

**ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES
COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI
POWER SYSTEM**

SKRIPSI



**Disusun Oleh :
Christian Fajaringtyas
NIM. 0612004**



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

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES
COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI
POWER SYSTEM**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

Christian Fajaringtyas

NIM. 0612004

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



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

Diperiksa dan Disetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Taufik Hidayat, MT.
NIP.Y. 101870015 1

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.

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

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Christian Fajaringtyas

NIM : 06.12.004

Program Studi : T.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, 15 September 2013

Yang membuat Pernyataan,



Christian Fajaringtyas

NIM : 0612004

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Christian Fajaringtyas

NIM : 06.12.004

Program Studi : T.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, 15 September 2013

Yang membuat Pernyataan,

Christian Fajaringtyas
NIM : 0612004

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM

Christian Fajaringtyas (0612004)

Dosen Pembimbing I : Ir. Taufik Hidayat ,MT

Dosen Pembimbing II : Lauhil Mahfudz Hayusman ST,MT

Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknik Industri,
Institut Teknologi Nasional Malang, Kampus II, Singosari-Malang, ,telp. (0341) 417636
christianfajar211287@yahoo.co.id

Abstrak

Perkembangan sistem tenaga listrik dari waktu ke waktu semakin kompleks seiring kebutuhan listrik yang terus meningkat dan ketergantungan aktifitas manusia terhadap listrik yang makin bertambah, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu bagaimana mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang selalu dapat memenuhi permintaan daya pada setiap saat dengan kualitas yang baik.

Permasalahan tersebut dapat diatasi dan dapat dipecahkan dengan menggunakan suatu alat kompensator yaitu Static Synchronous Series Compensator (SSSC). SSSC adalah perangkat Flexible AC Transmission System (FACTS) yang terhubung secara seri pada sistem AC. SSSC bertujuan untuk mengkompensasi daya reaktif yang diserap beban sehingga meminimalkan jatuh tegangan yang terjadi pada saluran yang dapat berakibat buruk pada utilitas dan perangkat yang sensitif pada sistem tersebut. Dengan penggunaan SSSC maka akan mempunyai solusi yang lebih efektif untuk menjaga profil tegangan sistem tetap stabil.

Pengaruh pemasangan SSSC pada sistem jaringan transmisi G.I Probolinggo mampu memperbaiki tegangan, dari $V = 0.7135$ pu atau $V = 14.27$ KV menjadi $V = 0.9888$ pu atau $V = 19.776$ KV. Pengaruh pemasangan SSSC pada sistem jaringan transmisi G.I Probolinggo mampu memperbaiki daya aktif dan reaktif, dari $P = 6.92$ MW menjadi $P = 8.89$ MW dan $Q = 3.52$ Mvar menjadi $Q = 9.12$ Mvar.

Kata kunci: SSSC, FACTS

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penelitian berjudul Analisis Penggunaan *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)* Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Pada Saluran Transmisi 150 kV PT. PLN (Persero) Probolinggo dapat terselesaikan.

Penulisan ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar sarjana teknik. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Anang Subardi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak M. Ibrahim Ashari, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITN Malang dan sekaligus dosen pembimbing.
4. Bapak Ir. Taufik Hidayat, MT. selaku dosen pembimbing I.
5. Bapak Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT. selaku dosen pembimbing II.
6. Semua pihak yang membantu dalam penyusunan penelitian ini dan rekan-rekan lain yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran dari semua pihak sangat kami harapkan untuk perbaikan penelitian ini.

Malang, September 2013

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Persetujuan	i
Surat Pernyataan	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Daftar Grafik.....	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Rumusan Masalah.....	2
1.3.Tujuan	2
1.4.Batasan Masalah	2
1.5.Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Sistem Tenaga Listrik	4
2.2. Sistem Transmisi Tenaga Listrik	4
2.2.1. Saluran Transmisi	5
2.3. Static Synchronous Series Compensator	6
2.3.1. Prinsip Kerja SSSC.....	9
2.4. Sistem Pengendalian PWM Sinusoida.....	9
2.4.1. PWM Sinusoida.....	9
2.4.2. Aksi Kontrol PWM Sinusoida terhadap SSSC.....	10
2.5. Aksi Kontrol Proporsional Integral.....	10
2.5.1. Umum.....	10
2.5.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses.....	12
2.5.3. Prinsip Kerja Pengendali.....	13
2.5.4. Pengendali Proporsional.....	13
2.5.5. Pengendali Integral.....	15
2.5.6. Pengendali Proporsional Integral.....	16
2.6. Analisa Aliran Daya Jaringan.....	17

2.6.1. Daya Dalam Sistem Tenaga.....	18
2.6.1.1. Daya Nyata.....	18
2.6.1.2. Daya Reaktif.....	18
2.6.1.3. Daya Semu.....	19
2.6.2. Daya Reaktif dan Faktor Daya.....	19
2.7. Metode Newton Raphson.....	20
2.8. Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	22
BAB III METODE PENELITIAN.	
3.1. Deskripsi Gardu Induk Probolinggo	25
3.2. Data Gardu Induk Probolinggo	26
3.2.1. Data Trafo.....	26
3.2.2. Data Saluran.....	26
3.2.3. Data Beban.....	27
3.3. Flowchart Analisis Load Flow	28
3.4. Hasil Analisis Load Flow	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Single Line Sistem Transmisi G.I Probolinggo Dalam Software PSCAD Power Simulation.....	31
4.1.1. Pemodelan Sumber dan Input Data Sumber.....	32
4.1.2. Pemodelan Trafo dan Input Data Trafo.....	33
4.1.3. Pemodelan Beban dan Input Data Beban.....	34
4.2. Data Hasil Analisis Load Flow G.I Probolinggo	34
4.3. Reduksi Voltage Drop Pada Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation	35
4.4. Hasil Perhitungan dan Simulasi Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi SSSC.....	36
4.4.1. Hasil Sistem Sebelum Sistem Mengalami Gangguan.....	36
4.4.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Tegangan Sebelum Kompensasi....	37
4.4.3. Hasil Perhitungan dan Simulasi Tegangan Sesudah Kompensasi....	38
4.4.4. Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Tegangan.....	39
4.5. Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya sebelum dan Sesudah Kompensasi SSSC.....	39
4.5.1. Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya Sebelum Kompensasi.....	40
4.5.2. Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya Setelah kompensasi	41

4.4.4. Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Daya.....	42
4.6. Analisa Hasil	43
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran.....	45
Daftar Pustaka.....	46
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema Penyaluran Energi Listrik	4
Gambar 2.2. Penggunaan SVC dengan Power Flow Control	6
Gambar2.3. Sumber Tegangan Sinkron yang Bekerja dengan VSI	7
Gambar 2.4. Kontroler dan Diagram Kotak	13
Gambar 2.5. Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	14
Gambar 2.6. Response Sebuah Pengendali Proporsional.	15
Gambar 2.7. Blok Diagram Kontroler Integral.....	16
Gambar2.8. Diagram Kotak Pengendali PI	17
Gambar 2.9. Hubungan Input-Output Pengendali PI dan Fungsi Waktu	17
Gambar 2.10. Segitiga Daya.....	18
Gambar 2.11. Saluran Distribusi Primer.....	20
Gambar 3.1. Single Line Diagram G.I Probolinggo	25
Gambar 3.2. Flowchart Analisis Load Flow.....	28
Gambar 3.3. Hasil analisis Load Flow.....	29
Gambar 4.1. Single Line Diagram G.I Probolinggo Dalam PSCAD	31
Gambar 4.2 Pemodelan Sumber dan input Data Sumber	32
Gambar 4.3 Pemodelan Trafo Dan Input Data Trafo	33
Gambar 4.4 Pemodelan Beban Dan Input Data Beban.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Trafo GI Probolinggo	26
Tabel 3.2. Data Kabel GI Probolinggo	26
Tabel 3.3. Data Beban GI Probolinggo.....	27
Tabel 3.4. Hasil Load Flow Trafo 1 Pouwels	36
Tabel 4.1. Data Beban Hasil Analisis Load Flow.....	35
Tabel 4.2. Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Dengan Dan Tanpa SSSC.....	39
Tabel 4.3. Perbandingan Hasil Nilai Daya Aktif Dengan Dan Tanpa SSSC.....	42
Tabel 4.4. Perbandingan Hasil Nilai Daya Reaktif Dengan Dan Tanpa SSSC.	42

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Bentuk Gelombang Tegangan Normal.....	36
Grafik 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan Tanpa Kompensasi SSSC.....	37
Grafik 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan Dengan Kompensasi SSSC	38
Grafik 4.4 Bentuk Gelombang Daya Aktif Tanpa Kompensasi SSSC.....	40
Grafik 4.5 Bentuk Gelombang Daya Reaktif Tanpa Kompensasi SSSC	40
Grafik 4.6 Bentuk Gelombang Daya Aktif Dengan Kompensasi SSSC	41
Grafik 4.7 Bentuk Gelombang Daya Reaktif Dengan Kompensasi SSSC	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan sistem tenaga listrik dari waktu ke waktu semakin kompleks seiring kebutuhan listrik yang terus meningkat dan ketergantungan aktifitas manusia terhadap listrik yang makin bertambah, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu bagaimana mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang selalu dapat memenuhi permintaan daya pada setiap saat dengan kualitas yang baik.

Dari perubahan aliran daya yang besar menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pula. Alokasi daya reaktif yang tepat dalam sistem bisa menghasilkan kondisi yang optimum yaitu kondisi dengan rugi-rugi transmisi yang minimum, sehingga mampu memperbaiki profil tegangan sistem. Untuk menghasilkan sistem operasi yang baik pada pengoperasian sistem tenaga listrik maka daya yang dibangkitkan harus cukup untuk memasok beban.

Lokasi yang digunakan sebagai penelitian pada skripsi ini adalah pada G.I Probolinggo. Penentuan lokasi penelitian didasarkan oleh data yang diperoleh bahwa *outgoing* dari G.I tersebut banyak pabrik-pabrik besar seperti pabrik eratex, pabrik KTI PB 1, pabrik KTI PB 2, pabrik Leces dan pabrik asbes (PT. AFU) yang keseluruhan banyak menggunakan motor-motor induksi dalam proses produksinya dimana penggunaan beban induktif (bersifat *lagging*) dapat menyebabkan faktor daya rendah.

Gardu Induk Probolinggo ini mendapatkan suplai *incoming* tegangan $V=150$ KV, dengan kapasitas daya semu $S= 72$ MVA. G.I Probolinggo mempunyai 3 trafo yaitu trafo 1 merk Powels dengan kapasitas daya semu $S= 20$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar EGA 20 KV, trafo 2 merk Shandong dengan kapasitas daya semu $S= 60$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar HITACHI 20 KV, dan trafo 3 merk Xian dengan kapasitas daya semu $S= 50$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar GOLD STAR 20 KV.

Permasalahan yang diatas dapat diatasi dan dapat dipecahkan dengan menggunakan suatu alat kompensator yaitu *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)*. SSSC merupakan salah satu perangkat *Flexible AC Transmission System (FACTS)* yang terhubung secara seri pada sistem AC. Pada prinsipnya SSSC bertujuan untuk mengkompensasi daya reaktif yang diserap beban sehingga meminimalkan jatuh tegangan yang terjadi pada saluran yang dapat berakibat buruk pada utilitas dan perangkat yang sensitif pada sistem tersebut. Dengan penggunaan SSSC maka akan mempunyai solusi yang lebih efektif untuk menjaga profil tegangan sistem tetap stabil sesuai dengan yang diharapkan sehingga meningkatkan kemampuan transfer daya, dan meningkatkan keamanan dan stabilitas sistem daya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam skripsi ini yaitu :

1. Bagaimana melakukan pemodelan *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)* dalam PSCAD
2. Bagaimana mengoptimalkan penyaluran daya reaktif dan mengurangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi tegangan pada saluran transmisi 150 KV

1.3 Tujuan Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka penelitian ini bertujuan:

Untuk melakukan analisis penggunaan *SSSC* untuk meningkatkan profil tegangan pada power sistem.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Sistem yang ditinjau adalah sistem transmisi 150 KV.
2. Studi dilakukan pada PT. PLN (Persero) GI Probolinggo.
3. Analisa dilakukan hanya sebatas pengkajian beban yang telah ada.

4. Tidak membahas harmonisa yang dihasilkan *Voltage Source Inverter (VSI)*.
5. Penempatan *SSSC* dilakukan dengan analisis *Load flow*.
6. Percobaan dan Simulasi dilakukan dengan *software PSCAD*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan yang diuraikan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

Bab 1 : PENDAHULUAN

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

Bab 2 : TINJAUAN PUSTAKA

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

Bab 3 : METODE PENELITIAN

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

Bab 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan tentang hasil simulasi dan menganalisa hasil simulasi.

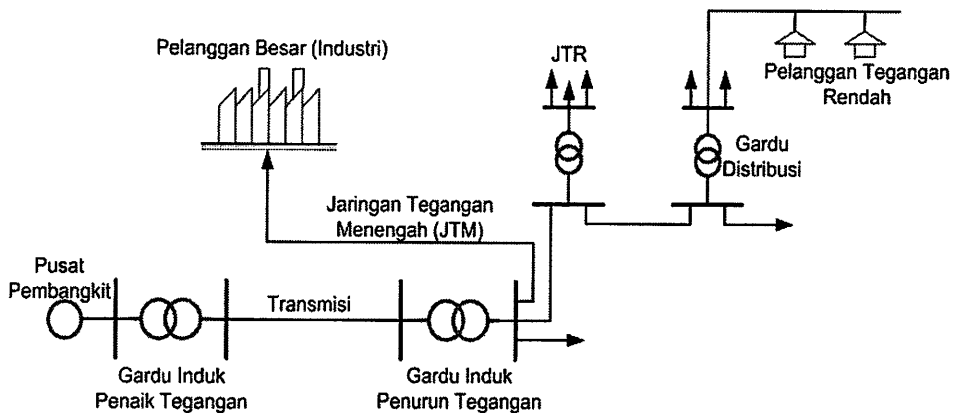
Bab 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari keseluruhan kegiatan perencanaan dan pengujian yang didapatkan, termasuk saran dan kritik serta petunjuk pengembangan dan penyempurnaan hasil skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik (Basri , 1997)

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.



Gambar 2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik

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 Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik adalah penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber pembangkitan ke suatu sistem distribusi atau kepada konsumen, atau penyaluran tenaga listrik antar sistem. Transmisi tenaga listrik terbagi dalam beberapa kategori. Kategori yang pertama adalah transmisi dengan tegangan sebesar 500Kv. Ini merupakan transmisi yang sangat tinggi. Karena di Indonesia masih menggunakan sistem 500 kv. Kategori yang kedua adalah transmisi dengan tegangan sebesar 150 kv. Dan yang ketiga adalah transmisi 75 kv. Untuk dibawah 75 kv selanjutnya dinamakan dengan distribusi tenaga listrik

Pada transmisi tegangan tinggi digunakan sistem saluran 3 fasa, untuk efisiensi. Selain karena keluaran dari generator berupa tiga fasa, setiap fasa mempunyai sudut pergerseran fasa 120° . Pada SUTT dikenal fasa R; S dan T yang urutan fasanya selalu R diatas, S ditengah dan T dibawah. Penampang dan jumlah konduktor disesuaikan dengan kapasitas daya yang akan disalurkan, sedangkan jarak antar kawat fasa maupun kawat berkas disesuaikan dengan tegangan operasinya. Jika kawat terlalu kecil maka kawat akan panas dan rugi transmisi akan besar. Pada tegangan yang tinggi (SUTET) penampang kawat, jumlah kawat maupun jarak antara kawat berkas mempengaruhi besarnya corona yang ditengarai dengan bunyi desis atau berisik. Untuk saluran HVDC, Penyaluran tenaga listrik dengan sistem arus searah baru dianggap ekonomis bila panjang saluran udara lebih dari 640 km atau saluran bawah tanah lebih panjang dari 50 km.

Saluran Transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan, mengingat kelebihan sebagai berikut :

- Mudah pembangkitannya
- Mudah perubahan tegangannya
- Dapat menghasilkan medan magnet putar
- Dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan

2.2.1. Saluran Transmisi

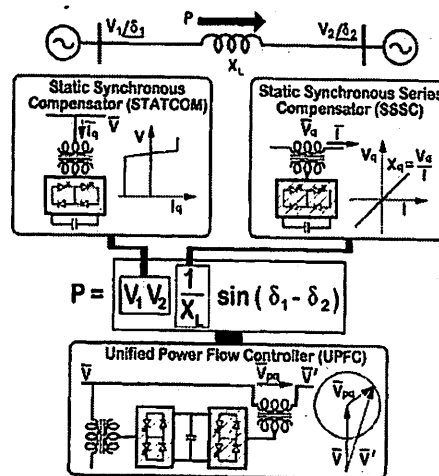
Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama : pusat-pusat pembangkit listrik, saluran-saluran transmisi, dan sistem-sistem distribusi. Saluran-saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit listrik dan sistem-sistem distribusi, dan melalui hubungan-hubungan antar sistem dapat pula menuju ke sistem tenaga yang lain. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban-beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran-saluran transmisi.

Tegangan pada generator-generator besar biasanya berkisar diantara 13,8 kV dan 24 kV. Tetapi generator-generator besar yang modern dibuat dengan tegangan yang bervariasi antara 18 dan 24 kV. Tidak ada suatu standar yang umum diterima untuk tegangan-tegangan generator. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat-tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu antara 115 dan 765 kV. Tegangan-tegangan tinggi standar (high voltages – HV standard) adalah 115, 138, dan 230 kV. Tegangan-tegangan tinggi-ekstra (extra high voltage – EHV) adalah 345, 500 dan 765 kV. Kini sedang dilakukan penelitian untuk pemakaian tegangan-tegangan tinggi ultra yaitu diantara 1000 dan 500 kV (ultrahigh voltages – UHV).

Keuntungan dari transmisi dengan tegangan yang lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi (transmission capability) dari suatu saluran transmisi. Kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam megavolt ampere (MVA). Kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat ditetapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan (limit) thermal dari penghantar, jatuh tegangan (voltage drop) yang diperbolehkan, keterandalan, dan persyaratan-persyaratan kestabilan sistem (system stability), yaitu penjagaan bahwa mesin-mesin pada sistem tersebut tetap berjalan serempak satu terhadap yang lain.

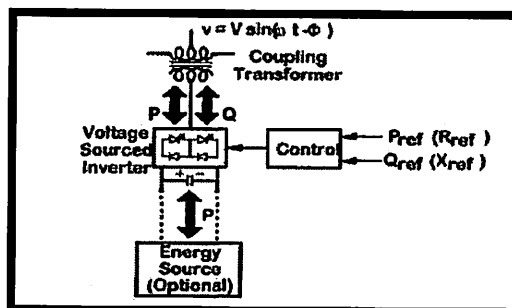
Kebanyakan faktor- faktor ini masih tergantung pula pada panjangnya saluran.

2.3. *Static Synchronous Series Compensator (SSSC) (Hingorani, gyugyi, 2000)*



Gambar 2.2 Penggunaan *Synchronous Voltage Source* dengan *Power Flow Control*

SSSC adalah suatu sumber tegangan seri yang didasarkan pada kontrol *Flexible AC Transmission System (FACTS)*. SSSC biasanya dikombinasikan dengan *Static Synchronous Compensator (STATCOM)* dan dioperasikan sebagai *United Power Flow Control (UPFC)*. Akan tetapi *STATCOM* dan *SSSC* dapat dirancang untuk operasi secara sendiri-sendiri. SSSC dapat dioperasikan dengan model injeksi tegangan searah saat *STATCOM* tidak mampu melayani operasi tersebut. Fasor tegangan injeksi biasanya dipenuhi dalam nilai kuadrat dengan fasor arus jaringan transmisi. Dengan demikian, *SSSC* dapat menyediakan kompensasi daya reaktif secara penuh. Aliran daya aktif pada jaringan transmisi dapat diatur dari pengontrolan nilai kuadrat tegangan dari *SSSC*.^[1]



Gambar 2.3 Sumber Tegangan Sinkron yang Bekerja dengan *Voltage Source Inverter*

Sumber tegangan sinkron adalah analogi tentang generator elektromagnet ideal, yang dapat menghasilkan set tegangan alternatif yang diinginkan oleh frekuensi fundamental dengan control amplitud dan sudut fasa, menghasilkan atau menyerap daya reaktif ketika sistem daya listrik berfungsi seperti kompensator sinkron. Dan pengurangan daya aktif dengan mengubah sistem ac dengan dc dan dapat digabungkan sumber energi listrik atau energi yang disimpan (baterai). SVC untuk aplikasi daya transmisi dapat diimplementasikan bermacam-macam, converter daya switching static, menggunakan peralatan switching semikonduktor dengan seting yang sudah disesuaikan dengan karakteristiknya. Dan digunakan GTO thyristor dan dinamakan konfigurasi sirkuit multi pulsa.

SVC harus terdapat sumber internal daya reaktif untuk merubah menjadi terminal AC. Dimana, SVC dapat dipertimbangkan agar lebih fungsional sebagai generator ideal yang dapat dioperasikan dengan sumber kapasitor dc yang relative kecil yang cukup untuk mengubah daya reaktif dengan sistem ac atau, dengan external DC power supply atau dengan sumber energy, untuk juga merubah secara independent control daya reaktif.

P_s adalah sebuah fungsi parameter untuk *degree of series compensation* s ($s = X_c / X_l$)

$$P_s = \frac{V^2}{X_L(1-s)} \sin \delta \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana, $V = V_1 = V_2$ dan $\delta = \delta_1 = \delta_2$. daya normal P_s dengan sudut δ sebagai fungsi parameter s .

Injeksi SSSC tegangan kompensasi seri yang diseri dengan *irrespective* dari *line current*. Daya kirim P_q dimana menjadi sebuah fungsi parameter dari tegangan injeksi, $V_q = |V_q| \rightarrow V_q = \{I \ I\} e^{\mp 90^\circ}$ dan dapat dituliskan dengan persamaan

$$P_q = \frac{V^2}{X_L} \sin \delta + \frac{V}{X_L} V_q \cos(\delta - 2) \dots \dots \dots (2.2)$$

Daya normal P_q dengan sudut δ , sebagai fungsi dari V_q . Untuk persamaan, tegangan normal V_q adalah terpilih untuk pemberian daya maksimum yang sama sebagai kapasitor seri dengan menyesuaikan δ .

Sebagian dari kemampuan kompensasi yang ditunjukkan, dasar dari karakteristik operasi SSSC juga menyarankan suatu perbedaan yang signifikan antara yang dilakukan SSSC dan kapasitor seri dibawah kondisi dari variabel jaringan reaktansi. Inti dari perbedaan adalah bahwa SSSC tidak hanya dapat disesuaikan dengan suatu jaringan induktansi yang terbatas untuk mendapatkan resonansi seri pada frekuensi yang fundamental, karena persilangan tegangan jaringan reaktansi, dimana dalam semua kasus yang nyata, menjadi lebih besar, dan dibatasi oleh kompensasi tegangan yang disediakan oleh SSSC. Tagangan mengkompensasi di atur oleh control dan dengan sendirinya impedansi jaringan berubah. Bahwa, tegangan V_x persilangan dengan jaringan ideal untuk reaktansi X ($R = 0$) dan untuk δ ditentukan sebagai fungsi hanya untuk tegangan kompensasi V_q yang diinjeksikan oleh SSSC, dan memiliki persamaan,

$$V_x = IX = V_q + 2V \sin \frac{\delta}{2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana V adalah AC sistem (1-n) tegangan, dan δ adalah sudut transmisi. Dari rumus diatas ditunjukkan bahwa, V_x dapat sama dengan V_q hanya jika $\delta = 0$, dalam beberapa kasus jaringan transmisi dapat dikontrol seluruh sistemnya oleh SSSC sebagaimana jika generator dan arus jaringan dapat dibatasi untuk operasi pada *range* $0 \leq I \leq V_q/X$.

2.3.1 Prinsip Kerja SSSC

Prinsip dasar SSSC adalah menginjeksi maupun menyerap daya reaktif yang dihasilkan oleh inverter secara seri pada saluran melalui suatu transformator. Ketika SSSC dipasang pada saluran maka pada sisi kirim terdapat bus bayangan dengan nilai amplitudo dan sudut phase tegangannya berubah mengikuti besar perubahan daya reaktif pada SSSC.

Jadi aliran daya aktif maupun reaktif dipengaruhi oleh besarnya magnitudo tegangan bus kirim dan tegangan pada bus terima, selisih sudut phase tegangan sisi kirim dan terima dan yang ketiga dipengaruhi oleh nilai impedansi saluran. Jelas dengan pemasangan SSSC mampu mempengaruhi aliran daya pada saluran dengan merubah nilai magnitudo tegangan dan sudut phase pada bus kirim.

2.4 Sistem Pengendalian PWM Sinusoida

2.4.1 PWM Sinusoida

Gelombang sinusoidal pada tiga VSC dikendalikan dengan teknik PWM. Rencana Kendali berdasarkan PWM berkenaan dengan SSSC diterangkan pada bagian ini. Rencana Kendali untuk *Harmonic Filter* (HF) mengikuti prinsip yang sama. Tujuan rencana kendali adalah untuk memelihara *magnitude* tegangan konstan suatu beban sensitif. Sistem kendali mengukur tegangan rms di titik beban tidak dibutuhkan pengukuran daya reaktif. Strategi penyakelaran VSC adalah didasarkan pada suatu teknik PWM sinusoidal, yang sederhana dan memberikan respon yang baik. Metode PWM menawarkan suatu pilihan yang lebih fleksibel. Suatu sinyal error diperoleh dengan membandingkan tegangan acuan dengan tegangan rms pengukuran di titik beban. pengontrol PI memproses sinyal error dan menghasilkan sudut penundaan yang diperlukan (δ) untuk membawa kesalahan itu menjadi nol. Dalam generator PWM, kendali sinyal sinusoidal adalah *phase-modulated* dengan cara sudut δ . 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_{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° dan 240° . 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.

2.4.2 Aksi Kontrol PWM Sinusoida Terhadap SSSC

Prinsip dari SSSC 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 GTO tiap fasa terdiri dari 2 GTO.

2.5 Aksi Kontrol Proporsional Integral (PI)

2.5.1 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.

2.5.2 Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

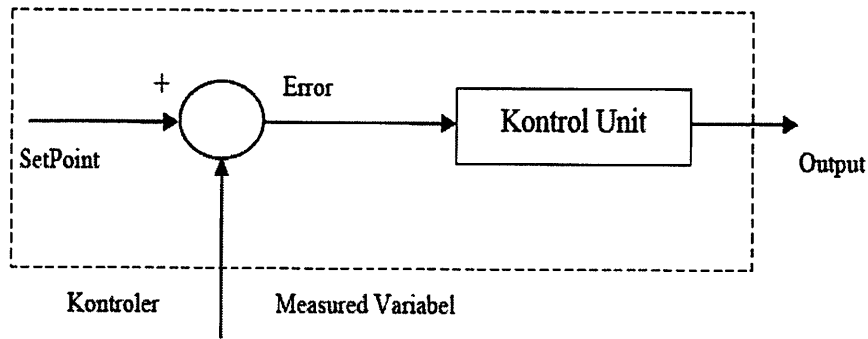
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut: *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator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

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

2.5.3 Prinsip Kerja Pengendali

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

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

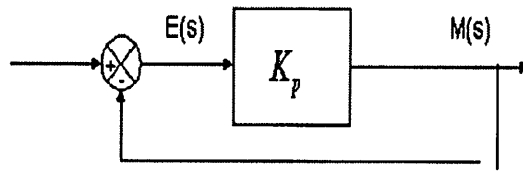


Gambar 2.4 Kontroler Dan Diagram Kotaknya

2.5.4 Pengendali Proporsional (*Proportional Controller*)

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

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



Gambar 2.5 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

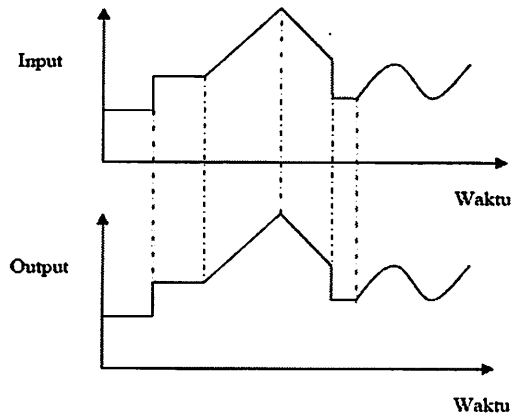
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana:

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

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



Gambar 2.6 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.

2.5.5 Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

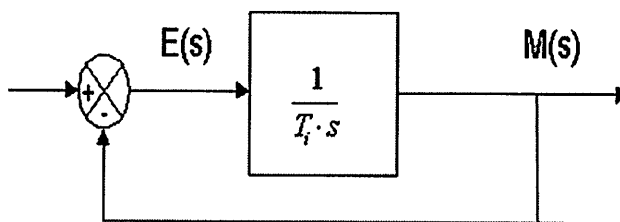
Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak. Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke *unit control*) untuk

menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

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

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

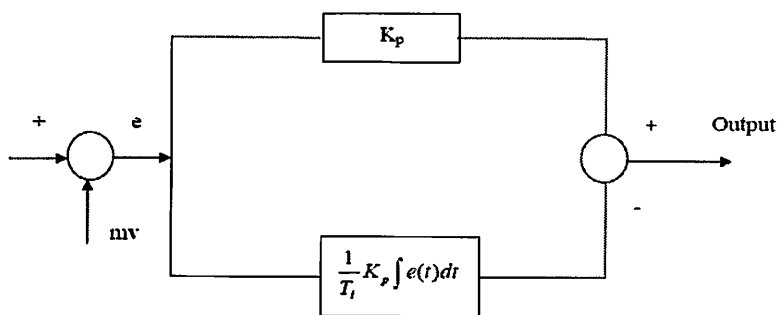
Gambar 3.8 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



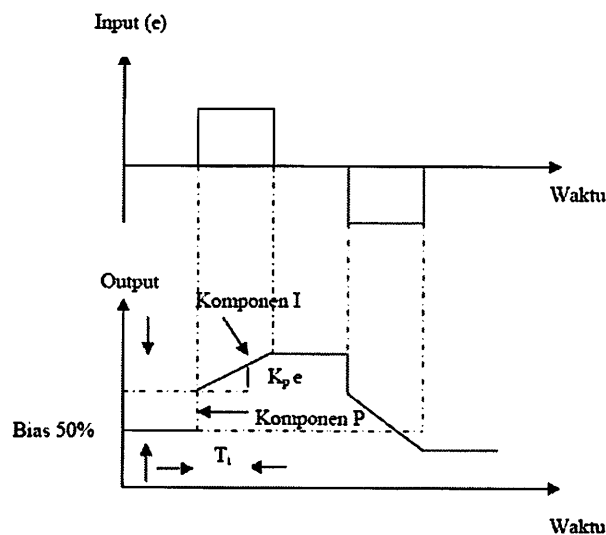
Gambar 2.7 Blok Diagram Kontroler Integral

2.5.6 Pengendali Proporsional Integral (PI Controller)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti gambar 3.9 Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 2.8 Diagram Kotak Pengendali PI



Gambar 2.9 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

2.6 Analisa Aliran Daya Jaringan (Basri, 1997)

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

Tujuan dari analisa daya adalah :

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

2.6.1 Daya Dalam Sistem Tenaga

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada, dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap (konstan). Dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya.

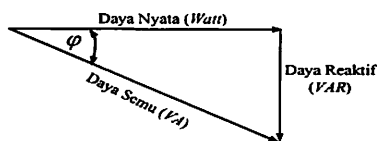
2.6.1.1. Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \cos \varphi \dots\dots\dots(2.1)$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

$$P = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \cos \varphi \dots\dots\dots(2.2)$$



Gambar 2.10 Segitiga daya

2.6.1.2. Daya Reaktif (*Reactive Power*)

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

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \sin \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

2.6.1.3. Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

$$S = |V| |I| \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} |V| |I| \dots\dots\dots(2.6)$$

2.6.2. Daya Reaktif dan Faktor Daya

Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya yang kemudian menyebabkan memburuknya karakteristik kerja peralatan-peralatan sistem pada umumnya, baik dari segi teknik operasional maupun segi ekonomisnya, faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

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

.....(2.7)

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (kW) dan komponen daya reaktif (kVAR).

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

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

.....(2.8)

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

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

Daya semu : $S = P + jQ$ dengan satuan kVA

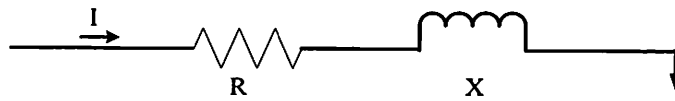
Daya nyata : $P = S \cos\phi$ dengan satuan kW

Daya Reaktif : $Q = S \sin\phi$ dengan satuan kVar

Beberapa sebab sistem distribusi mempunyai faktor daya yang rendah, yaitu:

- Banyaknya pemakaian motor asinkron terutama pada industri.
- Makin meningkatnya pemakaian lampu TL untuk penerangan.
- Pemakaian pemanas air.

Menurunnya faktor daya berarti mengecilnya perbandingan antara daya nyata dengan daya semu atau berarti semakin membesarnya kebutuhan beban dan daya aktif.



Gambar 2.11 Saluran Distribusi Primer

Karena pada saluran terdapat resistansi R dan reaktansi X, maka rugi daya (P_L) dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_L &= I^2 R \\
 &= (I \cos \varphi)^2 R + (I \sin \varphi)^2 X
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Dimana :

I adalah arus dengan satuan Ampere (A)

R adalah tahanan dengan satuan Ohm (Ω)

Dalam hubungan segitiga daya rumus ini mengacu pada gambar 2.3

2.7 Metode Newton Raphson

Dalam sebuah analisis numerik, *metode newton-raphson* juga dikenal dengan metode newton. metode ini berasal dari nama *isaac newton* dan *joseph raphson*.

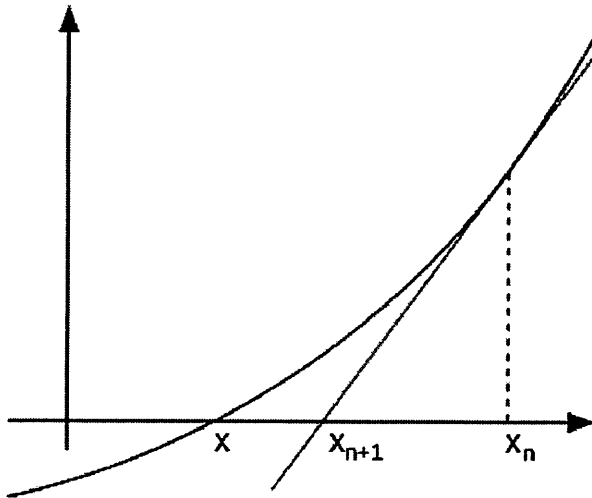
Metode newton - raphson merupakan salah satu metode terbuka untuk menentukan solusi akar dari persamaan nonlinear dengan prinsip utama sebagai berikut :

1. Metoda ini ,elakukan pendekatan terhadap kurva $f(x)$ dengan garis singgung gradien pada suatu titik awal.
2. Nilai taksiran selanjutnya adalah titik potong antara garis singgung (gradien) kurva dengan sb.x.

Metode NR mudah untuk mendapatkan nilai yang konvergen, terutama bila iterasi dimulai jauh dari akar yang dicari. contoh : diketahui sebuah fungsi $f(x)$ dan turunannya $f'(x)$ kita memulai dengan tebakan pertama x_0 . dan nilai x_1 yang lebih baik adalah dengan

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}.$$

Grafik metode newton - raphson



Fungsi f ditunjukkan pada garis biru dan garis singgung dalam warna merah. kita dapat lihat nilai x_{n-1} adalah nilai pendekatan yang lebih baik daripada x_n untuk akar x dari fungsi f .

Gagasan dari metode ini adalah :

1. Memulai tebakan yang lebih dekat.
2. Fungsi tersebut dihipotesis garis singgung (merah) yang dapat dihitung dengan alat kalkulus atau dasar aljabar)
3. Perpotongan sb.x ini biasanya merupakan pendekatan yang lebih baik ke akar fungsi daripada tebakan awal dan metode dapat diiterasikan.

Kelebihan metode : Dapat menyelesaikan persamaan kompleks dengan lebih cepat dan efisien

Kekurangan metode : sulit menghitung fungsi derivative dan banyak melakukan iterasi

2.9 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Gangguan sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

1. Gangguan yang berasal dari sistem.
2. Gangguan yang berasal dari luar sistem.

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain :

1. Tegangan dan arus abnormal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain:

1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah.
2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (breakdown).
3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Bila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi :

1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap

dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

Sebab–Sebab Timbulnya Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik
Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan–gangguan arus lebih yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut yaitu :

a. Gangguan beban lebih (overload).

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut. Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

b. Gangguan hubung singkat.

Gangguan hubung singkat dapat terjadi dua fasa, tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, atau 3 fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat ini sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tidak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Gangguan–gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang

dalam sistem sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan ini akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharaannya.

Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain:

1. Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
 2. Berkurangnya stabilitas daya system tersebut.
 3. Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan bekerjanya CB yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.
- c. Gangguan tegangan lebih.

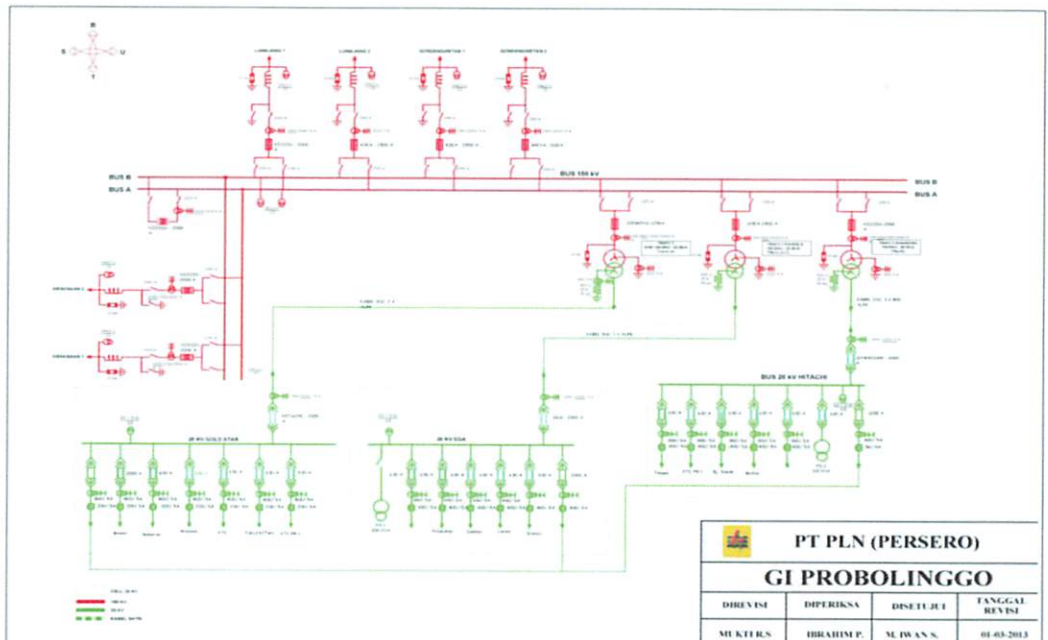
Gangguan tegangan lebih diakibatkan karena adanya kelainan pada sistem. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi antara lain karena : gangguan petir, gangguan surja hubung, di antaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem, dan sebagainya.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi G.I Probolinggo

Lokasi yang digunakan sebagai penelitian pada skripsi ini adalah pada G.I Probolinggo. Gardu Induk Probolinggo ini mendapatkan suplai *incoming* tegangan $V=150$ KV, dengan kapasitas daya semu $S= 72$ MVA. G.I Probolinggo mempunyai 3 trafo yaitu trafo 1 merk Powels dengan kapasitas daya semu $S= 20$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar EGA 20 KV, trafo 2 merk Shandong dengan kapasitas daya semu $S= 60$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar HITACHI 20 KV, dan trafo 3 merk Xian dengan kapasitas daya semu $S= 50$ MVA dan tegangan $V= 150/20$ KV yang menyuplai busbar GOLD STAR 20 KV.

Gambar 3.1 adalah diagram *single line* G.I. Probolinggo yang digunakan sebagai objek penelitian dalam penggunaan SSSC untuk meningkatkan profil tegangan..



Gambar 3.1 *Single Line* Diagram G.I Probolinggo

3.2 Data G.I Probolinggo

Data-data yang diperoleh pada saat survey yang telah dilakukan meliputi data sumber, data trafo, data saluran dan data-data beban.

3.2.1 Data Trafo

Tabel 3.1. Data Trafo Pada G.I Probolinggo

TRAF O	DATA SPESIFIKASI TRAF O								
	MER K	TYPE	TEG	DAY A	ARU S NO M.	P H	IMP EDA N	TH BUAT	TH OP R
Trafo 1	Pauwel s	ORF 35/275	150/2 0	20	577	RS T	9.38	1989	1989
Trafo 2	Shando ng	SFZ11- 60000/1 50	150/2 0	60	1732	RS T	12.38	2012	2012
Trafo 3	Xian	SFZ- 50000/1 50	150/2 0	50	1443	RS T	12.17	1997	1997

Sumber : (APP Probolinggo, 2013)

3.2.2. Data Saluran

Tabel 3.2 Data Kabel Pada G.I Probolinggo

KABEL OUTGOING TRAF O		
JENIS	PANJANG (m)	LUAS PENAMPANG (mm ²)
INC.1 x XLPE	50	3x800
INC.2 x XLPE	60	3x800
INC.3 x XLPE	70	3x800

Sumber : (APP Probolinggo, 2013)

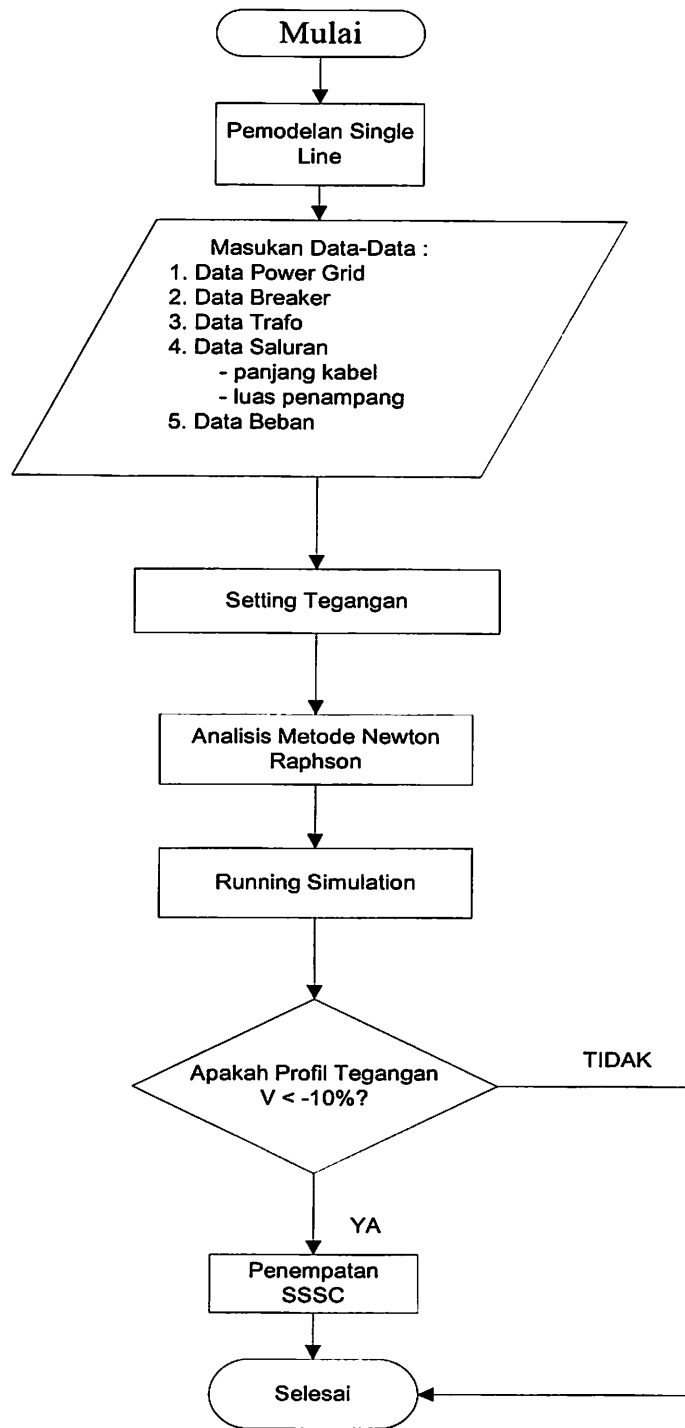
3.2.3. Data Beban

Tabel 3.3 Data Beban Pada G.I Probolinggo

NO	GARDU INDUK MERK TRAFO PENYULANG	TEG (kv)	I NOM (Amp)	I SET (Amp)	BEBAN		PROSENTASE	
					SIANG (Amp)	MALAM (Amp)	I NOM	I SET
	TRAFO 1 / 20 MVA POUWELS	150/20	1010		374	441	43.6	
1	PELABUHAN	20		300	107	150		50.0
2	SUMBER	20		300	123	128		42.7
3	LECES	20		300	140	185		61.7
4	EATEX	20		300	47	38		15.7
	TRAFO 2 / 60 MVA SHANDONG	150/20	577		515	559	96.8	
5	TONGAS	20		320	203	233		72.8
6	KTI PB1	20		320				
7	BANJAR SAWAH	20		320	129	135		42.2
8	BENTAR	20		320	184	194		60.6
	TRAFO 3 / 50 MVA XIAN	150/20	1443		867	1112	77.0	
9	BROMO	20		320	262	262		81.9
10	BEBERAN	20		320	88	79		27.5
11	MALASAN	20		320	128	213		66.6
12	KTI	20		320	136	130		42.5
13	PANJAITAN	20		320	215	224		70.0
14	KTI PB 2	20		320	160	150		50.0

Sumber : (APP Probolinggo, 2013)

3.3 Flowchart Analisis Load Flow



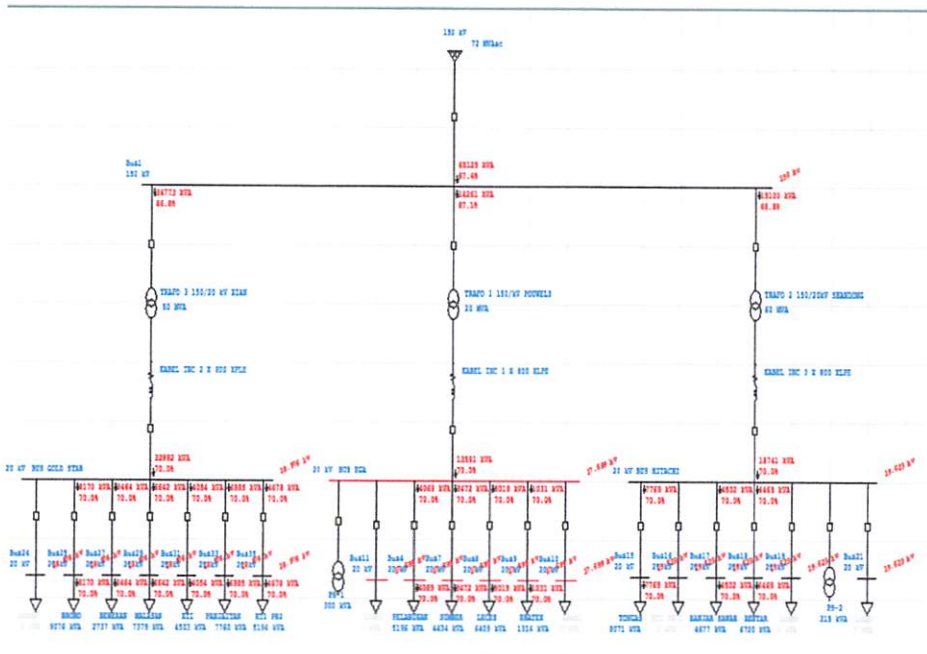
Gambar 3.2 Flowchart Analisis Load Flow dengan menggunakan ETAP 7.0.0

3.4 Hasil Analisis Load Flow

Setelah dilakukan *analisis load flow* hasil yang didapat, bahwa outgoing trafo 1 yaitu pada busbar Ega mengalami penurunan tegangan sebesar $V = 17,699$ KV, dimana tegangan tersebut dibawah ambang batas tegangan minimum standart PLN -10% atau $V = 18$ KV.

Outgoing dari trafo 1 melayani beberapa penyulang yang diantaranya merupakan pabrik, seperti pabrik Eratex, pabrik Leces, pabrik AFU yang banyak menggunakan beban induktif sehingga dapat mempengaruhi faktor daya yang dapat mempengaruhi tegangan.

Hasil *load flow* dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Hasil *analisis load flow* dengan menggunakan ETAP 7.0.0

Tabel 3.4 Load Flow Trafo 1 Pouwels 150/20 KV-20 MVA

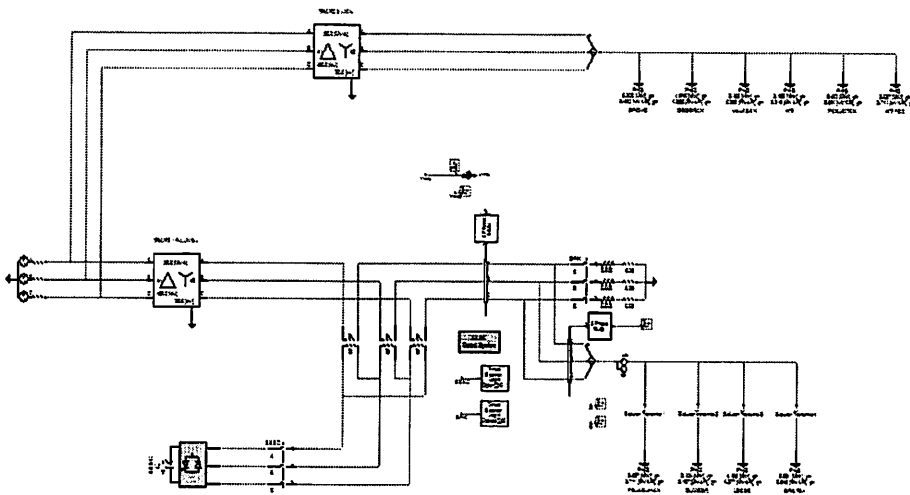
Study Case	UF	Date	Revision	Bus		
Configuration	Normal	Date	07/23/2013			
Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Opening	% Opening	Phase Type
BUS1EA	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus10	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus11	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus2	Bus	Under Voltage	20kV	17.707	88.5	3-Phase
Bus4	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus7	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus8	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase
Bus9	Bus	Under Voltage	20kV	17.659	88.5	3-Phase

Sumber : (*Analysis load flow,2013*)

BAB IV HASIL DAN ANALISA HASIL

4.1. *Single Line* Sistem Transmisi G.I. Probolinggo Dalam Software PSCAD Power Simulation

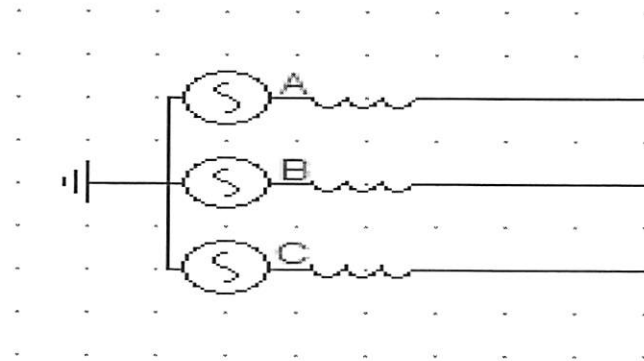
Untuk mensimulasi sistem dalam *software PSCAD Power Simulation* maka terlebih dahulu digambarkan rangkaian distribusi tersebut ke dalam lembar kerja pada *software* kemudian disimulasi sesuai dengan urutan langkah kerja dan menganalisa hasilnya. Berikut adalah gambar *single line* G.I. Probolinggo yang dimodelkan menggunakan *software PSCAD/EMTDC SIMULATION*.



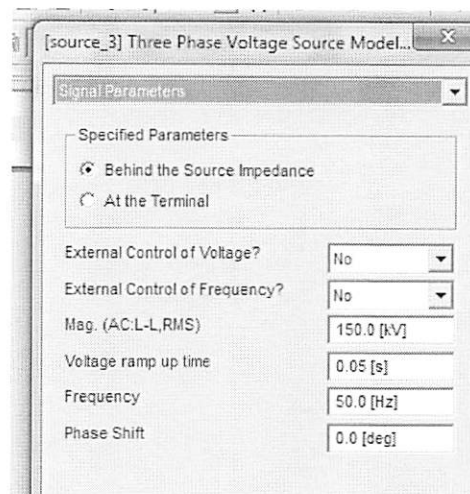
Gambar 4.1 *Single line* Diagram G.I. Probolinggo Dalam Software PSCAD

4.1.1 Pemodelan Sumber Dan Input Data Sumber

Pemodelan sumber dan input data sumber di bawah ini adalah pemodelan yang dibuat di dalam software *PSCAD*.



(a)



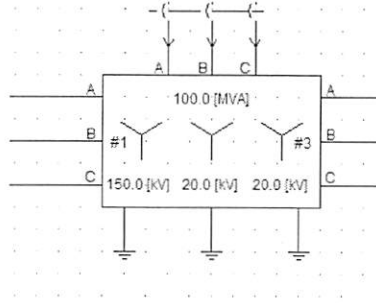
(b)

Gambar 4.2. a. gambar pemodelan sumber

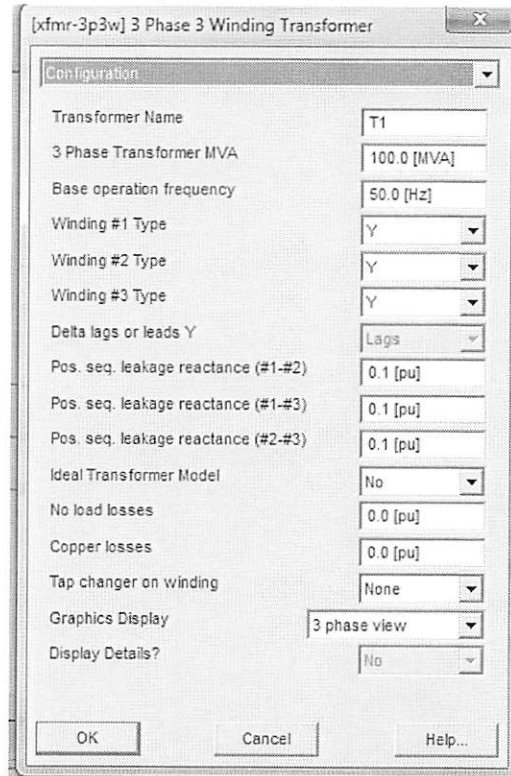
b. gambar input data sumber

4.1.2 Pemodelan Trafo Dan Input Data Trafo

Pemodelan trafo dan input data trafo di bawah ini adalah pemodelan yang dibuat di dalam software *PSCAD*



(a)



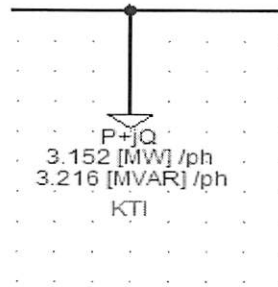
(b)

Gambar 4.3. a. gambar pemodelan trafo

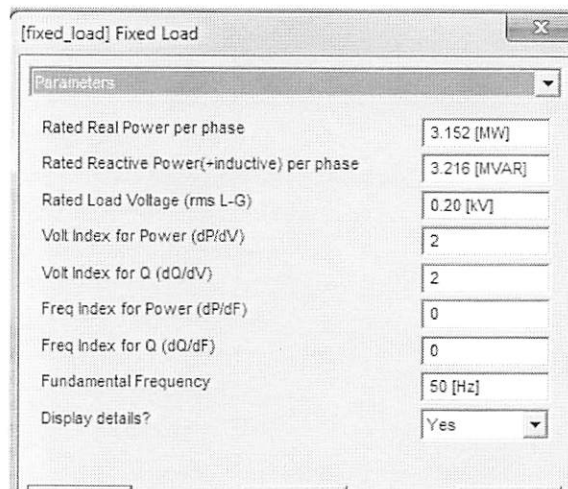
b. gambar input data trafo

4.1.3 Pemodelan beban Dan Input Data Beban

Pemodelan beban dan input data data di bawah ini adalah pemodelan yang dibuat di dalam software *PSCAD*. Gambar pemodelan beban ini adalah salah satu contoh pemodelan beban pada single line diagram G.I Pobolinggo dalam software *PSCAD*.



(a)



(b)

Gambar 4.4. a. gambar pemodelan beban

b. gambar input data beban

4.2. Data Hasil Analisis Load Flow G.I Probolinggo

Sebelum pengisian data dalam program *PSCAD Power Simulation* maka di perlukan data-data hasil load flow yang telah dilakukan, data tersebut meliputi data beban pada penyulang sebagai berikut:

Tabel 4.1

Data Beban Hasil Analisis Load Flow

NO	GARDU INDUK MERK TRAFO PENYULANG	TEG (kv)	MW	Mvar
	TRAFO 1 / 20 MVA POUWELS	150/20		
1	PELABUHAN	20	3.637	3.711
2	SUMBER	20	3.104	3.167
3	LECES	20	4.486	4.577
4	EATEX	20	0.921	0.940
	TRAFO 2 / 60 MVA SHANDONG	150/20		
5	TONGAS	20	5.650	5.764
6	BANJAR SAWAH	20	3.274	3.340
8	BENTAR	20	4.704	4.799
	TRAFO 3 / 50 MVA XIAN	150/20		
9	BROMO	20	6.353	6.482
10	BEBERAN	20	1.916	1.955
11	MALASAN	20	5.165	5.269
12	KTI	20	3.152	3.216
13	PANJAITAN	20	5.342	5.541
14	KTI PB 2	20	3.637	3.711

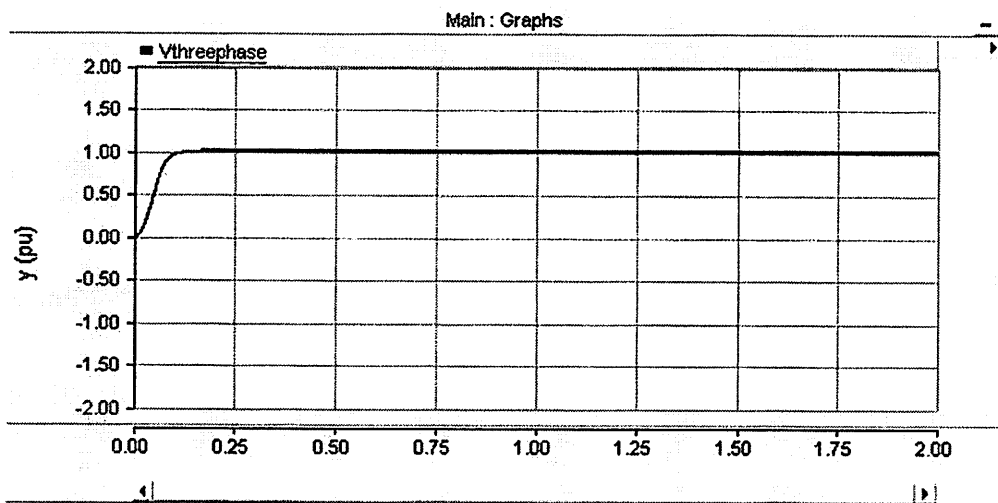
4.3 Reduksi *Voltage drop* pada *Software PSCAD/EMTDC V.4.2 Power Simulation*.

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 Probolinggo dan solusi yang ingin diberikan dapat dilakukan dengan *software PSCAD*.

4.4 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi SSSC dan Sesudah Kompensasi SSSC.

Pada simulasi awal, komponen SSSC tidak melakukan kompensasi sama sekali. SSSC belum bekerja dan tidak memberikan tegangan injeksi ke beban. Maka akan dapat diketahui perbedaan kondisi sistem sebelum dan sesudah menggunakan peralatan SSSC

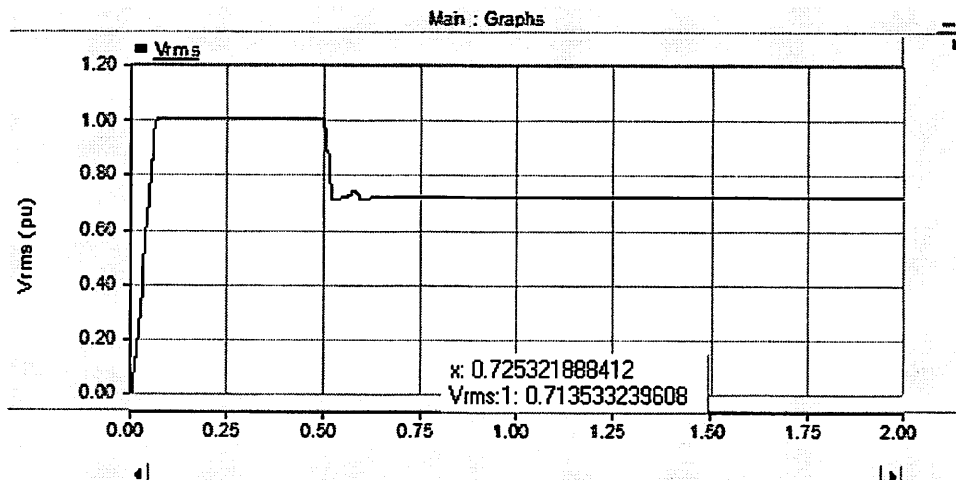
4.4.1. Sistem Sebelum Mengalami Gangguan



Grafik 4.1 Bentuk Gelombang Tegangan Normal

Dari gambar gelombang diatas tampak sistem beroperasi normal. Tegangan berada pada kisaran 1.00 pu.

4.4.2 Hasil Perhitungan dan Simulasi Sebelum Kompensasi dengan SSSC Saat Terjadi Penurunan Tegangan



Grafik 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan Tanpa Kompensasi SSSC

Grafik 4.2 adalah bentuk gelombang tegangan rms pada bus Ega yang mengalami penurunan tegangan, dimana tegangan pada $t = 0.07$ tegangan masi pada kondisi normal yaitu sebesar $V = 1$ pu atau $V = 20$ KV. Setelah $t = 0.2$ s tegangan mengalami penurunan menjadi $V = 0.7135$ pu atau $V = 14,27$ KV jauh dibawah standart yang ditetapkan PLN yaitu $V = -10\%$ atau $V = 18$ KV.

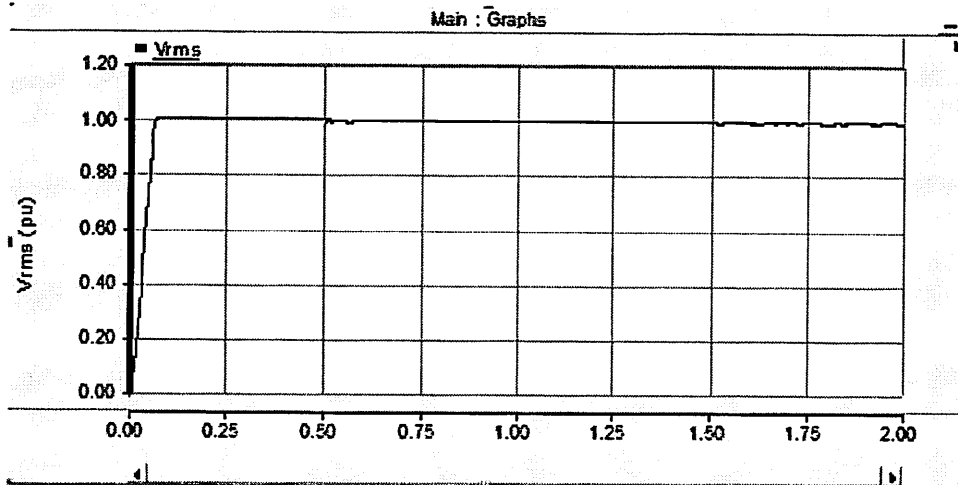
Tampilan grafik pada trafo saat terjadi penurunan tegangan sebelum kompensasi dapat dilihat pada lampiran A1.

Hasil Nilai Keluaran Tegangan Saat Terjadi Penurunan Tegangan Tanpa Kompensasi SSSC:

Nama trafo : Pauwels
Tegangan (pu) : 0.7135 pu

Kondisi pada saat terjadinya penurunan tegangan menunjukkan bahwa terjadi perubahan tegangan yang cukup signifikan, dimana terjadinya gangguan satu fasa ke tanah menyebabkan terjadi penurunan tegangan. Pada trafo Pauwels penurunan tegangan sebesar 0,7135 pu.

4.4.3 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi dengan SSSC Saat Terjadi Penurunan Tegangan



Grafik 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan Setelah Kompensasi SSSC

Dari grafik diatas terlihat meskipun belum bisa seperti saat sistem belum mengalami gangguan, kompensasi SSSC masih mampu mereduksi penurunan tegangan sehingga tegangan dapat kembali pada kisaran yang diijinkan ($0.95 < v < 1.05$) pu, yaitu pada $t=0.75s$ tegangan menjadi naik $V= 0.9888$ pu atau $V= 19.776$ KV

Hasil nilai keluaran tegangan saat terjadi penurunan tegangan dengan kompensasi SSSC:

Nama trafo : Pauwels
Tegangan (pu) : 0.9888 pu

Keadaan sistem jauh lebih stabil pada saat penggunaan kompensator SSSC dibandingkan keadaan sistem tanpa penggunaan kompensator SSSC. Hal ini dapat diamati pada saat sistem dalam keadaan steady state, saat terjadi penurunan tegangan dan saat terjadi kompensasi oleh SSSC ditunjukkan pada grafik 4.1 sampai grafik 4.3.

4.4.4 Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Sesudah Kompensasi.

Untuk mengetahui kerja SSSC maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai tegangan tiap *node* dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi.

Tabel 4.2

Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Saat Terjadi Penurunan Tegangan Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi SSSC

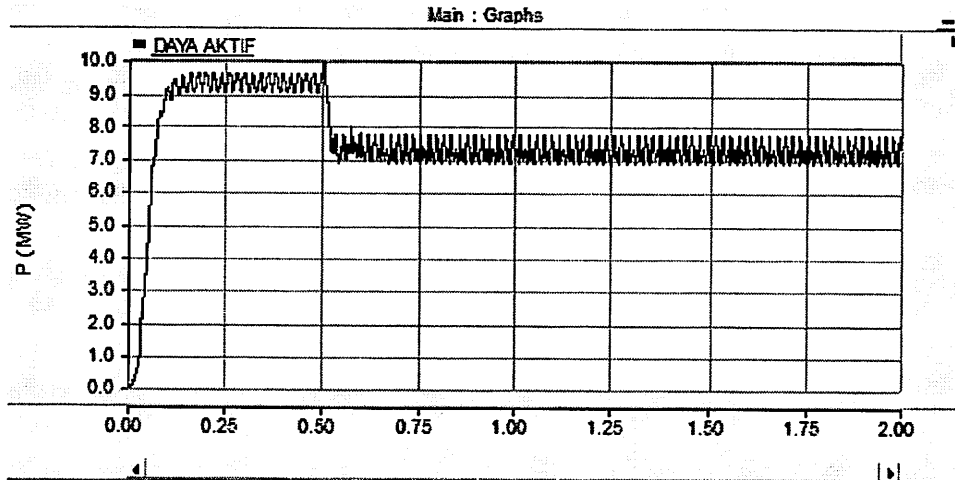
TRAFO	TEGANGAN (pu)	
	Tanpa SSSC	Dengan SSSC
Pauwels	0.7135	0.9888

Dari tabel 4.1 terlihat perbandingan nilai tegangan sebelum dan sesudah kompensasi SSSC, dimana SSSC mampu mereduksi penurunan tegangan yang terjadi pada sistem dan mampu mengembalikan tegangan pada kisaran yang diijinkan yaitu pada $0.95 < v < 1.05$ pu. Jadi SSSC mampu mengkompensasi sebesar $V = 0,2179$ pu atau $V = 4,358$ KV

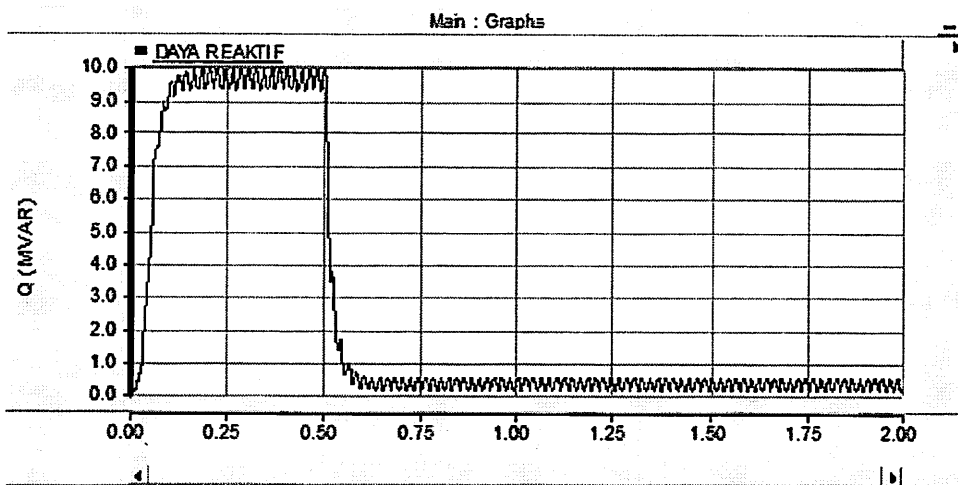
4.5 Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya Aktif dan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi SSSC.

Pada simulasi awal, komponen SSSC tidak melakukan kompensasi sama sekali. Maka setelah dilakukan kompensasi dengan menggunakan SSSC akan dapat diketahui perbandingan daya aktif dan daya reaktif sebelum dan sesudah dilakukan kompensasi SSSC.

4.5.1 Hasil Perhitungan dan Simulasi Daya Aktif Sebelum Kompensasi SSSC



Grafik 4.4 Bentuk Gelombang Daya Aktif Tanpa Kompensasi SSSC



Grafik 4.5 Bentuk Gelombang Daya Reaktif Tanpa Kompensasi SSSC

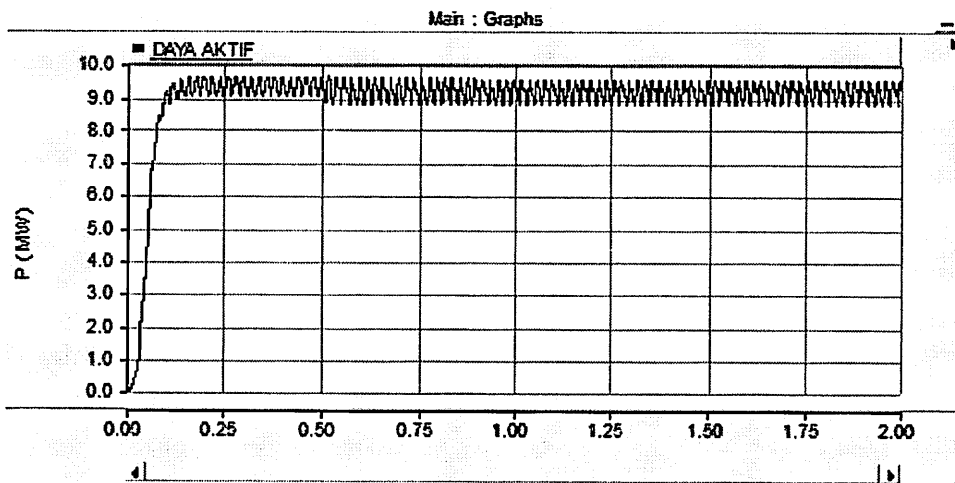
Grafik 4.4 adalah bentuk gelombang daya aktif pada bus Ega yang mengalami gangguan akibat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, dimana daya aktif pada kondisi normal yaitu sebesar $P= 9.5$ MW Setelah $t= 0.75$ s daya mengalami penurunan menjadi $P= 6.92$ MW.

Grafik 4.5 adalah bentuk gelombang daya reaktif pada bus Ega yang mengalami gangguan akibat gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, dimana daya reaktif pada kondisi normal yaitu sebesar $Q= 9.7$ Mvar Setelah $t= 0.75$ s daya mengalami penurunan menjadi $Q= 3.5257$ Mvar

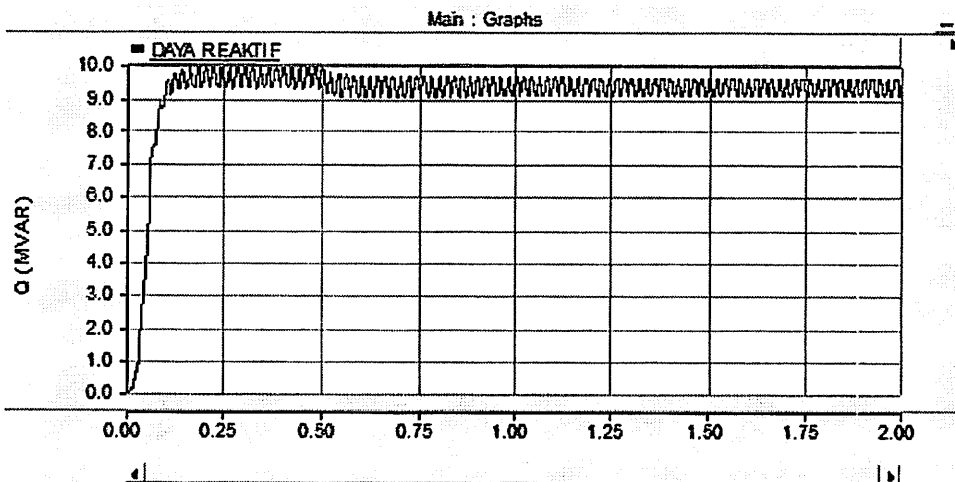
Hasil nilai keluaran daya aktif dan reaktif saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah tanpa kompensasi SSSC

Nama trafo : Pauwels
Daya aktif : 6,92 MW
Daya reaktif : 3,5257 Mvar

4.5.2 Hasil Perhitungan dan Simulasi Setelah Kompensasi SSSC



Grafik 4.6 Bentuk Gelombang Daya Aktif Setelah Kompensasi SSSC



Grafik 4.7 Bentuk Gelombang Daya reaktif Setelah Kompensasi SSSC

Dari grafik 4.6 dan grafik 4.7 terlihat meskipun belum bisa seperti saat sistem belum mengalami gangguan, kompensasi SSSC masih mampu mengkompensasi daya aktif dan daya reaktif yaitu pada $t=0.75s$ daya menjadi naik $P= 8.89$ MW dan $Q= 9.12$ Mvar

Hasil nilai keluaran tegangan saat terjadi penurunan tegangan akibat gangguan satu fasa ke tanah dengan kompensasi SSSC

Nama trafo : Pauwels
 Daya aktif : 8.89 MW
 Daya reaktif : 9.12 Mvar

Keadaan sistem jauh lebih stabil pada saat penggunaan kompensator SSSC dibandingkan keadaan sistem tanpa penggunaan kompensator SSSC.

4.5.3 Perbandingan Nilai Hasil Simulasi Sebelum Kompensasi dan Sesudah Kompensasi.

Untuk mengetahui kerja SSSC maka yang dilakukan adalah mencari perbedaan nilai daya tiap *node* dengan simulasi yang terdiri dari kondisi saat gangguan dengan kompensasi dan tanpa kompensasi.

Tabel 4.3
 Perbandingan Hasil Nilai Daya Aktif
 Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi SSSC

TRAFO	Daya aktif (MW)	
	Tanpa SSSC	Dengan SSSC
Pauwels	6.92	8.89

Tabel 4.4
 Perbandingan Hasil Nilai Daya Aktif
 Dengan Kompensasi dan Tanpa Kompensasi SSSC

TRAFO	Daya Reaktif (Mvar)	
	Tanpa SSSC	Dengan SSSC
Pauwels	3.52	9.12

Dari tabel 4.2 dan 4.3 terlihat perbandingan nilai daya sebelum dan sesudah kompensasi SSSC, dimana SSSC mampu mengkompensasi daya yang sempat turun yang terjadi pada sistem.

4.6 Analisa Hasil

Dari tabel 4.1 tampak bahwa SSSC mampu mereduksi penurunan tegangan yang terjadi akibat gangguan tiga fasa simetris sehingga tegangan dapat kembali pada kisaran yang diijinkan (0.95 – 1.05 pu). Dimana ditunjukkan bahwa :

Trafo Pauwels :

Sebelum kompensasi $V_{rms} = 0.7135$ pu

Setelah kompensasi $V_{rms} = 0.9888$ pu

Analisa perhitungan besar tegangan yang diinjeksikan pada saluran, pada kasus ini diambil contoh pada trafo Pauwels, dimana :

$$V_{\text{tanpa SSSC}} = 0.7135 \text{ pu}$$

$$V_{\text{dengan SSSC}} = 0.9888 \text{ pu}$$

Besar optimasi perbaikan kualitas tegangan sebesar :

$$\begin{aligned} V_{\text{optimasi}} &= V_{\text{with SSSC}} - V_{\text{without SSSC}} \\ &= 0.9888 \text{ (pu)} - 0.7135 \text{ (pu)} \\ &= 0.2753 \text{ (pu)} \end{aligned}$$

Mengingat $V_{\text{ref}} = 20$ kV maka,

$$V_{\text{optimasi}} = 0.2753 \times 20 \text{ kV} = 5.506 \text{ kVolt}$$

Prosentase besar V_{optimasi} yang diperoleh adalah :

$$\begin{aligned} \% V_{\text{optimasi}} &= \left| \frac{V_{\text{with SSSC}} - V_{\text{without SSSC}}}{V_{\text{with SSSC}}} \right| \times 100 \% \\ &= 0.2769 \times 100 \% = 27.69 \% \end{aligned}$$

Besar % V_{optimasi} pada trafo Pauwels ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4

Prosentase V_{optimasi}

TRAFO	V_{OPTIMASI} (kVolt)	% V_{OPTIMASI}
Pauwels	5.506	27.69

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pengaruh pemasangan SSSC pada sistem jaringan transmisi G.I Probolinggo mampu memperbaiki tegangan, dari $V = 0.7135$ pu atau $V = 14.27$ KV menjadi $V = 0.9888$ pu atau $V = 19.776$ KV.

Pengaruh pemasangan SSSC pada sistem jaringan transmisi G.I Probolinggo mampu memperbaiki daya aktif dan reaktif, dari $P = 6.92$ MW menjadi $P = 8.89$ MW dan $Q = 3.52$ Mvar menjadi $Q = 9.12$ Mvar.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat disampaikan pada skripsi ini yaitu :

- a. Penggunaan kontrol switching untuk VSC yang lebih cepat (IGBT) sehingga mengurangi rugi-rugi pensaklaran.
- b. Data lapangan, khususnya untuk saluran dilengkapi (panjang, luas penampang, dan jenis isolasi).

DAFTAR PUSTAKA

- Aghdam,H.N., “*Analysis of Static Synchronous Series Compensator (SSSC),on Congestion Management and Voltage Profile in Power System by PSAT Toolbox*”: ISSN, 2011.
- Basri, Hasan ,” *Sistem Distribusi Daya Listrik*”, (Jakarta: ISTN, 1997)
- C.D. Schauder, el. at, S. 1998. “*Operation of the Unified Power Flow Controller (UPFC) under Practical Constraints*”. In *IEEE transaction on Power Delivery*. vol. 13, no.2
- Djiteng Marsudi, “*Operasi sistem tenaga Listrik*”, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993
- Hingorani,N.G., and Gyugyi,L., S. 2000. “*Understanding FACTS concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems*”: IEEE press, 2000.
- K.K. Sen, S. 1998. “*SSSC-static synchronous series compensator: theory, modeling, and application*”. In *IEEE transaction on Power Delivery*. vol. 13, no.1
- Mohseninejad , M. Hasan & S. Javad Sajjadi, Saeed Afsharnia “*Implementation of Progressive Advance Phase Compensation Method in SSSC/ESS for Voltage Stabilization purpose* “. (ECE Department, Engineering Faculty – University of Tehran, 2007).
- RC. Dugan, “*Electrical Power System Quality*”, McGraw-Hill, New York, 1996.



LAMPIRAN



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

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

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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

NAMA : CHRISTIAN FAJARINGTYAS
NIM : 06.12.004
JURUSAN : TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1
MASA BIMBINGAN: SEMESTER GENAP 2012/2013
JUDUL : ANALISIS PENGGUNAAN *STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC)* UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI *POWER SYSTEM*

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

Hari : Selasa
Tanggal : 20 Agustus 2013
Dengan Nilai : 76,9 (B+) *✓*

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ketua Majelis Penguji

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

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT
NIP.Y.1030800417

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I

Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.P.198003012005011002

Dosen Penguji II

Ir. Ni Patu Agustini
NIP.Y.1030100371



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Selasa

Tanggal : 20 Agustus 2013

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

NAMA : CHRISTIAN FAJARINGTYAS


NIM : 06.12.004

JURUSAN : TEKNIK ELEKTRO S-1

KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1

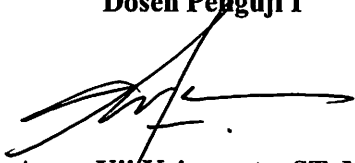
MASA BIMBINGAN: SEMESTER GENAP 2012/2013

JUDUL : *ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES
COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN PROFIL
TEGANGAN DI POWER SYSTEM*

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Pembuktian peningkatan profil tegangan setelah ada SSSC	
2	Pembuktian penurunan rugi-rugi saluran transmisi setelah ada SSSC	
3	Judul harus diperjelas	
4	Kesimpulan sesuaikan dengan tujuan yang dibahas	

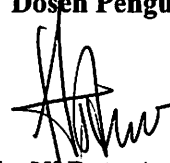
Disetujui,

Dosen Penguji I



Awan Uji Krismanto, ST, MT
NIP.P.198003012005011002

Dosen Penguji II



Ir. Ni Putu Agustini
NIP.Y.1030100371

Mengetahui

Dosen Pembimbing I



Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP.Y. 1018700151

Dosen Pembimbing II



Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

mpiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

pada : Yth. Bapak/Ibu **Ir. Taufik Hidayat, MT**

Dosen Teknik Elektro S-1

ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **CHRISTIAN FAJARINGTYAS**

Nim : **0612004**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

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

"ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN CONGESTION MANAGEMENT DAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM"

Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui

Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358

Hormat Kami

CHRISTIAN FAJARINGTYAS

NIM. 0612004



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : **CHRISTIAN FAJARINGTYAS**

Nim : **0612004**

Semester : **XIV (Empatbelas)**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

" ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN CONGESTION MANAGEMENT DAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM" (*Tambahkan studi kasus nya dimana ?*)

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

Ir. Taufik Hidayat, MT

NIP.Y. 10187000151

*) Coret yang tidak perlu



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

jumlah : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

kepada : Yth. Bapak/Ibu **Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT**

Dosen Teknik Elektro S-1

ITN Malang

Yang bertanda tangan dibawah

Nama : **CHRISTIAN FAJARINGTYAS**

Nim : **0612004**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

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

"ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN CONGESTION MANAGEMENT DAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM"

Demikian permohonan kami buat dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui

Direktur Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358

Hormat Kami

CHRISTIAN FAJARINGTYAS

NIM. 0612004



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Kampus II : Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa/i :

Nama : **CHRISTIAN FAJARINGTYAS**

Nim : **0612004**

Semester : **XIV (Empatbelas)**

Jurusan : **Teknik Elektro S-1**

Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik**

Dengan ini menyatakan bersedia/~~tidak bersedia~~*) Membimbing skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

" ANALISIS PENGGUNAAN STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC) UNTUK MENINGKATKAN CONGESTION MANAGEMENT DAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM"

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Hormat Kami

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut

*) Coret yang tidak perlu



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
Kampus II · Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Malang

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nim : 06.12.004
Nama : Christian Fajaringtyas
Masa Bimbingan : Semester Ganjil 2012-2013
Judul : Analisis Penggunaan *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)* Untuk Meningkatkan *Congestion Management* Dan Profil Tegangan Di Power Sistem.

Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
10/6/13	Latar belakang, Tujuan,	
"	Perhatikan tata tulis.	
"	BAB III diperbaiki	
18 Juli 13	Ace BAB I dan BAB II	
18/7/13	Analisis Gangguan 1 fasa ke tanah	
	2 fasa ke tanah	
	3 fasa ke tanah	
27/7/13	Ace Bab III	

Malang, 2 Juli 2013

Dosen Pembimbing

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT



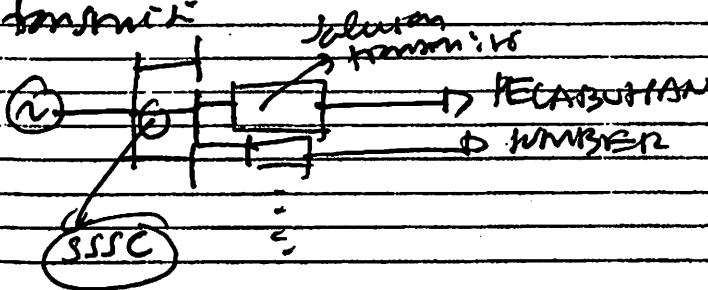
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : CHRISTIAN F
NIM : 0612004
Perbaikan meliputi :

a) Simulasikan ulang dengan mengertakan sebuah transformator



b) SSSC adalah alat untuk kompensasi daya reaktif bila arus tidak tepat !!

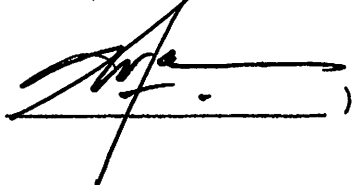
c) Tunjukkan / buktikan dalam analisis :

1) Peninggatan profil tegangan setelah ada SSSC

2) Penurunan rugi-rugi seluruh transformator setelah SSSC.

Malang,

20/8/13

()



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

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

NAMA : Christian Pagarintyas.
NIM : 0612004.
Perbaikan melalui :

- Judul. Mohon di perbaiki.
- Kesimpulan sesuaikan dengan Tujuan yang di bahas.

Malang.

(_____)

40 m (as far as the 20 bang ketan)



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

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

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

LEMBAR BIODATA PENULIS



Nama : Christian Fajaringtyas
NIM : 06.12.004
Tempat/Tanggal Lahir : Boyolali, 21 Desember 1987
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
Nilai Skripsi : 76,9
Masa Bimbingan : Semester Genap 2012/2013
IPK : 2,94

Alamat Asal : Jl. Angrek 2 Probolinggo – Jawa Timur
Nama Orang Tua : Sriyanto
Alamat Orang Tua : Jl. Angrek 2 Probolinggo – Jawa Timur
Dosen Pembimbing I : Ir. Taufik Hidayat, ST
Dosen Pembimbing II : Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT.
Judul Skripsi : ANALISIS PENGGUNAAN *STATIC SYNCHRONOUS SERIES COMPENSATOR (SSSC)* UNTUK MENINGKATKAN PROFIL TEGANGAN DI POWER SYSTEM