai tenaga listrik melalui pusat pengaturan beban (P2B).



Gambar 2.5
Sistem Interkoneksi

2.1.2. Daya Dalam Sistem Tenaga listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah watt. Daya dalam watt yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan diantara beban dalam volt dengan arus yang mengalir dalam beban tersebut dalam ampere (Basri, 1997). Dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) tiga fasa, ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu:

a. Daya aktif (*active power*)

Secara umum daya aktif dinyatakan oleh persamaan:

$$P_{1Fasa} = V_f \cdot I_f \cos \varphi \dots\dots\dots (2.1)$$

$$P_{3Fasa} = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cos \varphi \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

V_L = tegangan antar fasa (Volt).

V_f = tegangan fasa-netral (Volt).

I_L = arus antar fasa (Amper).

I_f = arus fasa-netral (Amper).

$P = \text{daya aktif (Watt)}$.

b. Daya reaktif (*reactive power*)

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

Persamaan daya reaktif adalah :

$$Q_{1\text{Fasa}} = V_f \cdot I_f \sin \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q_{3\text{Fasa}} = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \sin \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana:

$V_L = \text{tegangan antar fasa (Volt)}$.

$V_f = \text{tegangan fasa-netral (Volt)}$.

$I_L = \text{arus antar fasa (Amper)}$.

$I_f = \text{arus fasa-netral (Amper)}$.

$Q = \text{daya reaktif (VAR)}$.

a. Daya semu (*apparent power*)

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

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

$P = \text{daya aktif (Watt)}$.

$Q = \text{daya reaktif (VAR)}$.

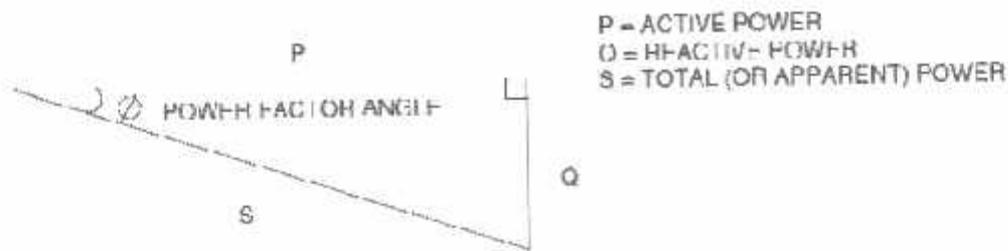
$S = \text{daya semu (VA)}$.

b. Faktor daya (*power factor*)

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata (P) dan daya semu (S), dinyatakan oleh persamaan:

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Nyata (W)}}{\text{Daya Semu (VA)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

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 dan hubungannya antara daya aktif reaktif dan daya semu

dari persamaan 2.5 dijabarkan menjadi:

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \frac{P}{S} = \frac{P}{P + jQ} = \frac{W}{VA} \\ W &= VA \cos \phi \\ VAR &= VA \sin \phi = W \tan \phi \\ \tan \phi &= \frac{VAR}{W} \end{aligned} \quad (2.7)$$

dimana:

- $\cos \phi$ = faktor daya.
- P = daya nyata (Watt).
- S = daya semu (VA).
- Q = daya reaktif (VAR).

2.1.3. Sistem Per Unit (PU)

Sistem per unit untuk suatu besaran adalah perbandingan besaran tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Kelebihan dari metode per unit adalah hasil perkalian dari dua besaran yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam bentuk per unit juga.

- a. Untuk sistem satu fasa perhitungan per unitnya sebagai berikut:

$$I_{dasar} = \frac{kVA_{\phi, dasar}}{\text{tegangandasar, } KV_{L-N}} (A) \quad (2.8)$$

$$Z_{dasar} = \frac{(\text{tegangandasar, } KV_{L-N})^2 \times 1000}{kVA_{\phi}} (\Omega) \quad (2.9)$$

b. Untuk sistem tiga fasa perhitungan per unitnya sebagai berikut:

$$I_{\text{dasar}} = \frac{kVA_{3\phi} \text{ dasar}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, } KV_{L-L}} (A) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{L-L})^2}{MVA_{3\phi}} (\Omega) \dots\dots\dots (2.11)$$

Kadang-kadang Impedansi per unit untuk suatu komponen dari suatu sistem dinyatakan menurut dasar yang berbeda dengan dasar yang dipilih untuk bagian dari sistem dimana komponen tersebut berada. Karena semua impedansi dalam bagian manapun dalam suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar impedansi yang sama, maka dalam perhitungannya kita perlu mempunyai cara untuk dapat mengubah impedansi per unit dari suatu dasar ke dasar yang lain.

Impedansi per unit dari suatu elemen rangkaian :

$$Z(\text{pu}) = \frac{\text{impedansi sebenarnya}}{\text{impedansi dasar}} (\text{pu}) \dots\dots\dots (2.12)$$

rumus apabila harga dasar sistem berubah:

$$Z_{\text{baru}} (\text{pu}) = Z_{\text{diberikan}} (\text{pu}) \left(\frac{kV_{\text{diberikan}} \text{ dasar}}{kV_{\text{baru}} \text{ dasar}} \right)^2 \times \left(\frac{kVA_{\text{baru}} \text{ dasar}}{kVA_{\text{diberikan}} \text{ dasar}} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

2.1.4. Gangguan Dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada dasarnya gangguan dalam sistem 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:

c. Gangguan *shunt*

- Gangguan tiga fasa (3 ϕ)
- Gangguan *line to line* (L-L)

- Gangguan *double line to ground* (2L-G)
 - Gangguan *single line to ground* (SL-G)
- d. Gangguan seri
- Gangguan satu saluran terbuka
 - Gangguan dua saluran terbuka
 - Impedansi seri tak seimbang
- e. 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

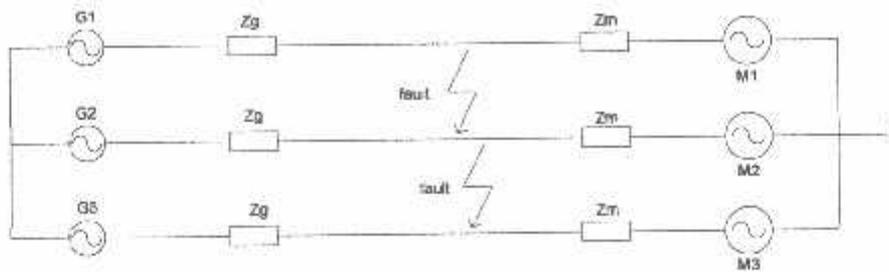
Dari bermacam-macam gangguan di atas tersebut, gangguan dapat dikelompokkan lagi menjadi dua bagian yaitu:

a. 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.

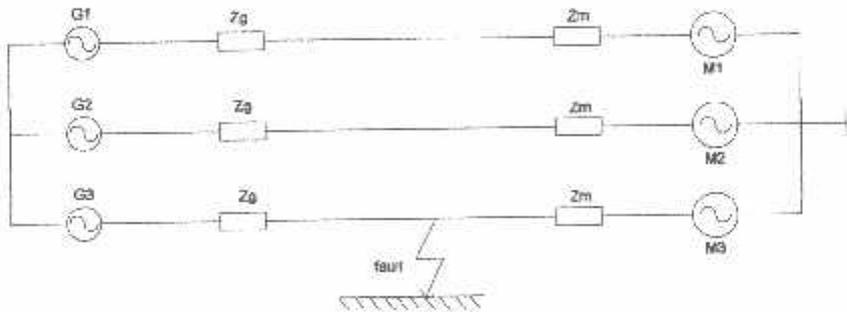
Untuk menganalisa gangguan pada rangkaian tiga fasa seimbang, maka menganalisanya dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara fasa tunggal.



Gambar 2.7
Gangguan Hubung Singkat Simetris

b. 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.



Gambar 2.8
Gangguan Hubung Tak Singkat Simetris

2.2. Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik pada dasarnya merupakan komponen – komponen tenaga listrik yang saling terhubung membentuk suatu bagian besar sehingga kerja satu sama lain saling mempengaruhi. Komponen- komponen tersebut terdiri dari empat bagian, yaitu : pembangkit/generator, transmisi, distribusi dan beban. Dalam sistem tenaga listrik terdapat tiga buah persyaratan dasar yang harus dimiliki oleh suatu sistem tenaga listrik agar dapat beroperasi dengan baik, yaitu reliabilitas, kualitas, dan stabilitas. Reliabilitas merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat beroperasi dan menyuplai daya secara terus menerus. Sedangkan kualitas adalah kemampuan suatu sistem tenaga

listrik untuk dapat menghasilkan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, dan frekuensi, sesuai dengan ketentuan atau standar yang telah ditetapkan. Sementara itu stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk dapat kembali ke keadaan normalnya atau kondisi stabil setelah mengalami gangguan. Gangguan – gangguan tersebut dapat berupa gangguan besar maupun gangguan kecil dimana rentang waktu dari gangguan-gangguan itu bervariasi, ada berlangsung lama dan adapula yang berlangsung seketika. Dari ketiga persyaratan tersebut, stabilitas merupakan syarat yang paling penting karena jika stabilitas sistem tidak dapat tercapai maka akan mempengaruhi reliabilitas dan kualitas dari sistem secara keseluruhan. Hal ini dapat terjadi karena jika masalah stabilitas sistem tersebut tidak dapat teratasi maka akan mempengaruhi reliabilitas dan kualitas dari sistem secara keseluruhan. Hal ini dapat terjadi karena jika masalah stabilitas sistem tersebut tidak dapat teratasi maka besaran-besaran listrik yang dihasilkan akan berubah dan mempengaruhi kualitas, bahkan dampak yang paling buruk dari perubahan besaran-besaran listrik tersebut adalah beralih fungsinya pembangkit menjadi motor. Selain itu, pengaruh stabilitas terhadap reliabilitas sistem adalah hilangnya sinkronisasi atau keserempakan dari generator sehingga sistem tidak dapat menyuplai daya seperti yang seharusnya.

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Secara umum permasalahan stabilitas sistem tenaga listrik terkait dengan kestabilan sudut rotor (*rotor angle stability*) dan kestabilan tegangan (*voltage stability*). Klasifikasi ini berdasarkan rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. Kestabilan sudut rotor di klasifikasikan menjadi *small signal stability* dan *transient stability*. *Small signal stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan-gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tak teredam, sedangkan *transient stability* dikarenakan kurang sinkronnya torsi dan diawali dengan gangguan-gangguan besar.

Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat alami dan magnitudo gangguan, yaitu :

- a. Stabilitas tunak (*steady state stability*)
 - b. Stabilitas dinamis (*dynamic stability*)
 - c. Stabilitas peralihan (*transient stability*)
-

2.2.1. Stabilitas Tunak

Stabilitas *steady state* dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap menjaga sinkronisasi diantara mesin dalam sistem dan saluran external apabila terjadi perubahan beban baik secara normal ataupun lambat. Stabilitas steady-state bergantung kepada batas-batas transmisi dan kapasitas pembangkitan dan efektifitas perangkat kontrol otomatis, terutama untuk regulasi tegangan otomatis (AVR) pada generator. Pernyataan diatas juga berlaku untuk kestabilan transien dan dinamik.

Apabila beban pada generator meningkat maka, rotasi rotor akan melambat, dan sebaliknya, akan semakin cepat apabila beban menurun. Pada kondisi normal, perubahan sudut rotor akan sedikit mengalami "*overshoot*", yaitu akan sedikit lebih lambat atau lebih cepat. Pada kondisi stabil maka osilasi akan tetap terjadi sampai akhirnya berada pada posisi tertentu untuk kondisi beban yang baru. Apabila rotor berada pada kondisi tetap yang hanya terjadi dalam waktu yang cepat, maka mesin dapat dikatakan dalam keadaan stabil, dan osilasi dikatakan memiliki damping yang baik.

Ayunan pada kondisi yang telah dijelaskan tersebut biasanya terlalu cepat untuk direspon oleh governor pada mesin. Bagaimanapun juga, sistem eksitasi generator yang cepat beraksi (eksiter dan regulasi tegangan pada generator) akan peka terhadap perubahan tegangan yang menyebabkan osilasi sudut rotor dan memperkuat atau memperlemah medan generator, sehingga mempengaruhi kecepatan mesin untuk mencapai kondisi operasi yang stabil.

Kondisi yang telah dijabarkan diatas akan selalu ada pada sistem tenaga listrik karena beban yang ada akan selalu bertambah dan ada pula yang hilang, dan semua generator yang terinterkoneksi harus selalu menyesuaikan energi input, sudut rotor, dan eksitasi agar sesuai dengan kondisi pada saat itu juga.

2.2.2. Stabilitas Dinamis

Beberapa waktu setelah gangguan, governor pada prime mover akan bereaksi untuk menaikkan atau menurunkan energi input, sesuai kondisi yang terjadi, untuk mengembalikan keseimbangan antara energi input dan beban listrik yang ada. Hal ini biasanya terjadi sekitar satu hingga satu setengah detik setelah terjadi gangguan. Periode ketika governor mulai bereaksi dan waktu ketika kestabilan mencapai kondisi steady-state

adalah periode ketika karakteristik kestabilan dinamik mulai efektif. Stabilitas dinamis adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode stabilitas *transient*) hingga sistem mencapai kondisi *equilibrium steady state* yang baru.

Selama periode ini, governor membuka atau menutup katup, sebagaimana diperlukan, untuk meningkatkan atau menurunkan energy input pada prime mover, dan operasi kontroler saluran untuk mengembalikan aliran daya pada saluran ke kondisi normal. Biasanya, bila generator peka terhadap drop kecepatan, mereka akan beraksi untuk membuka katup untuk memberikan uap lebih pada turbin uap atau air pada turbin air dan memberikan cukup energi untuk menahan penurunan kecepatan (frekuensi) dan mempercepat sistem hingga kembali ke keadaan normal. Ini masih merupakan kondisi tidak seimbang, karena energi input sekarang melebihi beban, dan kecepatan akan meningkat untuk titik dibawah normal, ketika governor akan beraksi untuk mengurangi energi input. Sebagai hasilnya, osilasi energi input dan sudut rotor mesin akan terjadi. Apabila sistem stabil secara dinamis, osilasi akan diredam, yaitu, pengurangan pada magnitude, dan setelah beberapa kali ayunan sistem akan berada pada kondisi *equilibrium steady state*.

Kondisi yang secara transient stabil tetapi secara dinamik tidak stabil bisa saja terjadi. Segera setelah gangguan rotor pada mesin akan melalui ayunan pertama (sebelum aksi dari governor), kemudian setelah kontrol mulai bekerja, osilasi akan meningkat sampai mesin tidak berada dalam kondisi sinkron. Hal ini dapat terjadi bila aksi kontrol governor, yang terjadi akibat adanya kebutuhan untuk menaikkan atau menurunkan daya input, terjadi penundaan waktu sehingga aksi tersebut akan menambah ayunan berikutnya bukannya mengurangi.

2.2.3. Stabilitas Peralihan

Stabilitas peralihan merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk dapat kembali stabil setelah terkena gangguan yang besar dan tiba-tiba. Gangguan ini dapat berupa gangguan simetris atau asimetris, gangguan hubung singkat, hilangnya beban yang besar secara tiba-tiba dan lain sebagainya. Setelah mengalami gangguan, generator akan berada pada kondisi peralihan atau transient dan kemudian akan berangsur-angsur kembali

ke kondisi seempaknya menuju titik kesetimbangan yang baru. Dalam kondisi peralihan, sistem dapat kehilangan kestabilannya karena gangguan yang terjadi diluar batas kemampuan dari sistem untuk bereaksi. Stabilitas peralihan perlu di atasi karena berpeluang besar menyebabkan ketidakstabilan dalam sistem.

Bermacam-macam faktor mempengaruhi stabilitas sistem, seperti kekuatan pada jaringan transmisi didalam sistem dan saluran pada sistem yang berdekatan, karakteristik pada unit pembangkitan, termasuk inersia pada bagian yang berputar, dan properti listrik seperti reaktansi transient dan karakteristik saturasi magnetik pada besi stator dan rotor. Faktor penting lainnya adalah kecepatan pada saluran atau perlengkapan yang terjadi gangguan dapat diputus (*disconnect*) dan, dengan reclosing otomatis pada saluran transmisi, yang menentukan seberapa cepat saluran dapat beroperasi lagi. Sebagaimana pada stabilitas steady-state, kecepatan respon pada sistem eksitasi generator merupakan faktor yang penting dalam mempertahankan stabilitas transient. Gangguan pada sistem biasanya diikuti oleh perubahan tegangan yang cepat pada sistem, dan pemulihan kembali tegangan dengan cepat menuju ke kondisi normal merupakan hal yang penting dalam mempertahankan stabilitas.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, stabilitas transient adalah kemampuan untuk tetap pada kondisi sinkron selama periode terjadinya gangguan dan sebelum adanya reaksi dari governor. Pada umumnya ayunan pertama pada rotor mesin akan terjadi selama satu detik setelah gangguan, tetapi waktu yang sebenarnya bergantung pada karakteristik mesin dan sistem transmisi. Setelah periode ini, governor akan mulai bereaksi, biasanya sekitar 4 hingga 5 detik, dan stabilitas dinamis akan efektif. Ayunan dinamis juga akan dipengaruhi oleh osilasi tegangan, penguatan pada sistem eksitasi, dan waktu pada frekuensi jaringan.

2.3. Flexible AC Transmission System (FACTS)

Pada dasarnya, *FACTS* adalah kumpulan peralatan yang dibuat dari komponen elektronik *solid state* untuk pengaturan atau pengendalian transmisi daya listrik secara *fleksible*. Sampai saat ini telah terdapat sekitar dua belas macam peralatan *FACTS* yang memiliki fungsi masing masing. Dari jumlah ini, beberapa masih dalam tahap pengembangan sedangkan beberapa lagi telah dipasang diberbagai lokasi jaringan

transmisi di Amerika Serikat dengan hasil yang memuaskan. Pada akhirnya nanti, peralatan *FACTS* ini diharapkan untuk dapat menggantikan peralatan kendali daya listrik mekanik yang saat ini umum dipasang pada jaringan transmisi listrik seperti misalnya pemutus rangkaian (*circuit breakers*), perubah tegangan variabel (*transformer tap changers*), kapasitor muka (*shunt capacitor switches*) dan lainnya.

FACTS dalam pengembangannya sangat erat sekali hubungannya dengan pengkajian aplikasi *Thyristor* untuk elektronika daya. Dengan pemanfaatan peralatan kendali elektronika daya tersebut, maka *FACTS* akan sangat diminati karena menyediakan banyak kelebihan dibandingkan dengan peralatan kendali mekanik. Keuntungan alat kendali elektronik seperti misalnya waktu reaksi yang berkecepatan tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi dari peralatan kendali mekanik. Sebagai gambaran, *FACTS* dapat mengubah arah atau jalur daya listrik dalam waktu kurang dari satu cycle. Dengan kecepatan reaksi yang tinggi ini berarti *FACTS* dapat juga menyediakan fungsi lainnya yang tidak mungkin didapatkan pada alat kendali mekanik, seperti misalnya fungsi untuk mengatasi gangguan peralihan (*transient disturbance*) pada jaringan transmisi.

Selain dari itu, peralatan kendali mekanik pada umumnya menjadi aus (*wear out*) sehingga penggunaannyapun perlu dibatasi. Sebagai contoh, transformer yang dipakai untuk mengkompensasi beban yang berubah (*shifting load*) biasanya hanya dibatasi kurang dari 12 kali perubahan pada tap nya dan memakan waktu lebih dari satu menit (banyak cycle) untuk setiap perubahan. Dilain pihak, *FACTS* mampu melakukan fungsi yang sama dengan kecepatan 2 kali perubahan dalam satu cycle.

FACTS dapat memanfaatkan jaringan transmisi daya listrik secara *fleksibel* pada tingkat yang dekat dengan batas panas (*thermal limit*) transmisi secara aman dengan menghindari kemungkinan terjadinya kelebihan beban (*overloading*). Hal ini sangat penting karena akan menambah kapasitas penyediaan daya listrik pada jaringan transmisi yang sama. Dengan demikian, *FACTS* akan menghemat banyak biaya untuk penambahan penyediaan daya listrik karena menghindari pembangunan jaringan transmisi baru. Keuntungan ekonomi lain dari pengoperasian jaringan transmisi pada batas panas ini adalah dengan dapat diturunkannya generation reserve margin yang biasanya disediakan untuk keperluan cadangan (*backup*). Dengan peralatan *FACTS*, *generation reserve margin* dapat dikurangi dari 18% menjadi kurang dari 15%. Selisih dari penurunan tersebut

tentunya berarti peningkatan efisiensi penggunaan daya listrik yang disediakan oleh generator dan secara bersamaan akan berarti pula penambahan penyediaan kebutuhan daya listrik.

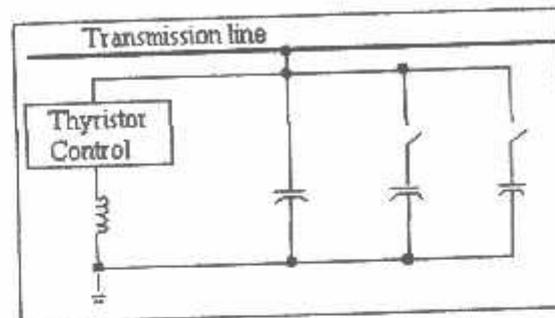
Keuntungan utama yang menjadikan *FACTS* sebagai teknologi baru yang sangat menarik untuk kendali aliran daya listrik pada sistem transmisi. Namun perlu diingat, bahwa yang membuat *FACTS* menjadi teknologi aliran daya listrik masa depan adalah karena kemampuannya untuk memberikan kemudahan dan kelebihan yang tidak didapatkan dari peralatan aliran daya listrik mekanik. Kemudahan dan kelebihan yang dimaksud mencakup hal peningkatan kualitas dan kapasitas jaringan transmisi listrik baik itu dari segi pemeliharaan maupun pengoperasian. Dengan *FACTS*, jaringan transmisi listrik akan lebih terjamin kestabilannya, lebih aman dari gangguan, dan yang paling penting adalah lebih meningkatnya tingkat efisiensi dari pemakaian jaringan transmisi yang tentunya memberi keuntungan ekonomi karena meningkatnya kapasitas aliran daya listrik tanpa membuat jaringan transmisi baru. Keuntungan ekonomi yang lain juga didapatkan karena *FACTS* adalah peralatan yang berbasis elektronik sehingga selain reaksinya cepat, juga akan lebih terpercaya dan tahan lama dibandingkan dengan peralatan yang berbasis mekanik.

Adapun peralatan-peralatan kompensasi yang merupakan bagian dari *FACTS* device adalah:

2.3.1. *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*

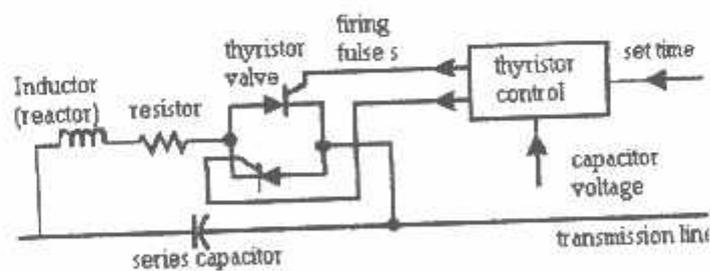
dilaksanakan tahun 1978 pada jaringan transmisi 115kV *Minnesota Power & Light* dan telah berhasil menunjukkan perbaikan kendali stabilisasi dan tegangan pada jaringan transmisi tersebut. Gambar 2.7 menunjukkan contoh dari topologi SVC.



Gambar 2.9
Static VAR Compensator

2.3.2. NGH – Sub Synchronous Resonance (SSR)

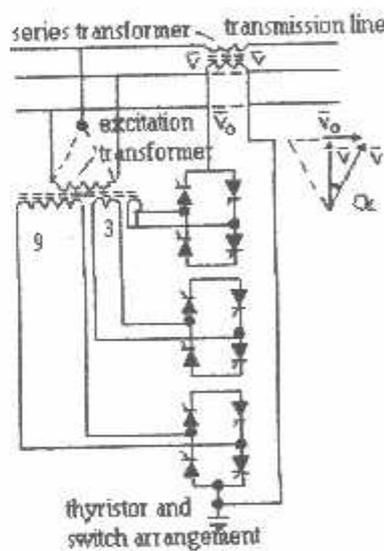
Alat berikutnya yang dikembangkan pada generasi pertama diberi nama *NGH-SSR* (*Narain G. Hingorani – SubSynchronous Resonance*) Damper. Alat ini dirancang untuk mengatasi permasalahan subsynchronous resonance (SSR) yang ditemukan pada jaringan transmisi listrik AC. Jaringan transmisi 500kV Southern 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 2.8 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 2.10
NGH - SubSynchronous Resonance

2.3.4 .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 2.10 menunjukkan konsep dari *TCPR* ini. Penambahan sudut fasa 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.

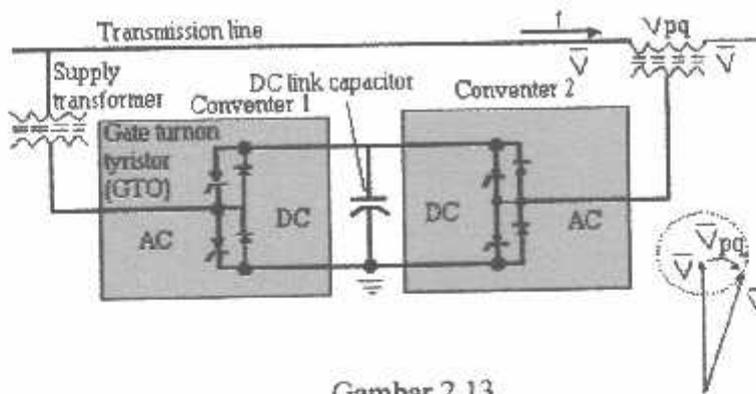


Gambar 2.12
Thyristor Controlled Phase angle Regulator (TCPR)

2.3.5 .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 2.11, pada *UPFC*, vektor tegangan V_{pq} yang dihasilkan oleh

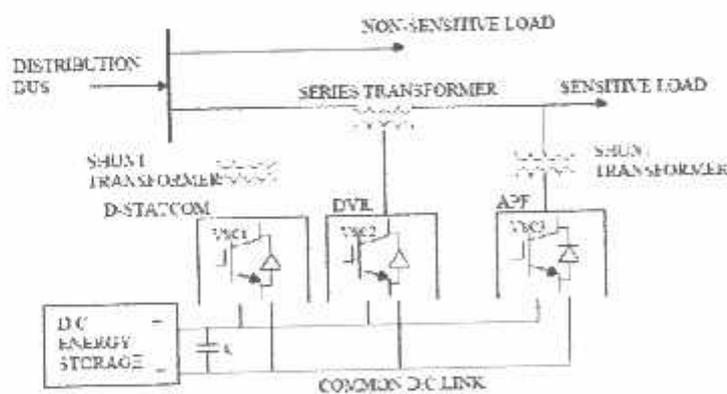
inverter disuntikkan secara seri ke jaringan transmisi. Tegangan searah (dc) yang digunakan inverter ini didapatkan dari hasil penyearah (*rectification*) tegangan dari transmisi yang sama. *UPFC* merupakan alat kendali daya aktif dan daya reaktif secara terpisah pada transmisi listrik dan dapat dipasang 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 2.13
Unified Power Flow Controller (UPFC)

2.3.6. Universal Custom Power Conditioner (UCPC)

Alat UCPC memiliki kesamaan konstruksi dengan *unified power flow controller (UPFC)*. UCPC 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 2.14
Universal Custom Power Conditioner (UCPC)

Secara simultan, komponen shunt *UCPC* menginjeksi arus dalam sistem *AC* seperti arus yang memasuki bus dimana *UCPC* dihubungkan adalah sinusoida 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 penyaring daya aktif. Konverter Sumber Tegangan 1 pada gambar 2.14 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.

2.4. Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

Pengoperasian sistem jaringan transmisi daya listrik kini telah memasuki era baru. Dalam tahapan baru ini, transmisi daya listrik tidak hanya akan menjadi lebih terjamin dan lebih terkendali dalam pengaturannya, tetapi juga akan menjadi lebih efisien dalam pemanfaatannya. Peningkatan pesat ke arah pemanfaatan sistem jaringan transmisi listrik secara optimal ini dimungkinkan dengan keberadaan dan semakin dewasanya aplikasi teknologi di bidang elektronika daya pada khususnya dan teknologi semikonduktor pada umumnya. Teknologi kendali terbaru untuk transmisi daya listrik ini populer dengan sebutan *FACTS (Flexible AC Transmission System)*, pada awal pengembangannya teknologi *FACTS* ditujukan untuk menjawab permasalahan dalam peningkatan kapasitas pengaliran daya listrik pada sistem jaringan transmisi dan juga untuk menyediakan peralatan kendali daya listrik yang terpercaya pada jalur transmisi yang diinginkan.

TCSC sebagai bagian dari teknologi *FACTS* merupakan teknologi tegangan tinggi yang mampu menjawab kebutuhan teknologi selama ini yaitu memperbaiki kinerja jaringan transmisi tenaga listrik agar lebih efisien dan dengan biaya yang ekonomis. Dengan *TCSC* kita dapat meningkatkan kapasitas aliran daya tanpa harus membangun jaringan transmisi baru maupun dengan meningkatkan pembangkitan tenaga listrik di sisi pembangkit, karena kedua hal tersebut membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit.

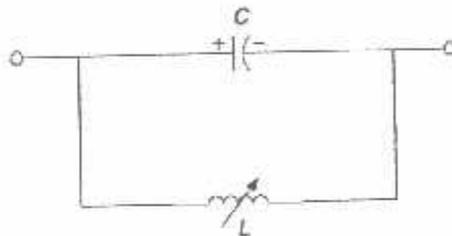
TCSC ini merupakan perluasan dari kapasitor seri sederhana melalui penambahan inductor terkontrol yang dikontrol dengan thyristor . Penempatan sebuah reactor control

secara paralel dengan sebuah kapasitor seri memungkinkan kesinambungan pada perubahan sistem secara cepat dan tepat.

2.4.1. Prinsip kerja TCSC

TCSC merupakan reaktansi seri kapasitif terkontrol yang dapat mengatur aliran daya secara kontinu dengan range yang lebih lebar. TCSC 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.

Untuk mempermudah dalam memahami prinsip kerja dari TCSC ini dapat dilakukan dengan menganalisa sebuah rangkaian yang terdiri dari variabel induktor yang terhubung paralel dengan *fixed kapasitor (FC)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15

Variabel Induktor Terhubung Paralel Dengan Kapasitor

Impedansi ekivalen Z_{eq} dari rangkaian LC diatas adalah sebagai berikut :

$$Z_{eq} = \left(j \frac{1}{\omega C} \right) \parallel (j\omega L) = j \frac{1}{\omega C} \frac{1}{\omega L} \dots \dots \dots (2-14)$$

Impedansi dari fixed capasitor sendiri adalah : $-j (1 / \omega C)$

- Jika $\omega C - (1/\omega L) > 0$ atau $\omega > (1/\omega C)$, maka reaktansi FC lebih kecil daripada reaktansi variabel reactor yang terhubung paralel dengan FC. Dalam hal ini didapatkan reaktansi kapasitif variabel. Selain itu inductor tersebut menaikkan reaktansi ekivalen kapasitif diatas harga fixed kapasitor itu sendiri.
- Jika $\omega C - (1/\omega L) = 0$, maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan impedansi kapasitif menjadi tak terhingga, kondisi semacam ini tidak diinginkan.

- c. Jika $\omega C - (1/\omega L) < 0$, maka kombinasi rangkaian LC akan bersifat induktif yang nilainya melebihi fixed inductor itu sendiri. Kondisi operasi ini seperti biasanya disebut sebagai induktif vernier mode pada mode operasi $TCSC$.

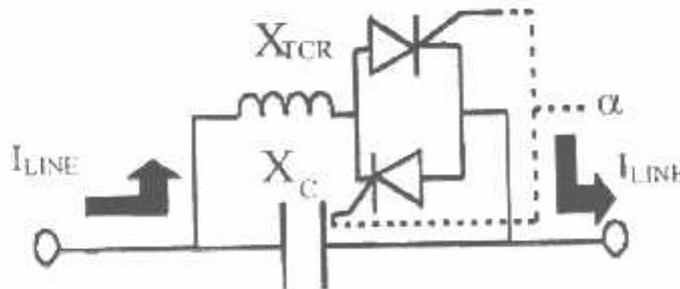
Pada mode variabel kapasitif ini reaktansi induktif akan semakin bertambah sedangkan reaktansi kapasitif akan semakin berkurang. Reaktansi kapasitif ekuivalen minimum didapatkan pada saat harga reaktansi induktif sangat besar atau ketika variabel inductor dalam keadaan *open circuit* sehingga pada keadaan semacam ini nilainya sama dengan reaktansi FC itu sendiri.

Karakteristik dari $TCSC$ ini hampir sama dengan kombinasi rangkaian LC paralel. Perbedaannya adalah pada rangkaian LC paralel ini bentuk gelombang dan arus tegangannya adalah sinusoidal murni, sedangkan $TCSC$ bentuk gelombang arus dan tegangan tidak sinusoidal murni. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh switching pada thyristor yang mengakibatkan bentuk gelombang arus dan tegangan terdistorsi.

2.4.2. Mode operasi $TCSC$

a. *Bypassed-Thyristor Mode*

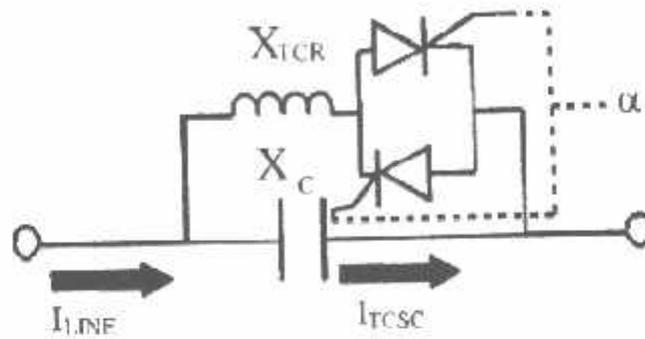
Pada *bypassed mode* ini kedua thyristor terkonduksi penuh tanpa delay dengan sudut konduksi 180° , sehingga sebagian besar arus (I_{line}) mengalir melalui inductor, sehingga $TCSC$. Mode operasi ini bisa disebut sebagai *thyristor switched reactor (TSR) mode*. Pada mode ini arus dan tegangan berbentuk sinusoidal murni. Arus kapasitor $i_C(t)$ mendahului 90° dan arus inductor $i_L(t)$ tertinggal 90° terhadap tegangan sumber $V_{line}(t)$.



Gambar 2.16
Bypassed-Thyristor Mode

b. Blocked Thyristor Mode

Pada mode ini kedua *thyristor* dalam kondisi tidak konduksi sehingga arus saluran seluruhnya mengalir melewati kapasitor dalam kondisi tersebut *TCSC* berfungsi sepenuhnya sebagai kompensator seri. Sehingga reaktansi ekuivalen dari pada *TCSC* adalah sama dengan reaktansi dari *fixed capacitor (FC)*.

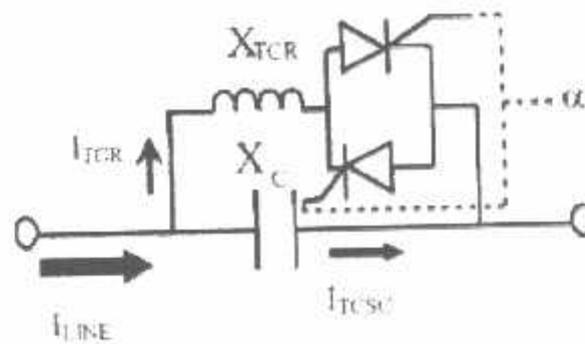


Gambar 2.17
Blocked-Thyristor Mode

c. Capacitive Vernier Mode

Pada mode ini arus yang mengalir melalui induktor lebih kecil dibanding dengan arus yang mengalir pada kapasitor. Dimana arus inductor berlawanan dengan arus kapasitor sehingga menyebabkan sirkulasi aliran arus pada *TCSC*. Sirkulasi arus tersebut akan menaikkan tegangan pada kapasitor, sehingga secara efektif juga akan menaikkan reaktansi ekuivalen kapasitif dan level kompensasi seri pada saluran. Dengan kata lain kapasitif vernier mode *TCSC* bersifat kapasitif. Untuk membatasi kemungkinan terjadinya resonansi, maka *TCSC* dioperasikan dengan periode sudut penyalaan antara $\alpha_{min} < \alpha < 180^\circ$. Jika arus loop akan bertambah besar maka sudut penyalaan α akan semakin kecil dari 180° sampai α_{min} . Reaktansi maksimum *TCSC* diperoleh apabila $\alpha = \alpha_{min}$, yang biasanya besar reaktansi *TCSC* sama dengan dua atau tiga kali dari pada harga reaktansi kapasitor (*FC*) pada frekuensi fundamental. Tegangan dan arus *TCSC* pada saat capacitive vernier mode dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- Periode $-\beta < \omega t < \beta$, pada periode ini thyristor sedang konduksi
- Periode $\beta < \omega t < 180^\circ - \beta$, pada periode ini thyristor tidak konduksi



Gambar 2.18
Capacitive Vernier Mode

d. Inductive Vernier Mode

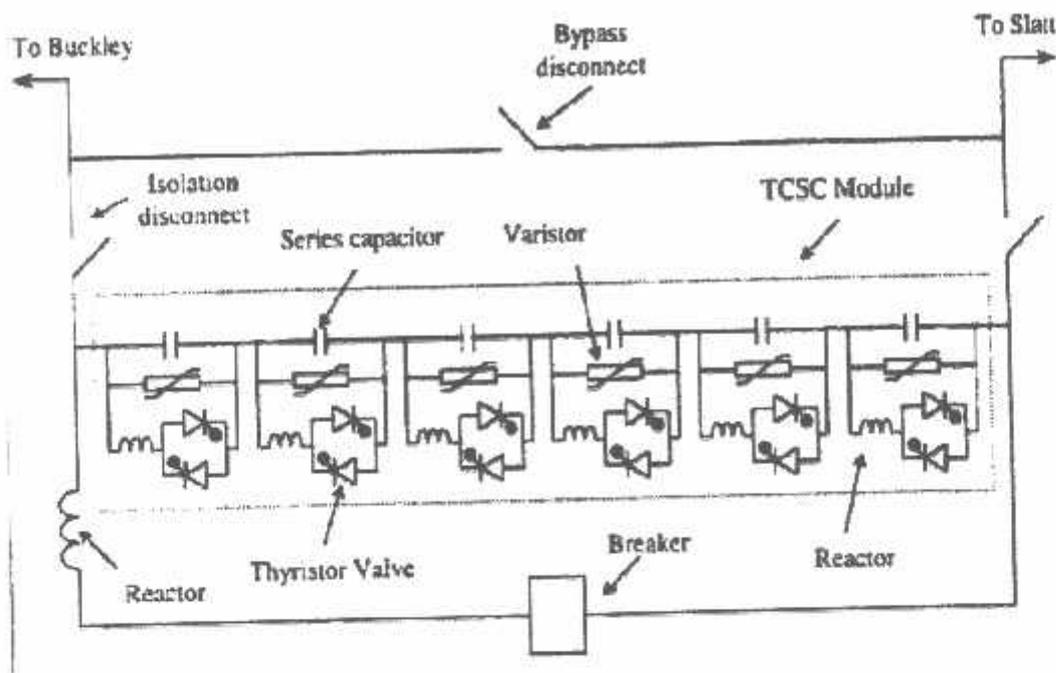
Mode ini merupakan kebalikan dari *mode capacitive vernier*, dimana arus yang melalui inductor lebih besar dibandingkan dengan arus yang melalui kapasitor, sehingga pada mode ini TCSC bersifat induktif. Pada mode vernier seperti yang telah disebutkan di atas, TCSC dapat mengatur reaktansinya menjadi kapasitif maupun induktif secara kontinu. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengubah sudut penyalan α pada range periode yang telah ditentukan.

Bagaimanapun juga perubahan reaktansi ekivalen TCSC dari kapasitif ke induktif atau sebaliknya biasanya tidak dilakukan, hal ini disebabkan karena terdapat daerah resonansi diantara dua mode operasi vernier tersebut. Berdasarkan pada macam-macam mode operasi thyristor tersebut maka di dapatkan dua macam bentuk TCSC, yaitu :

- a. *Thyristor switched series capacitor (TSSC)* yang hanya mengontrol reaktansi kapasitif.
- b. *Thyristor controlled series capacitor (TCSC)* yang dapat mengontrol reaktansi kapasitif maupun reaktansi induktif.

2.4.3. Rangkaian dasar dan kontrol TCSC

Pada gambar 2.19 dapat dilihat rangkaian dasar dari TCSC yang terdiri atas kapasitor seri yang terhubung paralel dengan inductor. Induktor ini memiliki harga reaktansi yang dapat diubah-ubah, sehingga dapat menentukan reaktansi total dari TCSC itu sendiri. Perubahan nilai reaktansi dari TCSC dapat ditentukan dengan mengubah sudut penyalan (α) thyristor yang terhubung dengan inductor.



Gambar 2.21
TCSC Yang Dimodelkan Cascade

2.4.4. Keuntungan Penggunaan TCSC

Penggunaan thyristor controlled series capacitor (TCSC) memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut :

- Dapat mengontrol level kompensasi pada saluran transmisi secara continue dan cepat.
- Dapat mengoptimalkan aliran daya pada saluran transmisi.
- Dapat meredam osilasi pada local area maupun inter area.
- Dapat meredam osilasi akibat subsynchronous resonance. Dimana pada frekuensi subsynchronous resonance. Dimana pada frekuensi subsynchronous, reaktansi TCSC akan bersifat resistif induktif, subsynchronous resonance tidak boleh dibiarkan terjadi terlalu lama untuk itu harus diredam.
- TCSC dapat dipakai untuk menaikkan tegangan, dimana TCSC yang terdapat kapasitor seri dapat bersifat reaktansi kapasitif yang dapat mengkompensasi reaktansi saluran sehingga regulasi tegangan dapat dikurangi.

- f. Dapat memperkecil arus hubung singkat. Pada saat terjadi hubung singkat *TCSC* dapat berubah bentuk *controllable capacitance* ke bentuk *controllable inductance*, sehingga besarnya arus hubung singkat dapat dikurangi.
-

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini mulai dari studi literatur, baik dari jurnal dan pustaka. Identifikasi masalah pada sistem tenaga listrik ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris, dengan menggunakan parameter sudut rotor. Pengumpulan data lapangan berupa data generator, data trafo, data saluran transmisi. Dan untuk penentuan maka dilakukan pemodelan menggambar *single line* diagram dalam *PSCAD* kemudian dilakukan *running* simulasi, apakah kondisi system tenaga listrik kembali ke keadaan normal setelah mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan menggunakan parameter sudut rotor. Jika tidak, maka dilakukan pemodelan *TCSC* dengan *Power System Computer Aided Design (PSCAD)* yang berfungsi untuk meredam ayunan pada rotor sehingga system mendekati kondisi stabil ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris. Analisis dilakukan dengan dua kondisi yaitu sebelum dan sesudah pemasangan *TCSC* ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris. Hasil simulasi berupa grafik ayunan sudut rotor, sebelum dan sesudah pemasangan *TCSC* yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Diagram alir metodologi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5

3.2. Software *PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation*.

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

PSCAD juga dikenal dengan nama *PSCAD/EMTDC* karena *EMTDC* merupakan bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan *PSCAD* untuk mendukung fungsi tampilan grafis *PSCAD*. Dengan adanya fasilitas *EMTDC*, software ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu sistem tenaga listrik beserta sistem kontrolnya secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*time domain instantaneous response*).

Fungsi desain, analisis dan tampilan grafis untuk suatu system tenaga listrik yang akan di analisis dapat ditampilkan dalam suatu paket dengan dilengkapi fasilitas control unit, meter dan online plotting grafis yang interaktif. Dengan kemampuan ini, *software PSCAD/EMTDC* sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian dan konsultan sebagai alat analisa yang utama.

Beberapa contoh aplikasi *software PSCAD/ EMTDC* dalam bidang system energi listrik adalah sebagai berikut:

1. Menentukan over voltage yang muncul pada power sistem akibat adanya gangguan atau operasi circuit breaker.
 2. Mensimulasikan *over voltage* akibat adanya gangguan sambaran petir.
 3. Menentukan harmonisa yang dibangkitkan oleh peralatan yang berbasis switching seperti *SVC, HVDC link, STATCOM*, drives untuk mesin listrik. *PSCAD* memiliki pemodelan peralatan elektronika daya yang akurat seperti model *thyristor, GTO, IGBT, diode* dan sebagainya dilengkapi dengan system kontrol analog dan digital
 4. Analisa kualitas daya pada system tenaga listrik yang terkait dengan permasalahan harmonisa, *flicker* dan *resonansi*
 5. Apikasi pada jaringan distribusi dan transmisi
 6. Menentukan energi maksimum pada suatu arrester untuk suatu gangguan
 7. Tuning dan desain system kontrol untuk performa maksimum
 8. Analisis pengaruh *Sub Synchronous Resonance* ketika bertemunya sebuah mesin dan turbin berinteraksi dengan peralatan kompensasi atau peralatan elektronika daya.
 9. Pemodelan *STATCOM* atau *VSI (Voltage Source Inverter)* dilengkapi dengan model kontrol yang detail
 10. Studi interaksi antara *SVC, HVDC* dan peralatan *non linear* yang lain
 11. Investigasi instabilitas karena resonansi harmonisa atau system kontrol
 12. Simulasi untuk studi koordinasi isolasi dalam system tenaga listrik
 13. Simulasi untuk berbagai tipe *VSD (Variable Speed Drives)*
 14. System pada industri termasuk controller untuk kompensasi, *drives*, filter dan sebagainya
 15. Studi untuk efek *transient* dari *DG (Distributed Generation)* seperti angin, atau mikro tubin pada *grid* (jaringan) system
 16. Switching transisent pada kapasitor
-

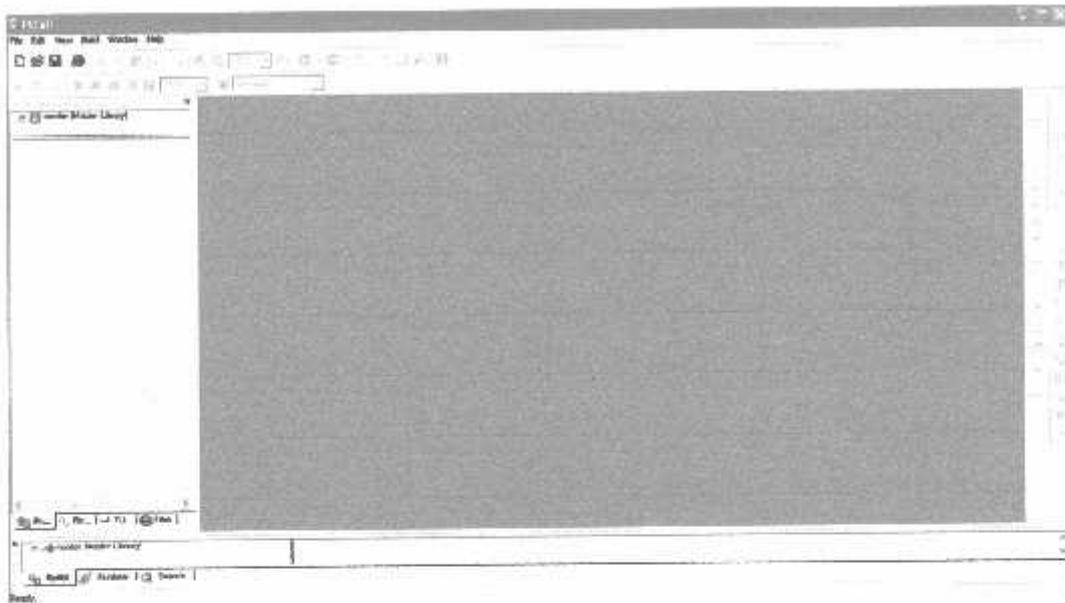
17. Studi pengaruh ketidakseimbangan system transmisi pada performa sistem secara keseluruhan

Untuk mendukung berbagai macam skenario simulasi pada sistem tenaga listrik, *PSCAD* dilengkapi dengan *library* dan model peralatan mulai dari elemen pasif dan system kontrol yang sederhana sampai dengan model yang kompleks seperti mesin elektrik, peralatan *FACTS* dan system transmisi serta model penghantar dan kabel. Apabila model yang diinginkan belum ada, *PSCAD* menyediakan fasilitas untuk editing dan desain model sesuai dengan kebutuhan baik dengan menggabungkan model yang sudah ada maupun dengan menggunakan fasilitas editor desain. Berikut beberapa model yang dapat digunakan dalam *software PSCAD*:

1. Resistor, Induktor dan Kapasitor
 2. *Mutually coupled windings*, seperti transformator
 3. System transmisi dan kabel Current and voltage sources
 4. *Switches* dan *breakers*
 5. Relay pengaman
 6. *Diode, thyristor* dan *GTOs*
 7. Fungsi kontrol analog dan digital
 8. Mesin *AC* dan *DC*, *exciters*, *governor*, *stabilizers* dan model *inertial*
 9. Fungsi meters dan pengukuran
 10. Kontrol generic *DC* dan *AC*
 11. *HVDC*, *SVC*, dan *FACTS* kontroler
 12. Sumber tenaga angin, *turbine* dan *governor*
-

3.3. Memulai *PSCAD/EMTDC Power Simulation*.

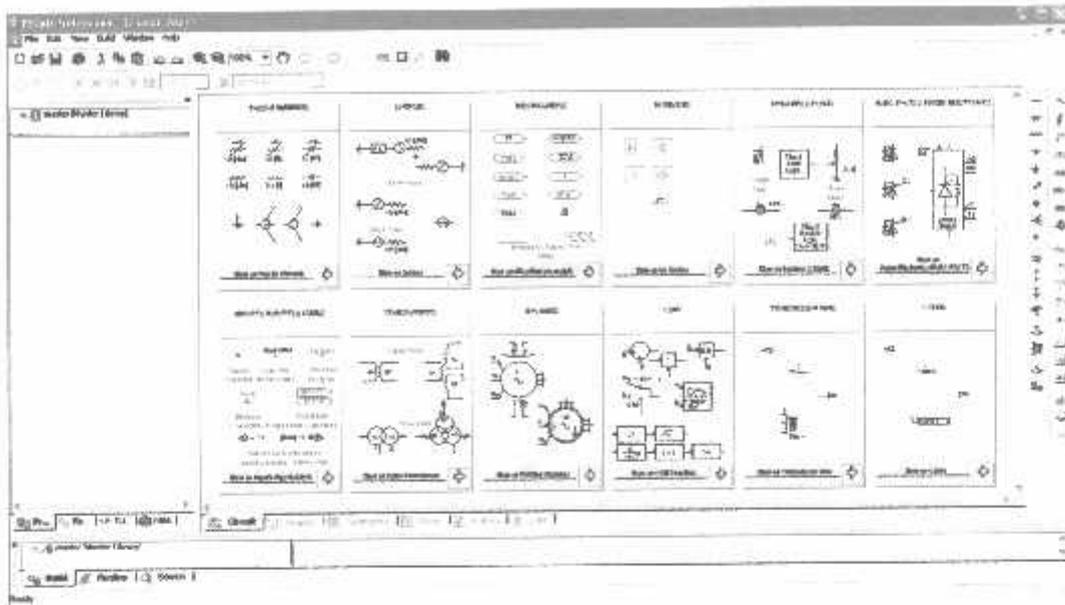
Tampilan Utama *PSCAD Power Simulation* adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1

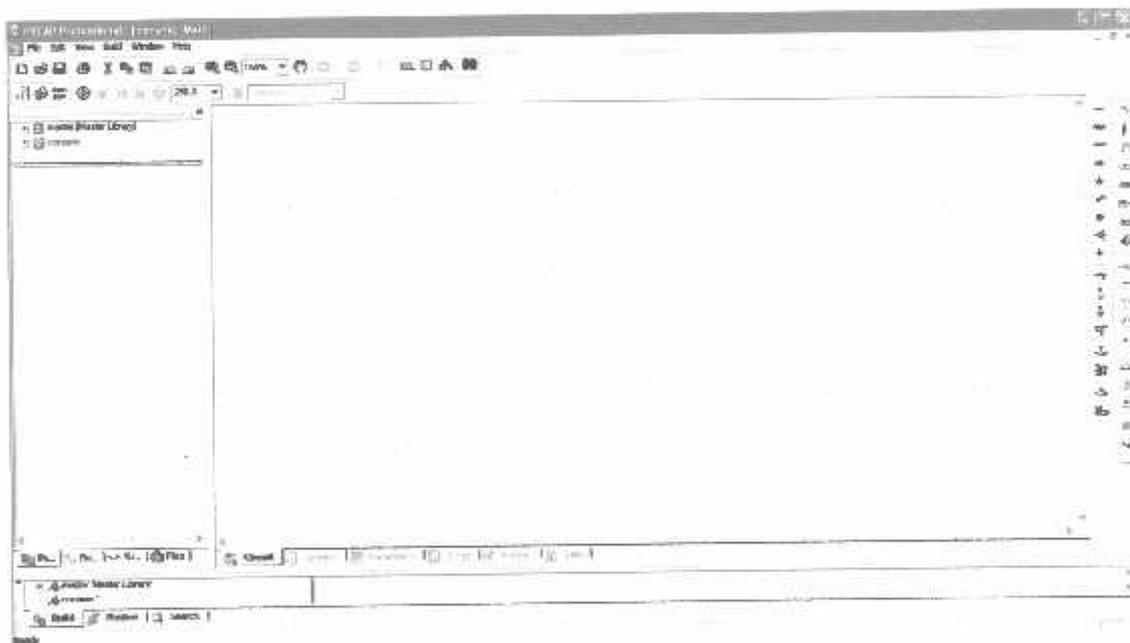
Tampilan Utama *Software PSCAD/EMTDC Power Simulation*

- a. 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 3.5.
- b. 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.

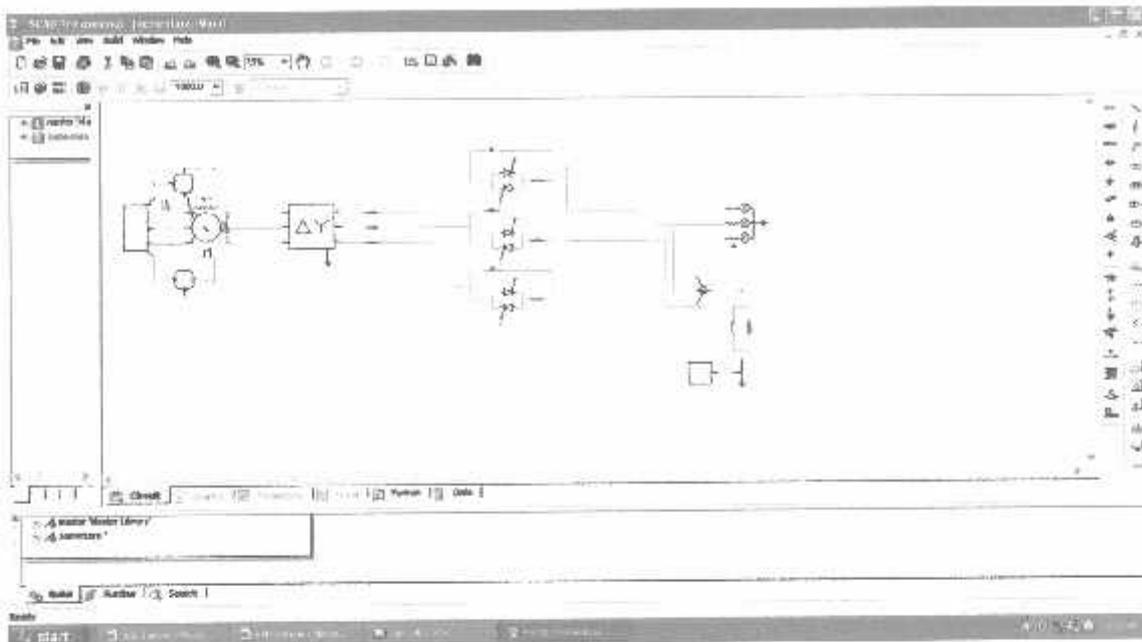


Gambar 3.2
Tampilan *Master Library*

- c. *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



Gambar 3.4

Tampilan *Single Line* Sistem Tenaga Listrik PLTGU Sengkang Menggunakan *TCSC* di *PSCAD*.

3.4. Model pengontrolan *TCSC*.

Untuk memperbaiki stabilitas transient, disimulasikan dalam pengujian sistem masing-masing teknik kompensasi, juga untuk meningkatkan stabilitas transient. Dengan mengacu ke *TCSC*, tujuan dari skema kontrol untuk mempertahankan stabilitas *transient* dengan parameter sudut rotor ketika terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa simetris.

3.5. Bahan dan Alat yang Diperlukan

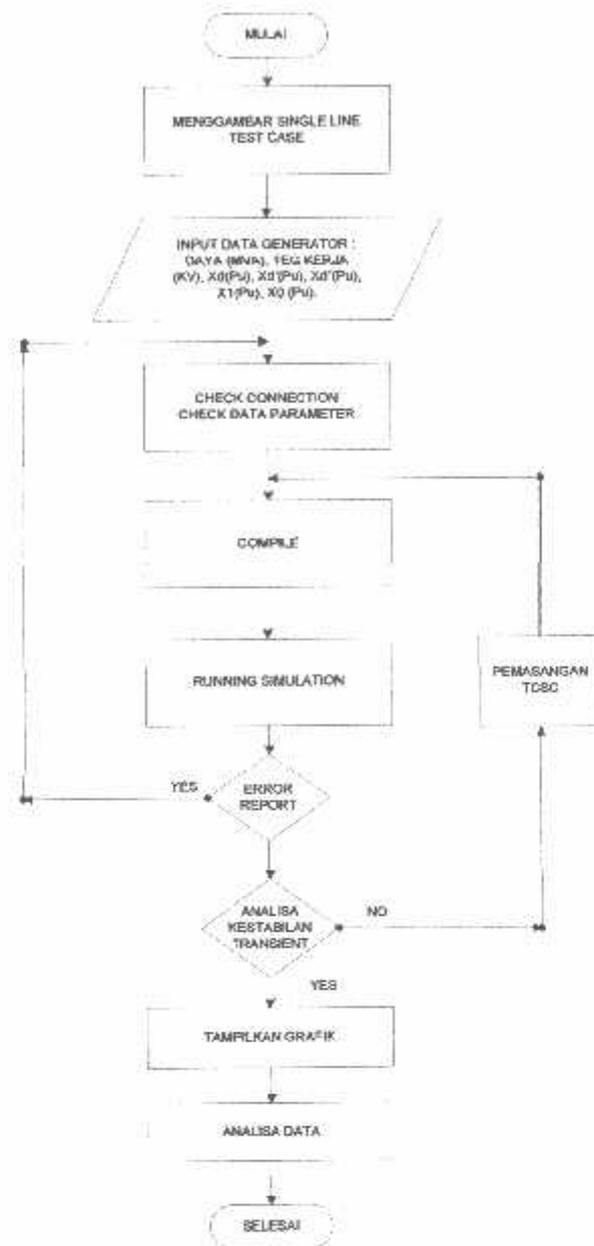
Bahan dan alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah:

- a. Sebuah komputer jinjing (*Laptop*) dengan spesifikasi:
 - *Operating system: Windows XP professional.*
 - *Processor : Intel(R) Core (TM)2 CPU T6500 2,10 GHz,2,00 GB RAM.*

3.6. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di sistem tenaga listrik PLTGU Sengkang dan di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik (SSTE) ITN Malang.

3.7. Flowchart Simulasi Sistem TCSC



Gambar 3.5
Flowchart Simulasi Sistem Dengan TCSC Menggunakan PSCAD

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Pembangkit di Wilayah SULSELTRABAR

Saat ini sistem tenaga listrik Sulawesi selatan disuplai oleh empat unit pembangkit utama, yaitu:

- a. PLTA Bakarua, yang terdiri dari dua generator dan dua transformator daya dua kumparan
- b. Pusat pembangkit tenaga listrik Tello di Makassar, yang terdiri dari:
 - PLTD, yang terdiri dari enam generator dan lima transformator daya dua kumparan.
 - PLTG, yang terdiri dari lima generator dan lima transformator daya dua kumparan.
 - PLTU, yang terdiri dari dua generator dan dua transformator daya dua kumparan.
- c. PLTG Sengkang yang terdiri dari tiga generator dengan tiga transformator daya dua kumparan.
- d. PLTD Suppa, yang terdiri dari enam generator dengan dua transformator daya dua kumparan

4.2. Data Sistem Kelistrikan PLTGU Sengkang

- a. Data Generator Pada PLTGU Sengkang

Adapun data Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Sengkang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1
Data Generator PLTGU Sengkang

Jenis Pembangkit	Daya (MVA)	Tegangan Kerja (kV)	Arus (kA)	X_d' (pu)	X_d'' (pu)	X_1 (pu)	X_0 (pu)
ABB unit1	68.9	11.5	19.82	0.29028	0.17417	0.24673	0.1016

Sumber: (PLTGU, 2010)

b. Data Transformator 3 Fasa

Adapun data Transformator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Sengkang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2
Data Transformator PLTGU Sengkang

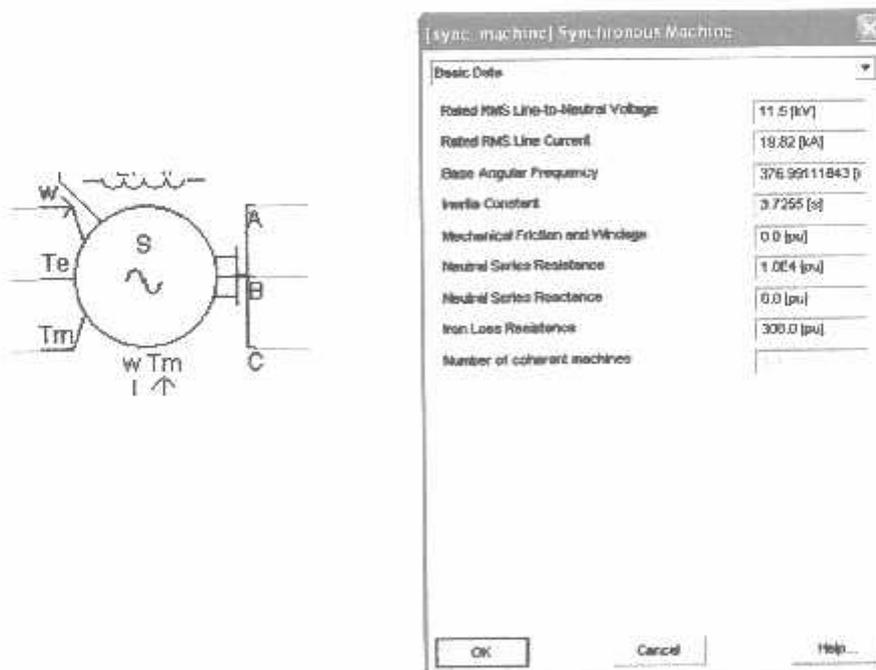
Daya	70 MVA
Tipe Konstruksi	Out Door
Tegangan Primer/Sekunder	11,5 kV / 150 kV
Arus Primer/Sekunder	-
Hubungan	Δ/Y
Frekuensi	50 Hz

Sumber: (PLTGU, 2010)

4.3 Pemodelan Sistem PLTGU Sengkang dan TCSC Dalam PSCAD

a. Generator 3 Fasa

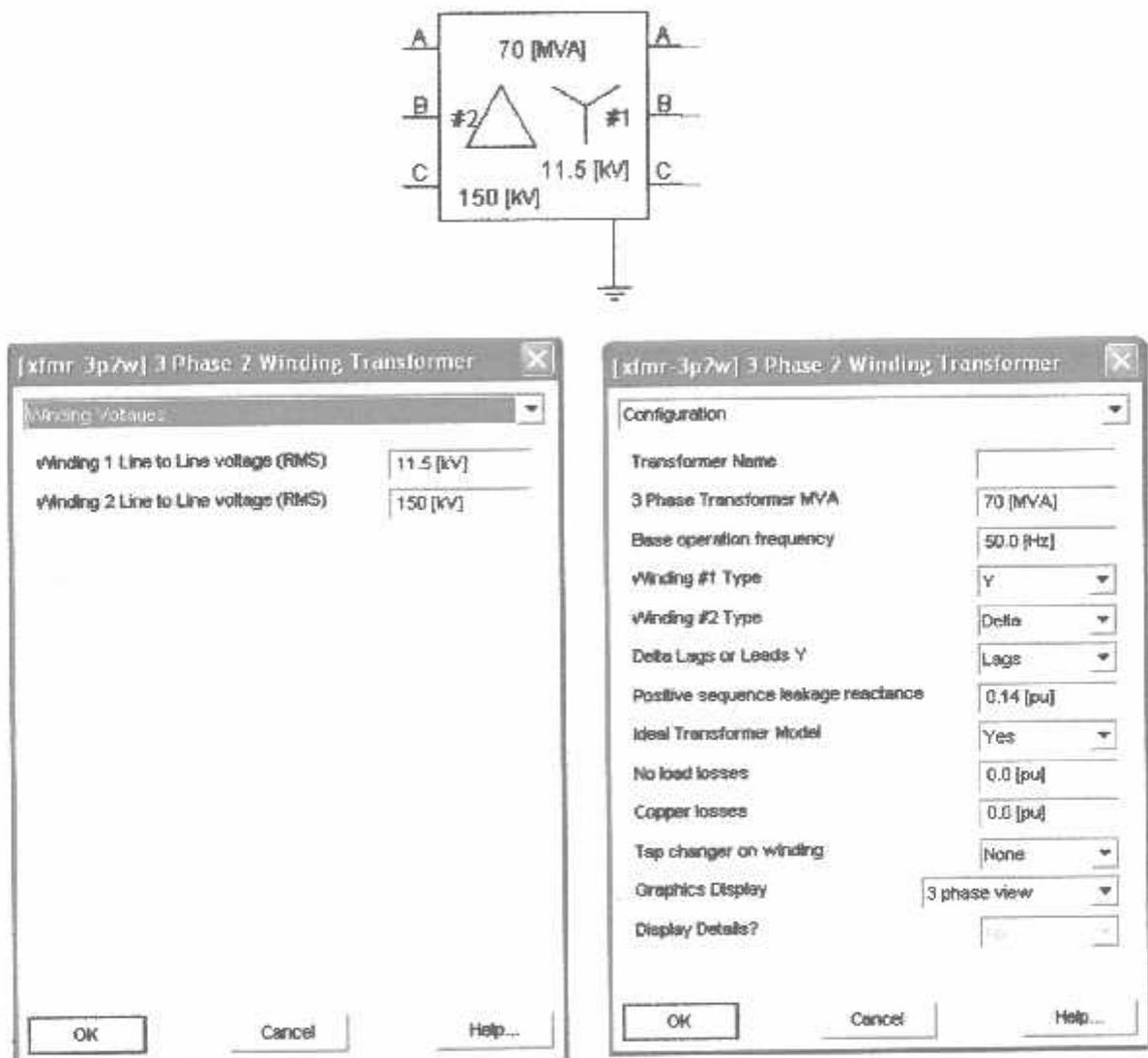
Gambar 4.1 dibawah ini adalah pemodelan generator tiga fasa dalam *PSCAD*. Sedangkan pada sisi kanan *title bar* untuk input data data generator.



Gambar 4.1
Pemodelan dan Input Data Generator

b. Trafo 3 Fasa

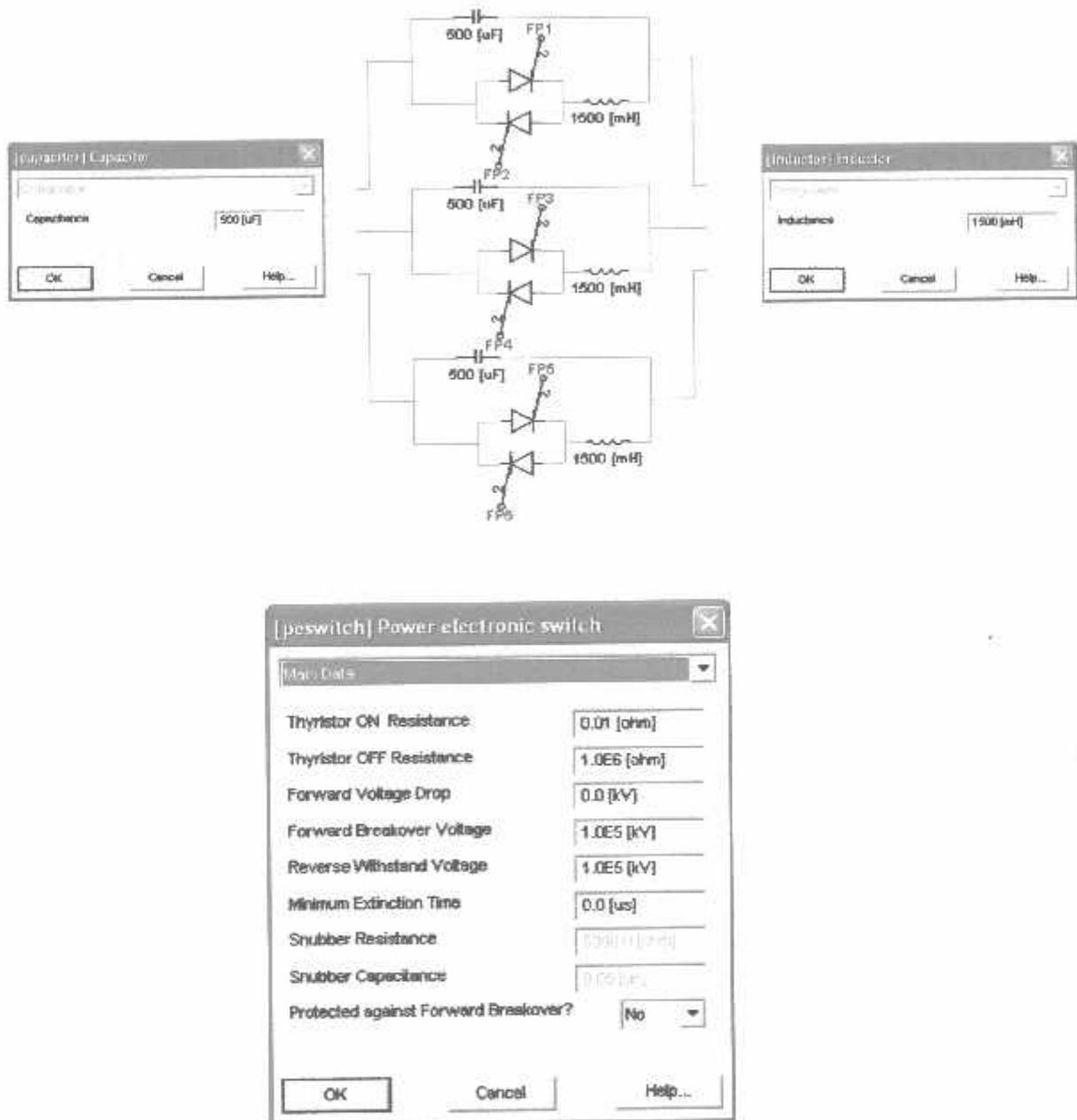
Gambar 4.2 dibawah ini adalah pemodelan trafo dalam *PSCAD*, dan input data berupa kapasitas trafo 70 MVA, tegangan kumparan primer 11,5 kV dan kumparan skunder 150 kV.



Gambar 4.2
Pemodelan dan Input Data Trafo

c. Pemodelan *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*

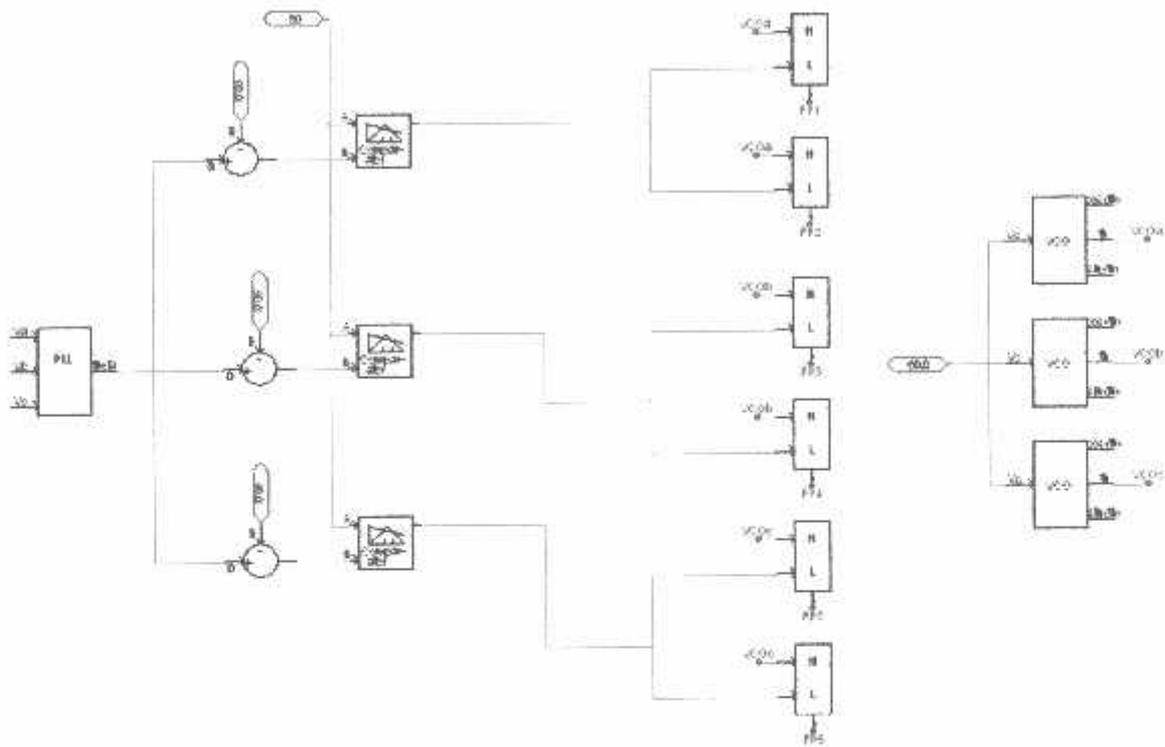
Gambar 4.3 dibawah ini adalah pemodelan *Thyristor Controlled Series Capacitor* dalam *PSCAD*, dan input data kapasitor, induktor dan *power electronic switch*.



Gambar 4.3
Pemodelan dan Input Data *TCSC*

d.Kontrol TCSC dalam PSCAD

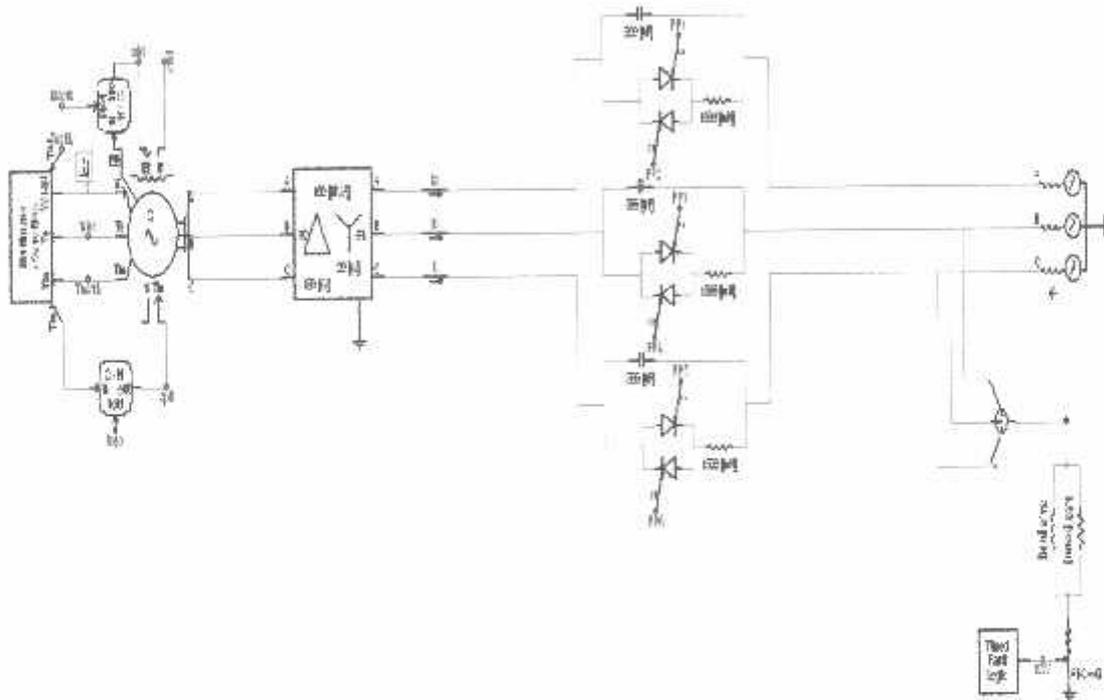
Gambar 4.4 dibawah ini adalah pemodelan control *Thyristor Controlled Series Capacitor* dalam PSCAD.



Gambar 4.4
Kontrol Pada TCSC

e. Pemodelan sistem secara keseluruhan

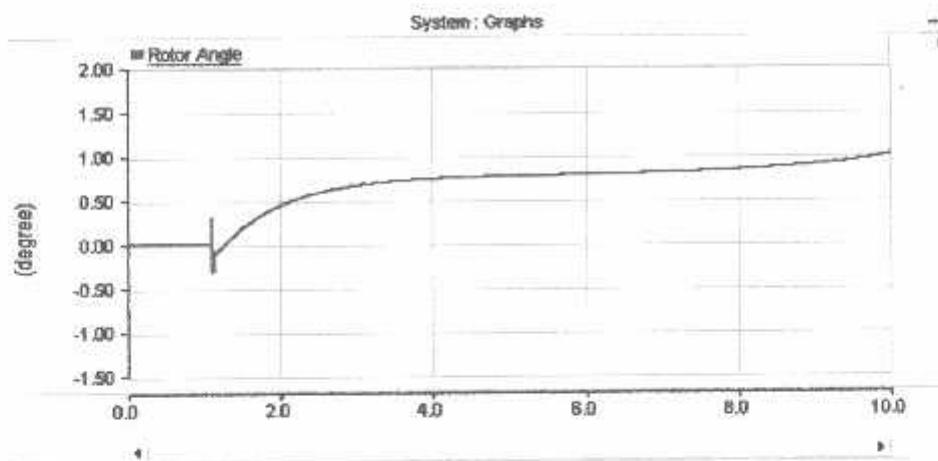
Gambar 4.5 dibawah ini adalah pemodelan single line sistem tenaga listrik PLTGU Sengkang telah disimulasikan dalam *software PSCAD* setelah pemasangan *Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)*



Gambar 4.5
Tampilan *Single Line* Sistem Tenaga Listrik PLTGU Sengkang Menggunakan *TCSC* di *PSCAD*

4.4 Hasil Simulasi

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pemodelan simulasi menggunakan *software PSCAD*. Gambar Grafik 4.1 dibawah ini menunjukkan sistem pada keadaan normal.

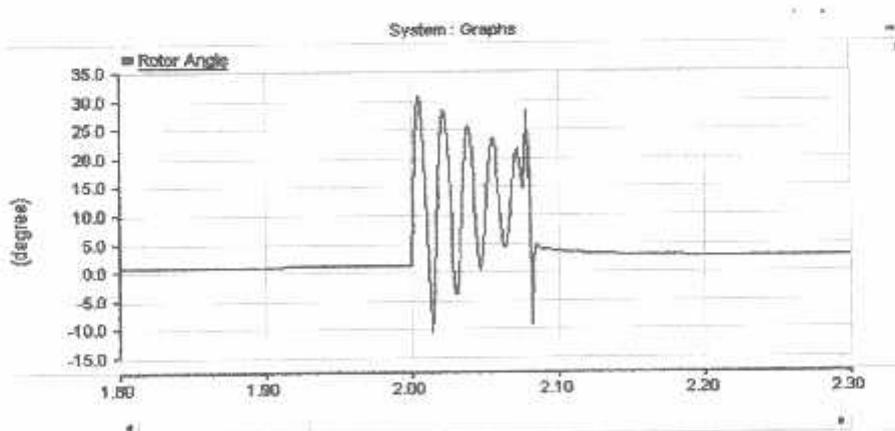


Gambar Grafik 4.1
Sistem pada keadaan normal

Pada gambar grafik 4.1 diatas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor ketika system pada keadaan normal atau system tidak mengalami gangguan yang disebabkan gangguan hubung singkat tiga fasa simetris. Pada keadaan ini rotor berada pada kondisi stabil atau tidak mengalami ayunan.

4.4.1 Simulasi sistem sebelum pemasangan TCSC

Pada Gambar grafik 4.2 dibawah ini menunjukkan system pada kondisi gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris pada $t = 2$ s



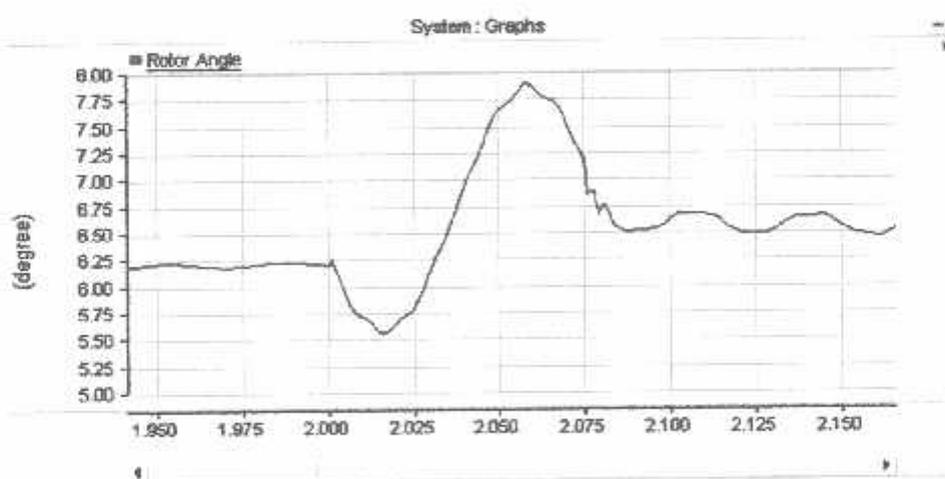
Gambar grafik 4.2
Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Pada $t = 2$ s

Pada gambar grafik 4.2 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris tanpa pemasangan TCSC. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa simetris, rotor mengalami ayunan yang menyebabkan sudut rotor mengalami perubahan sebesar 40° dari keadaan normal.

4.4.2 Simulasi sistem sesudah pemasangan TCSC

Untuk melakukan perbaikan stabilitas *transient* maka pada penelitian ini, akan dilakukan simulasi TCSC dengan variasi pemasangan kapasitor sebagai berikut: $C = 500 \mu\text{F}$, $C = 700 \mu\text{F}$, $C = 900 \mu\text{F}$, $C = 1100 \mu\text{F}$, $C = 1500 \mu\text{F}$ dengan sudut picu (α) sebesar 90° .

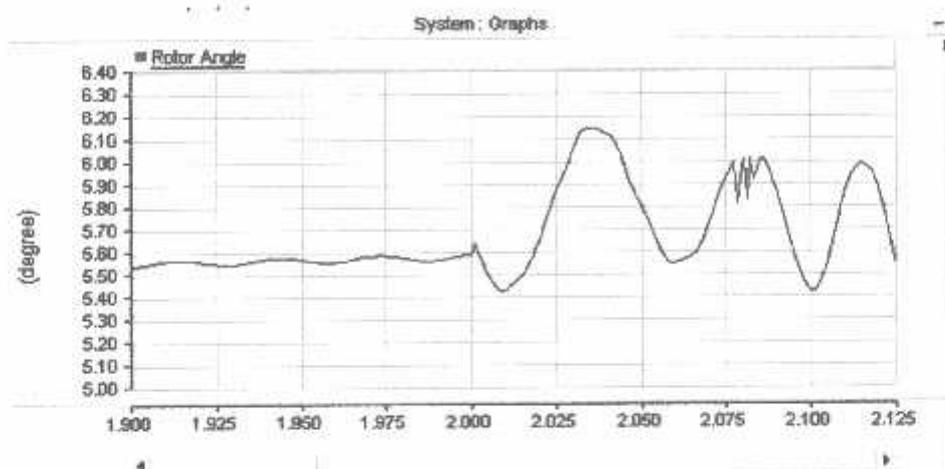
Pada Gambar 4.3 dibawah ini menunjukkan sistem sesudah pemasangan TCSC, dengan sudut picu (α) = 90° dan kapasitor sebesar $C = 500 \mu\text{F}$ pada $t = 2 \text{ s}$ dimana besarnya perubahan sudut rotor menjadi $2,25^{\circ}$.



Gambar grafik 4.3
Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Dengan $C = 500 \mu\text{F}$

Pada gambar grafik 4.3 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan pemasangan TCSC dengan nilai kapasitor $C = 500 \mu\text{F}$. Dengan pemasangan TCSC ayunan pada sudut rotor ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dapat diredam menjadi $2,25^{\circ}$.

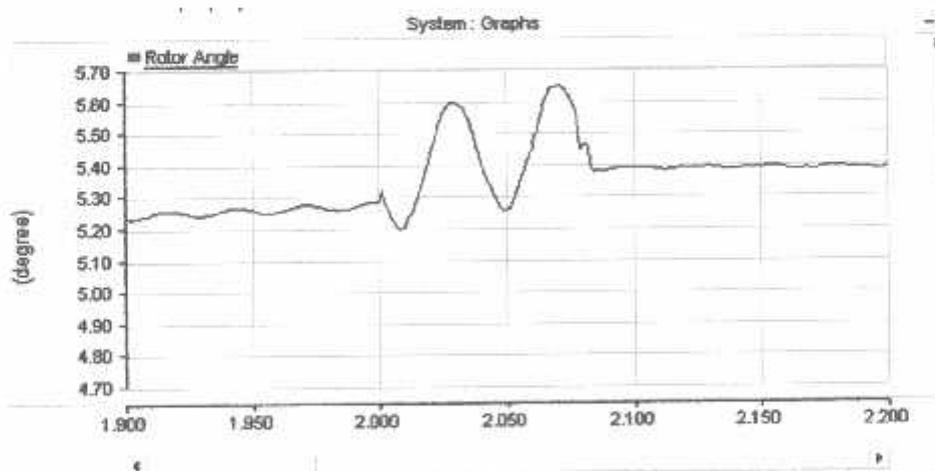
Pada Gambar grafik 4.4 dibawah ini menunjukkan sistem sesudah pemasangan TCSC, dengan sudut picu (α) = 90° dan kapasitor sebesar $C = 700 \mu\text{F}$ pada $t = 2 \text{ s}$.



Gambar grafik 4.4
Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Dengan $C = 700 \mu\text{F}$

Pada gambar grafik 4.4 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan pemasangan TCSC dengan nilai $C = 700 \mu\text{F}$. Dengan pemasangan TCSC ayunan pada sudut rotor ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dapat diredam menjadi $0,71^{\circ}$.

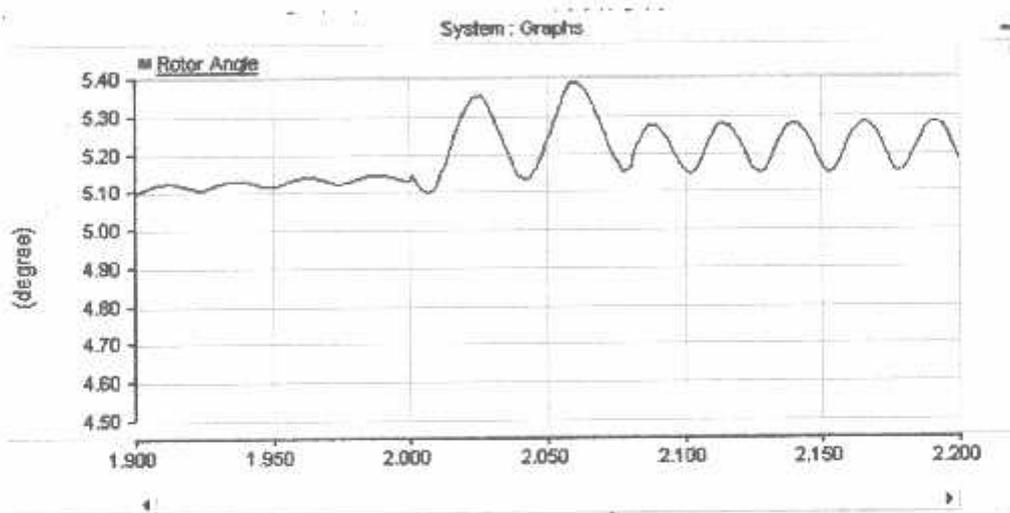
Pada Gambar grafik 4.5 dibawah ini menunjukkan sistem sesudah pemasangan TCSC, dengan sudut picu (α) = 90° dan kapasitor sebesar $C = 900 \mu\text{F}$ pada $t = 2 \text{ s}$.



Gambar grafik 4.5
Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Dengan $C = 900 \mu\text{F}$

Pada gambar grafik 4.5 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan pemasangan TCSC dengan nilai $C = 900 \mu\text{F}$. Dengan pemasangan TCSC ayunan pada sudut rotor ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dapat diredam menjadi $0,45^\circ$.

Pada Gambar grafik 4.6 dibawah ini menunjukkan sistem sesudah pemasangan TCSC, dengan sudut picu (α) = 90° dan kapasitor sebesar $C = 1100 \mu\text{F}$ pada $t = 2 \text{ s}$.

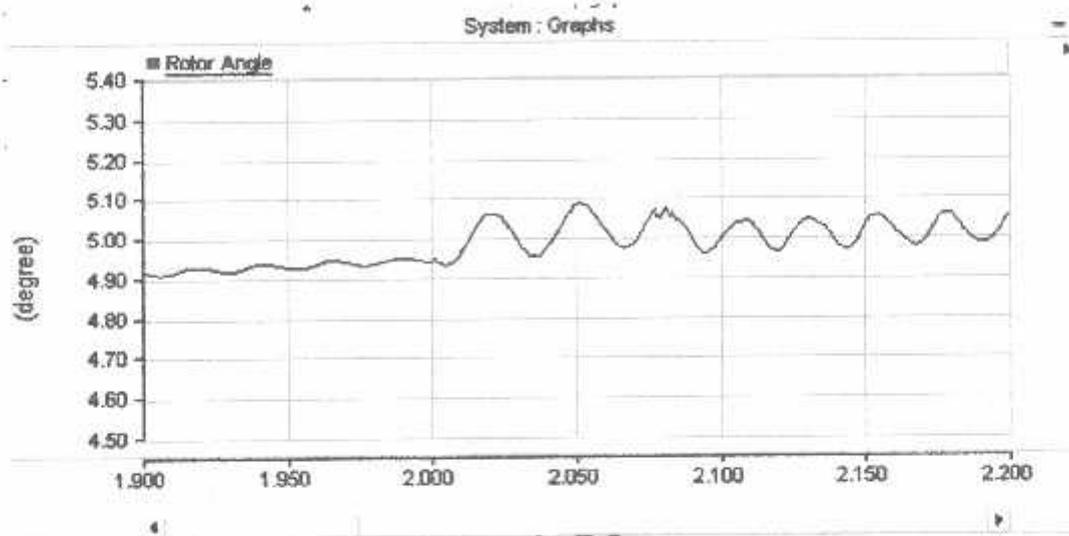


Gambar grafik 4.6

Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Dengan $C = 1100 \mu\text{F}$

Pada gambar grafik 4.5 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan pemasangan TCSC dengan nilai $C = 1100 \mu\text{F}$. Dengan pemasangan TCSC ayunan pada sudut rotor ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dapat diredam menjadi $0,30^\circ$.

Pada Gambar grafik 4.7 dibawah ini menunjukkan sistem sesudah pemasangan TCSC, dengan sudut picu (α) = 90° dan kapasitor sebesar $C = 1500 \mu\text{F}$ pada $t = 2 \text{ s}$ dimana besarnya perubahan sudut rotor menjadi $0,18^\circ$.



Gambar grafik 4.7

Bentuk Gelombang Sudut Rotor Saat Terjadi Gangguan Dengan $C = 1500 \mu\text{F}$

Pada gambar grafik 4.7 di atas dapat dilihat bentuk gelombang sudut rotor saat system mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan pemasangan TCSC dengan nilai $C = 1500 \mu\text{F}$. Dengan pemasangan TCSC ayunan pada sudut rotor ketika system mengalami gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dapat diredam menjadi $0,18^\circ$.

Ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris yang seperti tampak pada gambar grafik 4.2 rotor mengalami ayunan sebesar 40° . Untuk meredam ayunan yang terjadi pada rotor, ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris maka dilakukan pemodelan sistem dengan pemasangan TCSC dengan variasi kapasitor $C = 500 \mu\text{F}$, $C = 700 \mu\text{F}$, $C = 900 \mu\text{F}$, $C = 1100 \mu\text{F}$, $C = 1500 \mu\text{F}$.

Hasil simulasi setelah pemasangan TCSC dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini. Semakin besar nilai kapasitor pada TCSC maka ayunan yang terjadi pada sudut rotor generator ketika sistem mengalami gangguan hubung singkat semakin kecil

Tabel 4.3

Data hasil simulasi sudut rotor setelah pemasangan TCSC dengan variasi kapasitor

No.	L (mH)	C (μF)	Perubahan Sudut Rotor (degree)
1	1500	500	$2,25^{\circ}$
2	1500	700	$0,71^{\circ}$
3	1500	900	$0,45^{\circ}$
4	1500	1100	$0,30^{\circ}$
5	1500	1500	$0,18^{\circ}$

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pengaruh pemasangan *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)* pada sistem tenaga listrik PLTGU Sengkang pada saat terjadi gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris dengan menggunakan bantuan *software PSCAD/EMTDC V4.2 Power System Simulation*, maka dapat diambil kesimpulan:

1. *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)* dapat meredam ayunan pada sudut rotor ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris.
2. Semakin besar nilai kapasitor pada *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)*, ayunan pada sudut rotor mendekati kondisi stabil, ketika sistem mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris.
3. Penggunaan *TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)* dapat meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik PLTGU Sengkang mendekati kondisi stabil ketika sistem mengalami gangguan yang di sebabkan oleh gangguan hubung singkat tiga fasa simetris.

5.2. Saran

Pada penelitian ini, penulis menganalisis masalah stabilitas *transient* dengan menggunakan pemodelan sistem *single machine infinite bus*, diharapkan nantinya ada pengembangan lebih lanjut tentang masalah stabilitas *transient* sistem tenaga listrik dengan menggunakan pemodelan sistem multi mesin yang terhubung dengan *infinite bus*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djiteng Marsudi, Ir “ *Operasi Sistem Tenaga Listrik*”, ISTN, Jakarta, 1990.
 - [2] Hutaaruk, T.S.(1993), *Transmisi Daya Listrik*, Penerbit Erlangga.
 - [3] N.G.Hingorani, *High Power Elelctronics*, Scientific American, Novembar 1993.
 - [4]R. M. Mathur and R.K. Varma, *Thyristor based FACTS controllers for Electrical transmission systems*, John Wiley & Sons Inc.,
 - [5]Stevenson, W.D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Kamal Idris, Penterjemah. Jakarta: Erlangga
 - [6]University of Manitoba, Canada, PSCAD/ EMTDC software package, 2003. Available: www.pscad.com.
 - [7]W.D. Stevenson,Jr, “*Analisa Sistem Tenaga Listrik*”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1983.
-

LAMPIRAN



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 (Punling), Fnx. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Sabtu
Tanggal : 18 Februari 2012

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Muhammad Mizhar Muis
2. NIM : 07.12.007
3. Jurusan : Teknik Elektro, S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : **ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT DENGAN DENGAN TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR) MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU SENKANG**

No.	Materi Perbaikan	Paraf Penguji
1.	Menambahkan analisa setelah gambar grafik	
2.	Hubungan kenaikan kapasitor (C) dengan kestabilan transient,apa ?	
3.	Cek antara judul,tujuan dan kesimpulan	

Disetujui :

Penguji I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.103.8900.209

Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y.101.8800.190

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I

Ir.M. Abd Hamid, MT
NIP. Y. 101.8800.188

Dosen Pembimbing II

Bambang Prio H, ST, MT
NIP.Y. 102.8400.082



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUHAMMAD MIZHAR MUIS
Nim : 07.12.007
Masa Bimbingan : 09 Desember 2011 s/d 09 Juni 2012
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT
DENGAN TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES
CAPASITOR) MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU
SENGKANG

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	10-01-2012	Konsultasi Bab I sampai Bab III	
2	18-01-2012	Konsultasi Bab IV sampai Bab V	
3	21-01-2012	Revisi analisa hasil	
4	10-02-2012	Revisi kesimpulan	
5	12-02-2012	Konsultasi makalah seminar hasil	
6	16-02-2012	ACC maju ujian kompre	
7			
8			
9			
10			

Malang ,

Dosen Pembimbing

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

Form S-4b



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : MUHAMMAD MIZHAR MUIS
Nim : 07.12.007
Masa Bimbingan : 09 Desember 2011 s/d 09 Juni 2012
Judul Skripsi : ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT
DENGAN TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES
CAPASITOR) MENGGUNAKAN SOFTWARE
PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU
SENGKANG

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	10-01-2012	Konsultasi Bab I sampai Bab III	
2	18-01-2012	Revisi Latar Belakang Masalah	
3	21-01-2012	Landasan teori ditambahkan lagi	
4	10-02-2012	Konsultasi Bab IV sampai Bab V	
5	12-02-2012	Tambahkan keterangan pada setiap table dan gambar grafik	
6	16-02-2012	ACC maju ujian kompre	
7			
8			
9			
10			

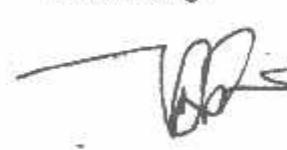
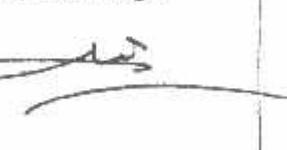
Malang,
Dosen Pembimbing II

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

Form S-4b

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika/ Teknik Komputer & Informatika*)

1.	Nama Mahasiswa: MUHAMMAD MIZHAR MUIS	Nim: 0712007		
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	8-12-2011		Ruang:
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)				
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik		e. Elektronika & Komponen	
	b. Energi & Konversi Energi		f. Elektronika Digital & Komputer	
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran		g. Elektronika Komunikasi	
	d. Sistem Kendali Industri		h. lainnya	
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT DENGAN TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPACITOR) MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTU SENGKANG		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian			
6.	Catatan:			
7.	Catatan:			
Persetujuan Judul Skripsi				
Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II		Disetujui, Dosen Keahlian III
				
Mengetahui, Ketua Jurusan.		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT NIP. Y. 1018300189		Pembimbing I		Pembimbing II
				

Perhatian:

1. Keterangan: *) Coret yang tidak perlu
- **) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : **Muhammad Mizhar Muis**
Nim : **07.12.007**
Semester : **IX (Sembilan)**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

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

**ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT DENGAN TCSC
(THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR) MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU
SENGKANG**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya.

Malang, 15 November 2011
Hormat kami,

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

Catatan :

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



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Raya Karanglo, Km 2
MALANG

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai dengan Permohonan Mahasiswa :

Nama : **Muhammad Mizhar Muis**
Nim : **07.12.007**
Semester : **IX (Sembilan)**
Jurusan : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

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

**ANALISA PERBAIKAN STABILITAS TRANSIENT DENGAN TCSC
(THYRISTOR CONTROLLED SERIES CAPASITOR) MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD/EMTDC POWER SIMULATION DI PLTGU
SENGKANG**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat digunakan seperlunya.

Malang, 15 November 2011

Hormat kami,

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

Calatan :

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



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

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

PERSERO MALANG
(NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bandungan 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, 30 Januari 2012

Nomor : ITN- 041/EL-FTI/2012
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI
Kepada : Yth. Sdr/I. **IR. M. ABDUL HAMID, 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 : MUHAMMAD MIZHAR. M
Nim : 0712007
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 :

08 Desember 2011 s/d 08 Juni 2012

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1,
Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

(Signature)
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Nip. Y.1918890189

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Berangkutan
2. Atsip

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

ERSERO) MALANG
IAGA 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, 30 Januari 2012

Nomor : ITN- 040/EL-FTI/2012
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI
Kepada : Yth. Sdr/I. **BAMBANG PRIO H, ST, 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 : MUHAMMAD MIZHAR. M
Nim : 071207
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 hulan, terhitung mulai tanggal :

08 Desember 2011 s/d 08 Juni 2012

Sebagai satu syarat untuk menempuh ujian Sarjana Teknik,
Jurusan Teknik Elektro S-1,
Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih



Ketua Jurusan
Teknik Elektro S-1

(Signature)
Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
Nip. Y.1018800189

Tembusan Kepada Yth :

1. Mahasiswa Yang Berangkutan
2. Arsip

Form. S 4a