

SKRIPSI
ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN
KOMPENSASI STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI
500KV ANTARA GARDU INDUK (GI) PAITON DAN GARDU
INDUK (GI) KEDIRI MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD
POWER SIMULATION



Disusun oleh :
GRONIKO YUNANTO WAHONO
NIM : 1012907

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012



LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN KOMPENSASI
STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU
INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI) KEDIRI MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD POWER SIMULATION**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

**GRONIKO YUNANTO WAHONO
NIM : 10.12.907**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



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

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

**Ir. Ni Putu Agustini, MT
NIP.Y.1030100371**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Groniko Yunanto Wahono

NIM : 1012907

Program Studi : Teknik Elektro

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, 26-09-2012

Yang membuat Pernyataan,



Groniko Yunanto Wahono
1012907

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Groniko Yunanto Wahono

NIM : 1012907

Program Studi : Teknik Elektro

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, 26-09-2012

Yang membuat Pernyataan,



Groniko Yunanto Wahono
1012907

**ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN KOMPENSASI
STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU
INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI) KEDIRI MENGGUNAKAN
SOFTWARE PSCAD POWER SIMULATION**

GRONIKO YUNANTO WAHONO

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: ncvnicovic@gmail.com

Abstrak

Kemungkinan terjadinya gangguan pada saluran transmisi 500 KV sangatlah besar, salah satunya adalah terjadinya tegangan sisi terima yang lebih besar dari pada sisi kirim (*Ferranti Effect*) maka dari itulah analisa terhadap perbaikan *Ferranti Effect* dapat direduksi dengan memasang Reaktor dan STATCOM, analisis perbaikan dilakukan di sisi terima yaitu di GI Kediri serta mereduksi terjadinya *Ferranti Effect* pada saluran tegangan ekstra tinggi 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri yang disebabkan karena adanya kapasitansi pada saluran transmisi. Hasilnya STATCOM dapat memberikan kompensasi yang lebih baik dari pada Reaktor karena dapat mendekati tegangan pada sisi kirim yaitu dengan selisih 0,004 pu sedangkan Reaktor 0,007 pu, dengan hasil sisi kirim 1,003 pu, sisi terima dengan pemasangan STATCOM 0,999 pu dan pemasangan Reaktor 0,996 pu dengan menggunakan *Software* PSCAD/EMTDC

Kata Kunci : *Ferranti Effect*, STATCOM, Reaktor, Kapasitansi, Saluran Transmisi.

Abstract

Interference with the 500 KV transmission line was great, one of which is the voltage of the receiving greater than at the sending end (*Ferranti Effect*) so that an analysis of the improvement of *Ferranti Effect* can be reduced by installing a reactor and the STATCOM, the analysis carried out repairs on the side accept that in Karachi as well as reduce the occurrence of GI *Ferranti Effect* on extra high voltage line 500 kV between the GI and GI Kediri Paiton the capacitance due to the transmission line. The result STATCOM can provide better compensation from the reactor because it can approximate the voltage at the sending end by a margin of 0.004 pu pu while the reactor was 0.007, with 1.003 pu result of the sending end, the receiving end with the installation of STATCOM 0.999 pu and 0.996 pu reactor installation using *Software* PSCAD / EMTDC

Key Words : *Ferranti Effect*, STATCOM, Reactor, Capacitance, Transmission Line.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Tuhan YME yang dengan segala Kasih dan Anugerah – Nya, telah memberikan kekuatan, kesabaran, bimbingan dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :
“ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN KOMPENSASI STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI) KEDIRI MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD POWER SIMULATION”

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

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor ITN Malang
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu Ir. Ni Putu Agustini, MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Subekti dan Ibu Endang selaku orang tua penulis yang selalu memberi motivasi serta do'a yang beliau panjatkan untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi.

7. Bapak-Ibu yang ada di PT. PLN (Persero) dan Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.
8. Yoyok Funkopler, Deditz Irfanditz dan teman-teman yang selalu membantu dan memberikan motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

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

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

Malang, Agustus 2012



Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
1.7. Penjelasan Istilah.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1. Pengertian Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.2. Gardu Induk (GI) Secara Umum	6
2.2. Komponen Saluran Transmisi.....	6
2.2.1. Tiang Transmisi Beserta Pondasinya	7
2.2.2. Isolator.....	9
2.2.3. Kawat Penghantar (Conductor).....	10
2.2.4. Kawat Tanah	10
2.3. Sistem Jaringan	11
2.4. Sistem Saluran Transmisi.....	13
2.4.1. Penggolongan Sistem Transmisi.....	15
2.4.2. <i>Ferranti Effect</i> Pada Saluran Transmisi.....	18
2.5. Penyebab Timbulnya <i>Ferranti Effect</i>	19

2.5.1. Pengaruh Sifat Kapasitif Pada Saluran Transmisi	20
2.6. Kompensasi Saluran Transmisi.....	21
2.7. STATCOM.....	23
2.7. PSCAD.....	23
BAB III METODOLOGI	24
3.1. Umum.....	24
3.2. Pengolahan Data.....	25
3.2.1. Data Sisi Kirim Di GI Paiton.	25
3.2.2. Data Sisi Terima Di GI Kediri.	25
3.2.3. Data Reaktor.....	27
3.3. <i>Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation</i>	27
3.4. <i>Flowchart</i> Simulasi	27
BAB IV HASIL DAN ANALISA	29
4.1. Simulasi Dan Hasil.....	29
4.2. Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Pada Saluran Transmisi 500 kV Menggunakan <i>Software PSCAD/EMTDC</i>	29
4.2.1. Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Sebelum Pemasangan Kompensasi	29
4.2.2. Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Setelah Pemasangan Reaktor.....	29
4.2.3. Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Setelah Pemasangan STATCOM.	30
4.3. Hasil Simulasi <i>Ferranti Effect</i>	31
4.3.1. Sebelum Pemasangan Kompensasi	31
4.3.2. Setelah Pemasangan Reaktor.....	31
4.3.3. Setelah Pemasangan STATCOM.	32
4.4. Hasil Analisa Sebelum Kompensasi, Setelah Pemasangan Reaktor dan STATCOM.....	32
BAB V PENUTUP	33
5.1. Kesimpulan.....	33
5.2. Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Sisi Kirim Di GI Paiton	26
Tabel 3.2 Data Sisi Kirim Di GI Kediri	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV.....	7
Gambar 2.3 Isolator Renteng.....	9
Gambar 2.4 Konduktor Berkas 4 Kawat (quadruple)	10
Gambar 2.5 Sistem Radial.....	12
Gambar 2.6 Sistem Ring	12
Gambar 2.7 Sistem Interkoneksi	13
Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen π untuk Saluran Transmisi Jarak Menengah.....	16
Gambar 2.9 Susunan Penghantar	19
Gambar 2.10 Saluran Transmisi Dengan Kompensasi Di Sisi Ujung Penerima	21
Gambar 2.11 Saluran Transmisi Dengan Kompensasi Di Sisi Ujung Pengirim.....	22
Gambar 2.12 STATCOM Dihubungkan Paralel Pada Saluran Transmisi	23
Gambar 3.1 Jalur Saluran Transmisi 500 kV Antara GI Paiton dan GI Kediri.....	24
Gambar 3.2 Reaktor	26
Gambar 3.3 <i>Flowchart Ferranti Effect</i>	27
Gambar 4.1 Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Sebelum Pemasangan Kompensasi	29
Gambar 4.2 Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Setelah Pemasangan Reaktor.....	30
Gambar 4.3 Simulasi <i>Ferranti Effect</i> Setelah Pemasangan STATCOM	30
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan Kompensasi.....	31
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Reaktor	31
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Setelah Pemasangan STATCOM.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pendahuluan ini menjabarkan secara umum tentang sistem tenaga listrik. Masalah yang dibahas merupakan uraian tentang bagian-bagian dan permasalahan sistem tenaga listrik secara umum. Sekarang ini kebutuhan tenaga listrik bukan saja monopoli daerah perkotaan tetapi sudah merambah ke desa-desa terpencil. Untuk melayani daerah perkotaan dan pedesaan perlu di tingkatkan pula pembangunan jaringan distribusi sehingga terjadi pemerataan pemakaian energi listrik. Mengingat pentingnya energi listrik bagi kehidupan orang banyak dan bagi pembangunan nasional, maka suatu sistem tenaga listrik harus bisa melayani pelanggan secara baik, dalam arti sistem tenaga listrik tersebut aman dan andal.

Aman disini mempunyai pengertian bahwa sistem tenaga listrik tidak membahayakan manusia dan lingkungannya. Dan handal mempunyai arti bahwa sistem tenaga listrik ini dapat melayani pelanggan secara memuaskan misalnya dalam segi kontinuitas dan kualitas. Hal ini akan bisa terwujud apabila proses perencanaan, pelaksanaan pembangunan, pengoperasian dan pemeliharaan suatu sistem tenaga listrik senantiasa mengikuti ketentuan standar teknik yang berlaku.

Adapun prinsip kerja dari sistem tenaga listrik di mulai dari bagian pembangkitan kemudian disalurkan melalui sistem jaringan transmisi pada gardu induk dan dari gardu induk disalurkan serta dibagi-bagi kepada pelanggan melalui saluran distribusi.

Pada saluran transmisi antara GIPaiton dengan GI Kediri terdapat suatu masalah yang terjadi, yaitu tegangan di sisi terima lebih besar dari pada di sisi kirim atau biasa disebut dengan *Ferranti Effect*. Sehubungan dengan itu maka penulis mengambil judul skripsi tentang **ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN KOMPENSASI STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU**

INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI) KEDIRI MENGUNAKAN SOFTWARE PSCAD POWER SIMULATION

1.1. Rumusan Masalah

Ferranti Effect adalah suatu istilah bila tegangan di sisi terima lebih besar dari pada sisi kirim. Penyebab terjadinya *Ferranti Effect* karena adanya kapasitansi yang besar pada saluran transmisi antara GI Paiton dan GI Kediri. *Ferranti Effect* dapat ditanggulangi dengan memakai Reaktor dan STATCOM.

1.2. Tujuan

Berdasarkan latar belakang diatas maka tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mereduksi terjadinya *Ferranti Effect* pada saluran tegangan ekstra tinggi 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri dengan menggunakan *software* PSCAD Power Simulation.
- 2) Melakukan analisis terhadap perbaikan *Ferranti Effect* antara GI Paiton dan GI Kediri. Analisis perbaikan dilakukan di sisi terima yaitu di GI Kediri.
- 3) Mengetahui seberapa baik Reaktor dan STATCOM mengompensasi tegangan pada sisi terima yaitu di GI Kediri

1.3. Batasan Masalah

Agar tidak meluas dalam uraian pada skripsi ini, maka penulis mempunyai batasan dalam pembahasannya.meliputi:

1. Hanya membahas perbaikan *Ferranti Effect* pada saluran transmisi ekstra tinggi 500 kV dengan menggunakan *software* PSCAD power simulation.
2. Tidak membahas secara detail rugi daya yang disebabkan oleh tahanan pada penghantar.

1.4. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengumpulan materi dan studi literatur yang berhubungan dengan *Ferranti Effect*.
2. Pengumpulan data diperoleh dari GI Paiton dan GI Kediri.
3. Melakukan perencanaan dan perhitungan berdasarkan formulasi yang telah diketahui.
4. Simulasi perbaikan *Ferranti Effect* menggunakan *software* PSCAD.
5. Analisa dan pembahasan terhadap hasil dari simulasi program dengan data lapangan sebagai validasi.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dalam skripsi ini, maka sistematika penulisan dibagi dalam beberapa bab, terdiri dari sub-sub bab yang antara lain:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, tujuan penyusunan, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika laporan dan penjelasan istilah

BAB 2 LANDASAN TEORI

Pada bab ini membahas tentang sistem tenaga listrik, komponen saluran transmisi, sistem jaringan, sistem saluran transmisi, penyebab timbulnya *Ferranti Effect*, kompensasi saluran transmisi, dan statcom.

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tentang *flowchart* dan data pengerjaan skripsi ini.

BAB 4 ANALISA

Pembahasan dari bab ini berdasarkan landasan teori dan *flowchart* pengerjaan serta hasil analisa.

BAB 5 PENUTUP

Merupakan kesimpulan dari penulisan laporan skripsi dan saran untuk penulisan laporan skripsi jika diinginkan pengembangan penulisan.

1.7. Penjelasan Istilah

Ferranti Effect adalah suatu istilah bila tegangan di sisi terima lebih besar dari pada sisi kirim.

Pscad adalah singkatan dari Power System Computer Aided Design

STATCOM adalah singkatan dari Static Synchronous Compensator

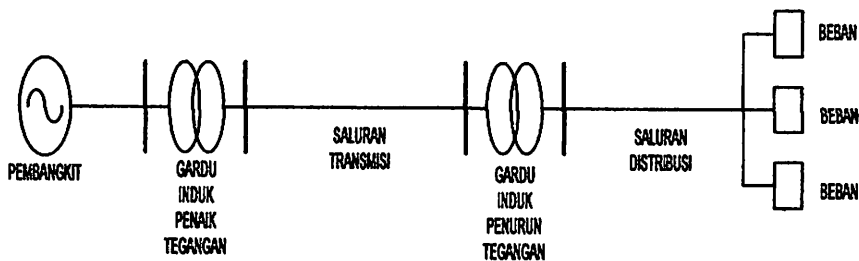
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.1.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari empat unsur, yaitu : pembangkit, transmisi, distribusi dan pemakaian tenaga listrik (beban). Energi listrik dibangkitkan di pusat tenaga listrik (seperti PLTA, PLTU, PLTN, PLTG, PLTD) dan disalurkan melalui jarak yang cukup jauh ke pusat-pusat pemakaian tenaga listrik. Dikarenakan jarak antara pusat pembangkit dengan beban jauh, maka kerugian dapat timbul pada saluran transmisi. Untuk mengurangi kerugian-kerugian dalam sistem tenaga listrik maka tegangan yang keluar dari pembangkit dinaikkan menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi (tegangan transmisi).



Gambar 2.1 Diagram Segaris Sistem Tenaga Listrik *

*) Tobing Bonggas L. 2003, 1

Tegangan generator biasanya berupa tegangan menengah (TM). Di GI penaik tegangan melalui transformator tegangan dinaikkan menjadi tegangan tinggi (TT) atau tegangan ekstra tinggi (TET) untuk disalurkan ke transmisi. Saluran transmisi tegangan ekstra tinggi yang masih digunakan di Indonesia adalah 500 kV, saluran transmisi tegangan tinggi 70 kV dan 150 kV, sedangkan untuk tegangan menengah 20 kV digunakan pada jaringan distribusi.

2.1.2 Gardu Induk (GI) Secara Umum

GI merupakan salah satu komponen yang penting dalam menjulang kebutuhan listrik konsumen maupun sebagai pengatur pelayanan listrik yang didapatkan dari pusat pembangkit untuk disalurkan ke pusat-pusat beban. Pada GI dilaksanakan hubungan interkoneksi antara pembangkit-pembangkit tersebut, melalui saluran transmisi disalurkan dan didistribusikan pada konsumen.

Ada beberapa fungsi GI yaitu :

1. Untuk mengatur aliran tenaga listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi yang lain, serta mendistribusikannya ke konsumen
2. Sebagai tempat untuk mengubah tegangan (menurunkan/menaikkan) guna keperluan penyaluran distribusi atau untuk penyaluran transmisi.
3. Tempat pengaturan beban dan control pengaman penyaluran transmisi.

Dari fungsi-fungsi tersebut terlihat bahwa peralatan di GI harus memiliki keandalan yang tinggi sehingga kontinuitas dan kualitas tenaga listrik yang sampai kekonsumen dapat secara optimal dan konsumen tidak merasa dirugikan.

Kontinuitas pelayanan yang baik dan keandalan yang tinggi dari peralatan ditetapkan dengan memperlihatkan segi ekonomis dan standart yang berlaku, sehingga keandalan dari peralatan tersebut dapat secara optimal, sedangkan untuk penempatan peralatan direncanakan sedemikianrupa sehingga dalam pengoperasian dan perawatan dapat dilakukan dengan mudah, aman dan efektif.

2.2 Komponen Saluran Transmisi

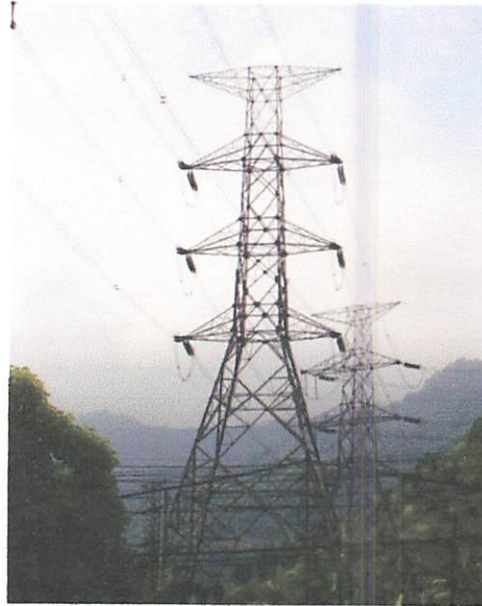
komponen-komponen utama dari sistem transmisi saluran udara adalah :

1. Tiang transmisi beserta fondasinya
2. Isolator
3. Kawat penghantar (conductor)

4. Kawat tanah (ground wire)

2.2.1 Tiang Transmisi Beserta Pondasinya

Tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi, yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi di gunakan menara baja.



Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV*

*)PLN Udiklat Bogor

Menara baja untuk saluran transmisi dibagi menurut bentuk dan sifat konstruksinya, yaitu :

1. Menara persegi
Jenis ini banyak digunakan untuk transmisi jenis ganda (*double*).
2. Menara persegi panjang sama bagian atas dan bagian bawahnya
Banyak digunakan untuk saluran tunggal dan saluran banyak (*multi circuit*).
3. Menara jenis korset

Mempunyai konstruksi sempit dibagian tengahnya, dan biasanya digunakan untuk saluran tegangan tinggi rangkaian tunggal (*single circuit*) serta untuk gawang (*span*) yang lebar.

4. Menara gantry

Digunakan bila saluran menyebrangi jalan, kereta api, jalan raya serta sungai /kanal-kanal air.

5. Menara rotasi

Adalah menara yang bagian atasnya diputar 45 diatas bagian bawahnya.

6. Menara MC

Menara ini terbuat dari pipa-pipa baja yang di isi beton.

7. Menara bertali

Mempunyai konstruksi berengsel yang menunjang beban mekanisnya dengan kawat-kawat penahan (*stay wires*).

Menara transmisi baja dibagi menurut objek atau tujuan penggunaannya,

1. Menara standar

a. Menara singgung (*tangent menara*) : diterapkan bila sudut mendatar kurang dari 3)

b. Menara sudut (*angle tower*) :

- menara sudut kecil (diterapkan bila sudut mendatar kurang dari 20)

- menara sudut besar (diterapkan bila sudut mendatar kurang dari 30)

c. Menara ujung (*dead end tower*) : digunakan untuk merentang kawat diujung

d. Menara pemegang (*tension tower*) : digunakan untuk memperkuat tegangan tower.

2. Menara khusus dipakai bila menara standar tidak dapat digunakan.

2.2.2 Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya yaitu:

- Jenis gantung (suspension)
- Jenis pasak (pin type)
- Jenis batang panjang (long rod)
- Jenis pos saluran (line post)

Gandengan isolator gantung pada umumnya dipakai pada saluran transmisi tegangan tinggi, sedangkan isolator batang panjang dipakai ditempat-tempat dimana pengotoran udara karena debu dan garam banyak terjadi.

Pada isolator gantung ada 2 jenis :

1. Clevis type
2. Ball and socket type

Yang masing-masing terbuat dari porselin dengan tutup (cap) dari besi tempaan (malleable iron) disatu pihak dan pasak baja dilain pihak. Jenis pasak dan line post terbuat dari porselin yang bagian bawahnya diberi tutup (timbel cop) besi cor yang disemen pada porselin dan pasak baja. Jenis batang panjang mempunyai sedikit bagian logam sehingga tidak menjadi rusak, sehingga jenis ini sesuai sekali untuk penggunaan pada tempat-tempat yang banyak di kotori garan dan debu.



Gambar 2.3 Isolator Renteng*

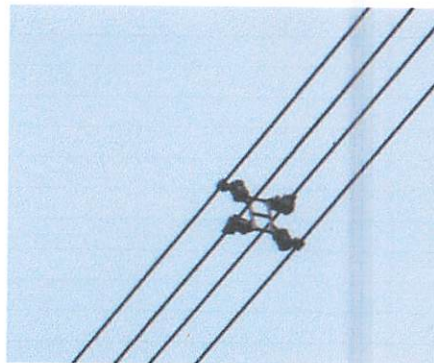
*)PLN Udiklat Bogor

2.2.3 Kawat Penghantar (Conductor)

Konduktor adalah salah satu komponen utama peralatan dan instalasi listrik, yang berperan untuk menyalurkan arus dari satu ke bagian lain dan juga untuk menghubungkan bagian-bagian yang satu dirancang bertegangan sama. Bahan konduktor yang paling umum digunakan adalah tembaga dan aluminium. Di lihat dari isolasi yang digunakan, konduktor terdiri dari dua jenis yaitu konduktor atau kawat telanjang dan konduktor berisolasi atau kabel.

Kawat penghantar aluminium memiliki kelebihan selain harganya lebih murah juga lebih ringan dibanding kawat penghantar tembaga. Oleh karena itu kawat penghantar kawat aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara dua tiang/menara jauh (ratusan meter), dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.



Gambar 2.4 Konduktor Berkas 4 Kawat (quadruple)*

*)PLN Udiklat Bogor

Untuk mengetahui kemampuan hantar arus, harus dicari terlebih dahulu dengan menggunakan rumus : $KHA = 1,25 \times I_n$

Apabila kemampuan hantar arus melebihi KHA maka perlu adanya penggantian luas penampang penghantar yang lebih besar.

2.2.4 Kawat Tanah

1. Kawat Tanah / Kawat Petir (GSW : Ground Steel Wire)

Kawat Tanah (GSW) biasanya terdiri dari lilitan kawat baja (St 35 atau St 50) yang ditempatkan diatas kawat penghantar berfungsi sebagai pelindung kawat penghantar terhadap sambaran petir langsung.

2. Kawat Tanah Fiber Optic (OPGW : Optic Ground Wire)

Kawat Tanah jenis OPGW terdiri dari lilitan kawat aluminium baja (ACS : Aluminium Clad Steel Wire) yang berintikan kawat aluminium berongga. Rongga ini ditempati oleh saluran fiber optik yang digunakan untuk keperluan telemetering, telekomunikasi, teleproteksi, teledata dan lain sebagainya).

Kawat tanah juga dilengkapi dengan damper (peredam) untuk mengurangi getaran di kawat karena adanya pengaruh angin.

2.3 Sistem Jaringan

a. Sistem Radial

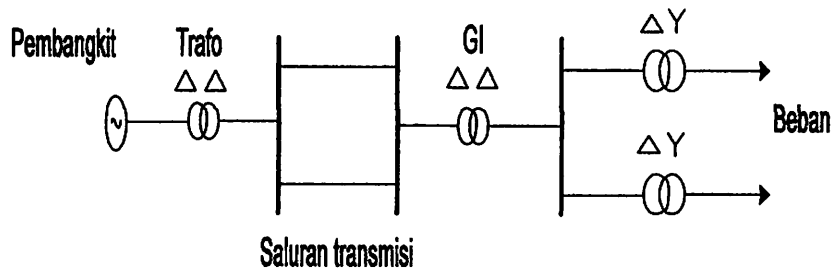
Sistem radial adalah sistem yang dihubungkan pada pembangkit tenaga listrik dengan gardu induk dan kemudian disalurkan ke konsumen (beban) melalui jaringan distribusi.

Keuntungan Sistem Radial :

1. Konstruksinya sangat sederhana.
2. Mudah mengalirkan tenaga listrik dari tempat yang satu ke tempat yang lain.
3. Serta biaya pembangunannya relatif murah (ekonomis).

Kendala Penyaluran Sistem Radial:

1. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik kurang andal.
2. Bila sistem ini digunakan pada daerah yang luas (banyak sistem radial) maka biayanya menjadi mahal.



Gambar 2.5 Sistem Radial

b. Sistem Ring (Tertutup)

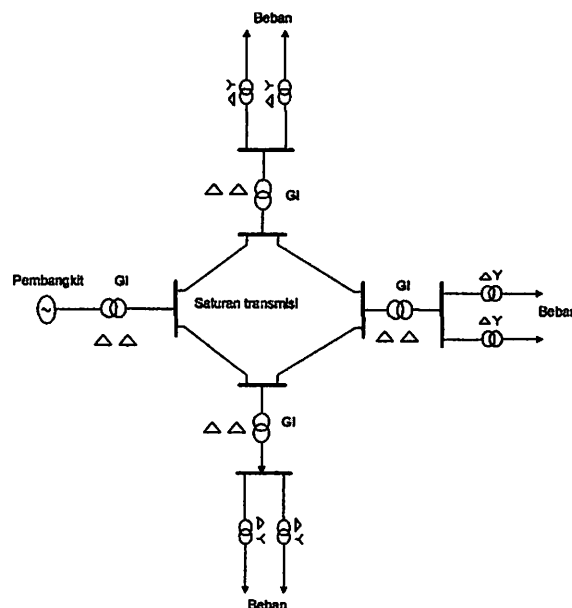
Sistem ring adalah suatu sistem yang memanfaatkan beberapa gardu induk yang dapat dihubungkan sehingga merupakan rangkaian tertutup dan sumber tenaga listriknya berasal dari satu pusat tenaga listrik.

Keuntungan Sistem Ring :

1. Kontinuitas penyalurannya cukup baik.
2. Sistem perencanaannya tidak begitu rumit.

Kendala Penyaluran Sistem Ring :

1. Pengaturan sulit dilakukan terutama pada gardu induk yang teletak jauh.
2. Perhitungan-perhitungan sistem pengamannya lebih sulit dibandingkan sistem radial.



Gambar 2.6 Sistem Ring

c. Sistem Interkoneksi

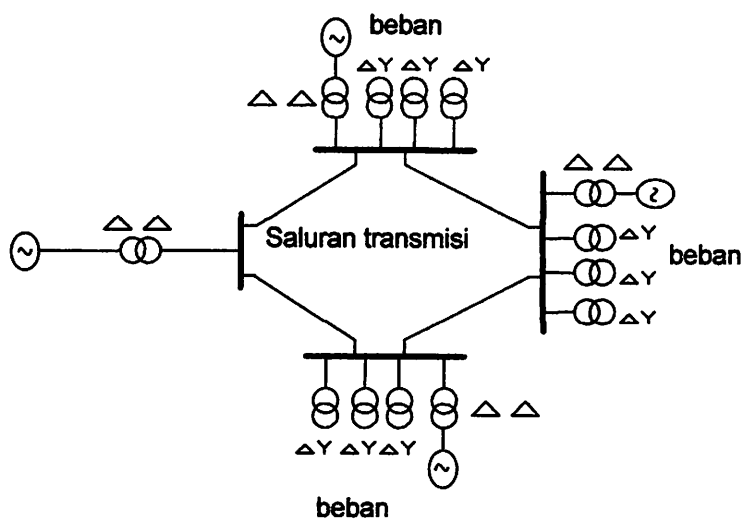
Pada sistem interkoneksi ini terdapat beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang digabungkan melalui jaringan transmisi.

Keuntungan Sistem Interkoneksi :

- Dengan penggabungan beberapa pusat pembangkit ini maka kontinuitas pelayanannya menjadi sangat andal.
- Pusat pembangkit tersebut tidak perlu bekerja secara optimal.
- Pusat pembangkit dapat saling menyuplai tenaga listrik melalui pusat pengatur beban (P₂B).

Kendala Sistem Interkoneksi :

Yang jelas besarnya biaya instalasi yang menjadi kendala penggunaan sistem interkoneksi



Gambar 2.7 Sistem Interkoneksi

2.4 Sistem Saluran Transmisi

Kemampuan transmisi dari saluran-saluran yang sama panjangnya berubah-ubah kira-kira sebanding dengan kuadrat dari tegangan, 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, keandalan dan persyaratan kestabilan sistem yaitu penjagaan bahwa mesin-mesin pada sistem tersebut tetap

berjalan serempak satu terhadap yang lain, kebanyakan faktor-faktor ini masih tergantung juga terhadap panjangnya saluran.

Saluran transmisi listrik mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga listrik :

- Resistansi
- Induktansi
- Konduktansi
- Kapasitansi

1. Resistansi

Untuk menghitung resistansi penghantar pada saluran kabel tegangan menengah dapat diperoleh dengan menggunakan table resistansi yang dikeluarkan oleh pabrik. Ada dua nilai yang digunakan dalam menentukan resistansi kabel. Nilai itu adalah nilai resistansi AC dan nilai resistansi DC. Pada umumnya yang tercantum pada tabel adalah nilai resistansi DC. Sedangkan rumusnya adalah:

$$R_{20} = \rho_{20} \frac{L}{A}$$

Dimana:

ρ = resistivitas

L = panjang kawat

A = luas penampang kawat

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc. hal 06

2. Induktansi

Induktansi adalah sifat rangkaian yang menghubungkan tegangan yang diimbaskan oleh perubahan fluks dengan kecepatan perubahan arus, dengan rumus sebagai berikut:

$$X_L = 2 \pi f L$$

Dimana $\pi = 3,14$

f = Frekwensi

L = Panjang kawat

*)ANALISA SISTEM TENAGA, William D. Stevenson, JR. hal 87

3. Konduktansi

Konduktansi antar penghantar-penghantar atau antar penghantar dan tanah menyebabkan terjadinya arus bocor pada isolator-isolator dari saluran atas tiang (over lines) dan yang melalui isolasi dari kabel-kabel karena kebocoran penghantar pada saluran atas tiang sangat kecil sehingga dapat diabaikan, konduktansi antar penghantar pada saluran diatas tiang dianggap sama dengan nol.

4. Kapasitansi

Untuk saluran jarak pendek memiliki kapasitansi yang kecil dengan demikian arus bocor ke tanah kecil terhadap arus beban. Sehingga kapasitansi ke tanah dapat diabaikan.

Sedangkan saluran jarak menengah memiliki kapasitansi yang besar dengan demikian arus bocor ke tanah juga besar terhadap arus beban. Sehingga kapasitansi ke tanah tidak boleh diabaikan.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log_e \frac{d}{r}}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

*)ANALISA SISTEM TENAGA, William D. Stevenson, JR. hal 116

2.4.1 Penggolongan Sistem Transmisi

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

Untuk keperluan analisa dan perhitungan maka diagram pengganti biasanya dibagi dalam 3 kelas menurut panjang salurannya yaitu:

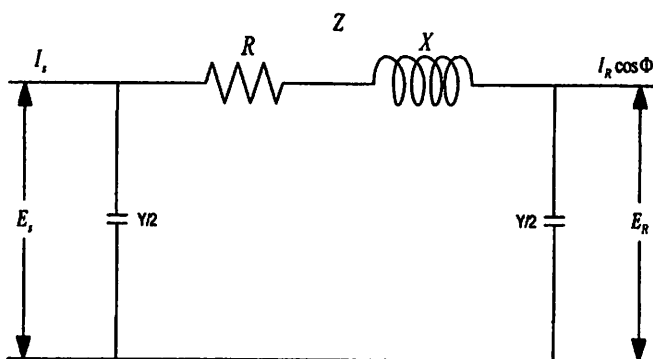
- Saluran Transmisi Pendek (short line) panjangnya ± 50 mile (< 80 km).*
- Saluran Transmisi Menengah (medium line) yang panjangnya antara 50 mile – 100 mile (80 – 250 km).*
- Saluran Transmisi Panjang (long line) yang panjangnya diatas 100 mile (> 250 km).*

Sebenarnya klasifikasi diatas masih kabur dan sangat relative. Klasifikasi saluran transmisi harus didasarkan atas besar kecilnya kapasitansi ke tanah.

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc. hal 59

Saluran Transmisi Menengah

Dari pernyataan diatas sudah menunjukkan bahwa saluran transmisi dari GI Paiton ke GI Kediri digolongkan pada saluran transmisi jarak menengah karena memiliki jarak 209,566 km.



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen π untuk Saluran Transmisi Jarak Menengah

Untuk rangkaian π persamaannya adalah :

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)V_R + Z \cdot I_R \dots\dots\dots(1)$$

$$I_S = \left(Y + \frac{Z \cdot Y^2}{4}\right)V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)I_R \dots\dots(2)$$

Dimana : V_S = Tegangan pada sisi kirim

V_R = Tegangan sisi terima

I_R = Arus sisi terima

Z = Impedansi saluran

Y = Admitansi

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc.
hal 63

Tegangan pada ujung pengirim:

$$V_r = V_s - \Delta V \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

V_s = Tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = Tegangan pada ujung penerimaan

ΔV = Drop tegangan

Effisiensi saluran transmisi adalah perbandingan antara daya yang diterima dengan daya yang disalurkan.

$$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

P_r = daya yang diterima (MW)

P_s = daya yang dikirim (MW)

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk,
M.sc. hal 65

$$\text{Persen Regulasi} = \frac{[V_{R,NL}] - [V_{R,FL}]}{[V_{R,FL}]} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc.

hal 63

Dimana $[V_{R.NL}]$ adalah besarnya tegangan pada ujung penerima dalam keadaan tanpa beban dan $[V_{R.FL}]$ adalah besarnya tegangan pada ujung penerima dengan beban penuh dan $[Vs]$ konstan. Sesudah beban pada suatu saluran transmisi menengah dilepaskan pada ujung penerima akan sama dengan tegangan pada ujung pengirim. dengan beban terhubung, tegangan ujung penerima ditunjukkan dengan V_r dan $[V_r] = [V_{R.FL}]$ tegangan ujung pengirim adalah

$$[Vs] = [V_{R.NL}] \dots \dots \dots (6)$$

2.4.2 Ferranti Effect Pada Saluran Transmisi

Saluran transmisi panjang tanpa kompensasi melarang adanya kenaikan tegangan disisi ujung terima. Relasi antara tegangan dan arus pada saluran transmisi menengah telah dirumuskan pada persamaan yaitu :

Relasi tegangan dan arus:

$$V_S = V_R + I_P Z$$

Tetapi,

$$I_P = I_R + V_R \frac{Y}{2}$$

Maka,

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R + Z I_R$$

$$I_S = \left(Y + \frac{Z.Y^2}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_R$$

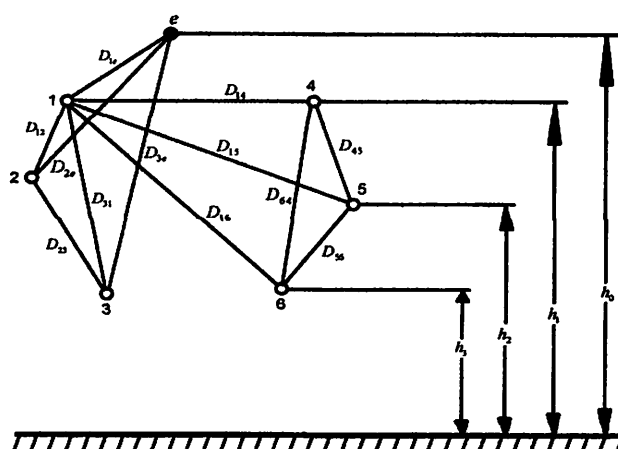
*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc.

hal 63

2.5 Penyebab Timbulnya *Ferranti Effect*

Adanya kapasitansi yang besar antara transmisi terhadap tanah dengan demikian arus bocor ke tanah juga besar terhadap arus beban. Sehingga kapasitansi ke tanah tidak boleh diabaikan, hal inilah yang dapat menyebabkan kenaikan tegangan di sisi terima

Kapasitansi suatu saluran transmisi merupakan akibat beda potensial antar penghantar, kapasitansi ini menyebabkan penghantar-penghantar itu bermuatan seperti halnya yang terjadi pada keping-keping suatu kapasitor bila ada beda potensial diantaranya. Kapasitansi antar penghantar-penghantar sejajar adalah konstan tergantung kepada ukuran dan jarak pemisah antar penghantar. Untuk suatu saluran daya yang kurang dari 50 mil, pengaruh kapasitansi ini sangat kecil dan biasanya diabaikan, untuk saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi ini bertambah menjadi penting.



Gambar 2.9 Susunan Penghantar

*)TEKNIK TENAGA LISTRIK Jilid II, Dr. Arismunandar Artono dan Dr. S. Kuwahara.

Bila saluran seimbang maka harga pendekatan untuk kapasitansi dapat digunakan. Untuk penghantar jari-jari r seperti pada gambar diatas. Maka kapasitansi urutan positif atau negatif dinyatakan oleh

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log_e \frac{d}{r}}$$

*)TEKNIK TENAGA LISTRIK Jilid II, Dr. Arismunandar Artono dan Dr. S. Kuwahara.

Kapasitansi positif dan negatif jarang dipengaruhi oleh kawat tanah, sehingga dalam perhitungan dapat diabaikan. Tetapi, *kapasitansi urutan nol* naik kira-kira 8% untuk rangkaian tunggal dan kira-kira 17% untuk rangkaian ganda bila ada kawat tanah.

2.5.1 Pengaruh Sifat Kapasitif Pada Saluran Transmisi

Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antara penghantar, kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti plat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Suatu tegangan bolak-balik yang terpasang pada saluran transmisi akan menyebabkan muatan pada penghantar-penghantarnya di setiap titik bertambah atau berkurang sesuai dengan kenaikan dan penurunan nilai sesaat tegangan antara penghantar pada titik tersebut. Aliran muatan adalah arus, dan arus yang disebabkan oleh pengisian dan pengosongan bolak-balik saluran karena tegangan bolak-balik disebut arus pengisian saluran. Arus pengisian mengalir dalam saluran transmisi meskipun saluran itu dalam keadaan terbuka. istilah arus pengisian dipakai untuk arus yang ada hubungannya dengan kapasitansi saluran.

Untuk rangkaian fasa tunggal arus pengisian adalah hasil perkalian tegangan antar saluran dengan susceptansi antar saluran.

Untuk saluran tiga fasa arus pengisian didapatkan dengan mengalihkan tegangan ke netral dengan susceptansi kapasitif ke netral. Hasilnya adalah arus pengisian perfasa dan ini sesuai dengan perhitungan untuk tiga fasa yang seimbang berdasarkan fasa tunggal dengan pengembalian netral (*neutral return*).

2.6 Kompensasi Saluran Transmisi

Kemampuan kerja saluran transmisi, terutama dari yang panjang menengah dan lebih panjang, dapat diperbaiki dengan kompensasi jenis paralel.

Kompensasi shunt adalah penempatan induktor-induktor antara masing-masing saluran dan netral untuk mengurangi sebagian atau menghilangkan sama sekali suseptansi shunt saluran tegangan tinggi, yang terutama penting pada keadaan beban ringan atau tanpa beban, dimana tegangan di sisi ujung penerima dapat menjadi lebih tinggi.

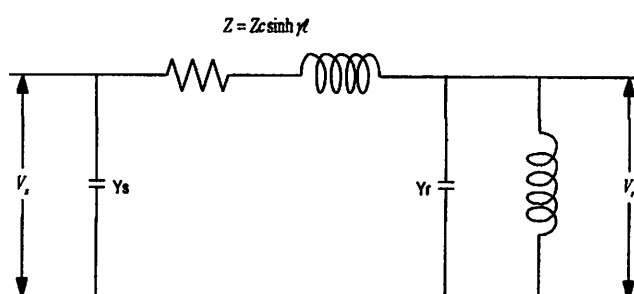
Derajat kompensasi dengan reaktor shunt adalah B_L / B_C dimana B_L adalah suseptansi induktif dari reaktor shunt, dan B_C adalah suseptansi kapasitif total dari saluran.

Kompensasi reaktor shunt adalah dengan memasang reaktor shunt pada salah satu ujung atau pada kedua ujung saluran.

Konstanta pengganti kutub empat dari peletakan reaktor shunt dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Kompensasi Reaktor Shunt Di Sisi Ujung Penerima

Gambar 10 menunjukkan rangkaian pengganti saluran transmisi dengan reaktor shunt yang dipasang di sisi ujung penerima saluran tersebut.



Gambar 2.10 Saluran Transmisi Dengan Kompensasi Di Sisi Ujung Penerima

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc. hal 132

$$\beta = \sqrt{ZY}$$

dimana β = Suseptansi reaktor shunt

Maka,

Θ = Panjang elektrik saluran

$$\frac{\Theta'}{\Theta} = \frac{\beta' \ell}{\beta \ell} = \frac{20}{27,9} = 0,71$$

$Z = \text{Impedansi}$

Jadi,

$Y = \text{Admitansi}$

$$\frac{Y'}{2} = \frac{\Theta'}{\Theta} \cdot Y$$

$$\frac{Y}{2} - \frac{j}{X_{sh}} = Y'$$

Jadi,

$$L_{shunt} = \frac{X_{sh}}{\omega}$$

Maka,

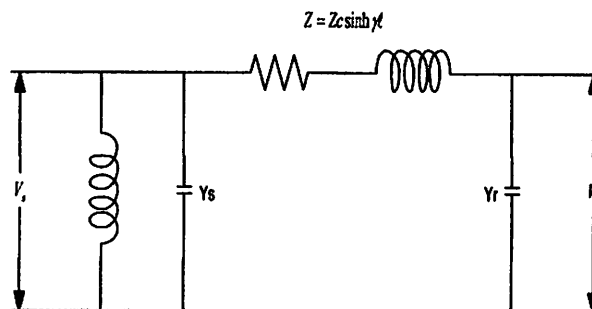
$$V_S = A \cdot V_R + \beta \cdot I_R$$

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc.

hal 133

2. Kompensasi Reaktor Shunt Di Sisi Ujung Pengirim

Gambar 2.11 Menunjukkan rangkaian pengganti saluran transmisi reaktor shunt yang dipasang di sisi ujung pengirim saluran tersebut.

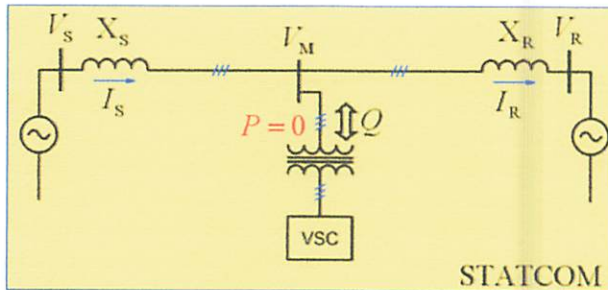


Gambar 2.11 Saluran Transmisi Dengan Kompensasi Di Sisi Ujung Pengirim

*)TRANSMISI DAYA LISTRIK, Prof. Ir. T.S. Hutauruk, M.sc.hal 132

2.7 STATCOM

Static Synchronous Compensator (STATCOM) merupakan shunt devices dari Flexible AC Transmission System (FACTS) yang terdiri dari perangkat power elektronik untuk mengatur aliran daya dan meningkatkan kestabilan transient sistem daya. STATCOM mengatur regulasi tegangan terminal dengan cara membangkitkan atau menyerap daya reaktif dari sistem. Jika tegangan sistem lebih rendah, STATCOM membangkitkan daya reaktif (kapasitif). Jika tegangan sistem lebih tinggi, STATCOM menyerap daya reaktif (induktif). Variasi daya reaktif diatur oleh Voltage Source Converter (VSC) yang dihubungkan pada sisi sekunder transformator.



Gambar 2.12 STATCOM Dihubungkan Paralel Pada Saluran Transmisi

2.8 PSCAD

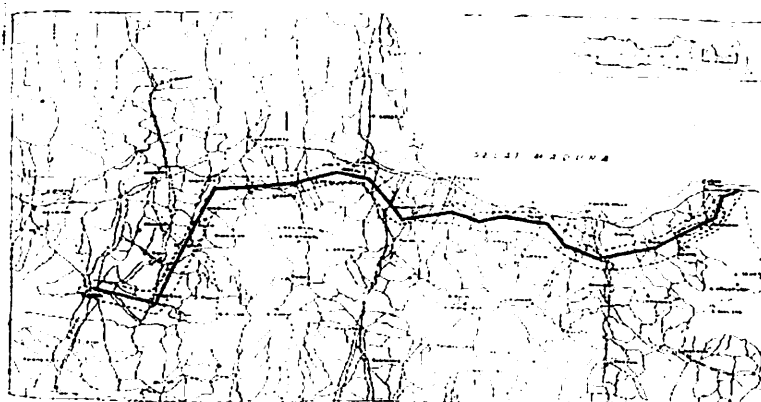
PSCAD (Power System Computer Aided Design) merupakan software yang mendukung simulasi, desain dan verifikasi semua tipe tenaga listrik. Software ini memberikan fasilitas untuk studi dan analisa dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi dan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik. Dibandingkan dengan software lain dengan tujuan yang sama, PSCAD memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah digunakan.

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini mulai dari studi literature, baik itu jurnal dan pustaka. Identifikasi masalah pada sistem transmisi mengenai penyebab yang dapat menimbulkan terjadinya *Ferranti Effect*. Pengumpulan data berupa data saluran transmisi 500 kV yang meliputi tegangan, daya dan arus sisi kirim (GITET Paiton) dan sisi terima (GITET Kediri), data konfigurasi tower. Melakukan pemodelan sistem transmisi antara GITET Paiton dan GITET Kediri dengan menggunakan program PSCAD (Power System Computer Aided Design). Analisis *Ferranti Effect* dilakukan dengan dua kondisi yaitu dengan memakai kompensasi STATCOM dan dengan memakai Reaktor. Hasil simulasi berupa tegangan yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi sebelum dan sesudah pemasangan kompensasi STATCOM dan kompensasi Reaktor.

Antara GITET Paiton dan GITET Kediri terdapat saluran transmisi 500 kV dengan panjang 209,5 km dan terdapat 458 tower transmisi (Gambar 3.1). Pada saluran transmisi ekstra tinggi tersebut rentan terjadi masalah, salah satunya adalah terjadi *Ferranti Effect* yaitu tegangan sisi terima yang lebih tinggi dari pada sisi kirim, untuk mengatasinya terdapat Reaktor yang telah terpasang di sisi terima GI Kediri.



Gambar 3.1 Jalur Saluran Transmisi 500 kV Antara GI Paiton dan GI Kediri

3.2 Pengolahan Data

Data saluran transmisi dari GI Paiton ke GI Kediri dengan analisis kenaikan tegangan pada sisi terima dapat diketahui penyebab dari *Ferranti Effect*. Penulis mengambil salah satu contoh dari data-data saluran transmisi di bulan Mei tahun 2012.

3.2.1 Data Sisi Kirim di GI Paiton

Sisi Kirim

Gardu Induk GITET Paiton

Bay Kediri 1 (500kV)

Tabel 3.1 Data Sisi Kirim Di GI Paiton

TGL	MW	MVAR	AMP	KV
1	710,0	86	760	513
2	724,0	50	760	510
3	521,0	40	560	517
4	624,0	50	710	520
5	737,0	90	848	516
6	744,0	100	810	517
7	737,0	90	770	520

3.2.2 Data Sisi Terima di GI Kediri

Sisi Terima

Gardu Induk GITET Kediri

Bay Paiton 1 (500kV)

Tabel 3.1 Data Sisi Terima Di GI Kediri

TGL	MW	MVAR	AMP	KV
1	705,0	80	750	509
2	714	40	750	506

3	511	30	550	507
4	614	40	700	500
5	727	80	838	0
6	734	90	800	498
7	727	80	760	502

3.2.3 Data Reaktor

Reaktor merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk menyerap daya reaktif yang disebabkan karena adanya kapasitif pada saluran transmisi sehingga dapat memperbaiki tegangan pada sisi terima yang lebih besar.



Gambar 3.2 Reaktor

N reactor = 500 kV, 33Mvar

X = 2500 ohm

L = 7 Henry

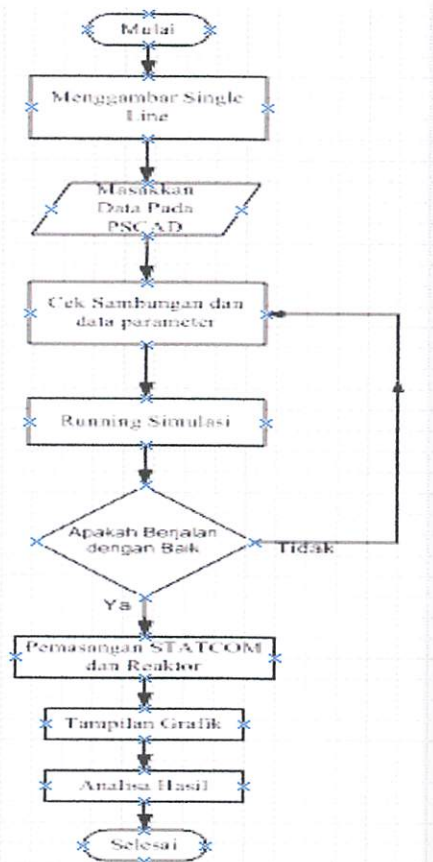
3.3 Software PSCAD/EMTDC V 4.2 Power Simulation

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

Pada saluran transmisi 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri disimulasikan menggunakan software PSCAD/EMTDC.

3.4 Flowchart Simulasi

Dibawah ini adalah gambar berupa *flowchart* yang menunjukkan bagaimana STATCOM ataupun Reaktor ini dapat bekerja dalam mengatasi *Ferranti Effect* yang disebabkan oleh kapasitansi pada saluran transmisi 500kV.



Gambar 3.3 *Flowchart Ferranti Effect*

Algoritma simulasi *software PSCAD*

1. Mulai
2. Pengumpulan data yang diperlukan untuk pemodelan *single – line*.
3. Pemodelan *single – line* diagram.
4. Inputkan data sistem saluran transmisi.
5. Menjalankan Program.
6. Hasil setelah menjalankan program.
7. Cetak hasil pemograman.
8. Analisa *Ferranti Effect* dengan kompensasi statcom dan dengan kompensasi reaktor.
9. Pengambilan kesimpulan dari analisa tersebut.
10. Selesai.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

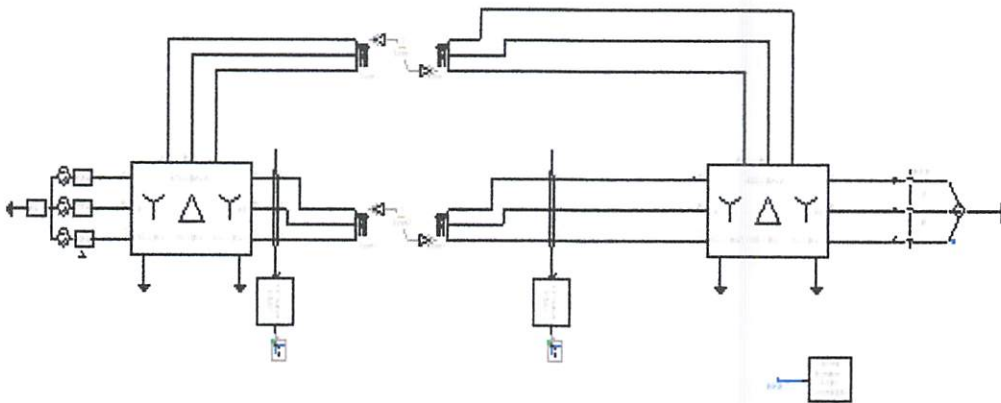
4.1 Simulasi dan Hasil

Pada simulasi akan dilakukan pengambilan data dengan perbandingan saat menggunakan Reaktor dan saat menggunakan STATCOM. Setelah itu hasil keluaran tegangan akan dianalisa dan dapat dilihat seberapa baik STATCOM mereduksi *Ferranti Effect* dibandingkan dengan Reaktor.

4.2 Simulasi *Ferranti Effect* Pada Saluran Transmisi 500 kV Menggunakan Software PSCAD/EMTDC

4.2.1 Simulasi *Ferranti Effect* Sebelum Pemasangan Kompensasi

Generator	: 875 MVA, 150 kV, 50 Hz
Trafo1	: 875 MVA, 150/66/500 kV
Trafo2	: 500 MVA, 500/66/150 kV
Transmisi	: 50 Hz, 209,5 km
Beban	: 734 MW

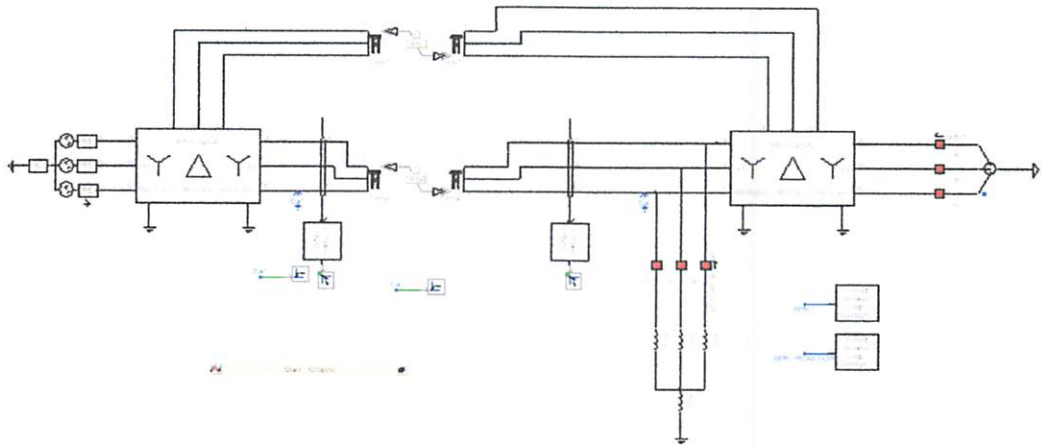


Gambar 4.1 Simulasi *Ferranti Effect* Sebelum Pemasangan Kompensasi

4.2.2 Simulasi *Ferranti Effect* Setelah Pemasangan Reaktor

Generator	: 875 MVA, 150 kV, 50 Hz
Trafo1	: 875 MVA, 150/66/500 kV
Trafo2	: 500 MVA, 500/66/150 kV
Transmisi	: 50 Hz, 209,5 km

Beban : 734 MW



Gambar 4.2 Simulasi *Ferranti Effect* Setelah Pemasangan Reaktor

4.2.3 Simulasi *Ferranti Effect* Setelah Pemasangan STATCOM

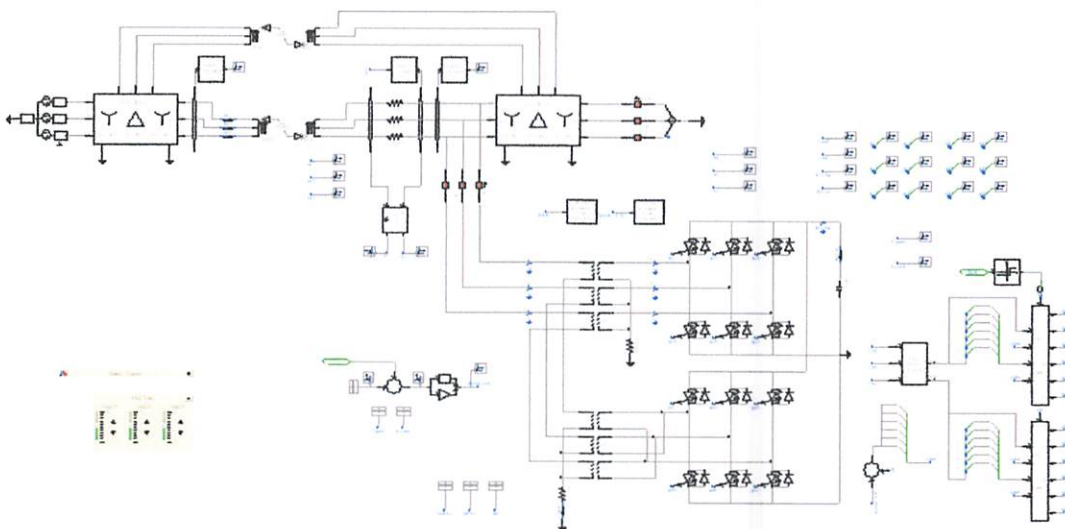
Generator : 875 MVA, 150 kV, 50 Hz

Trafo1 : 875 MVA, 150/66/500 kV

Trafo2 : 500 MVA, 500/66/150 kV

Transmisi : 50 Hz, 209,5 km

Beban : 734 MW

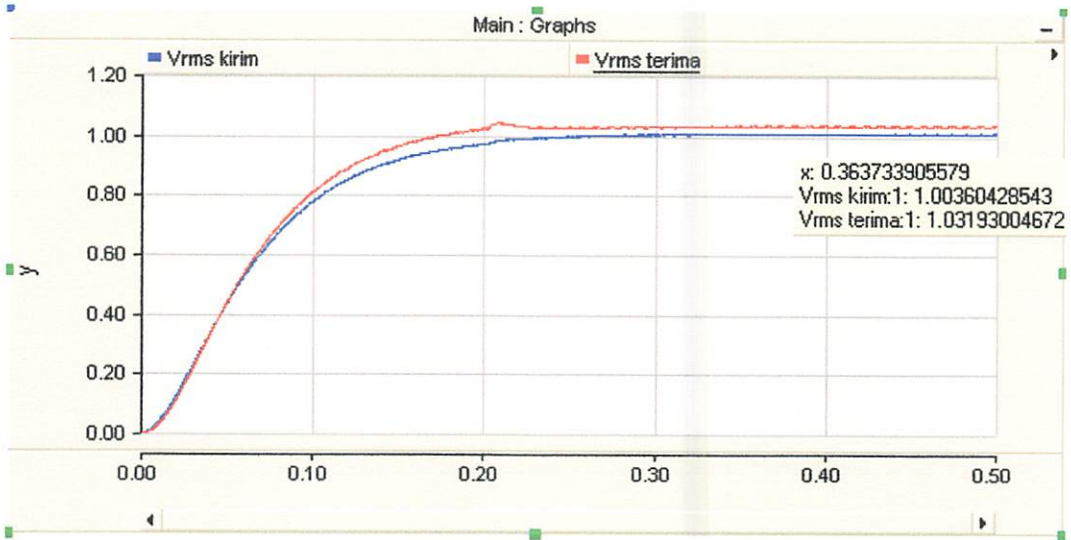


Gambar 4.3 Simulasi *Ferranti Effect* Setelah Pemasangan STATCOM

4.3 Hasil Simulasi *Ferranti Effect*

4.3.1 Sebelum Pemasangan Kompensasi

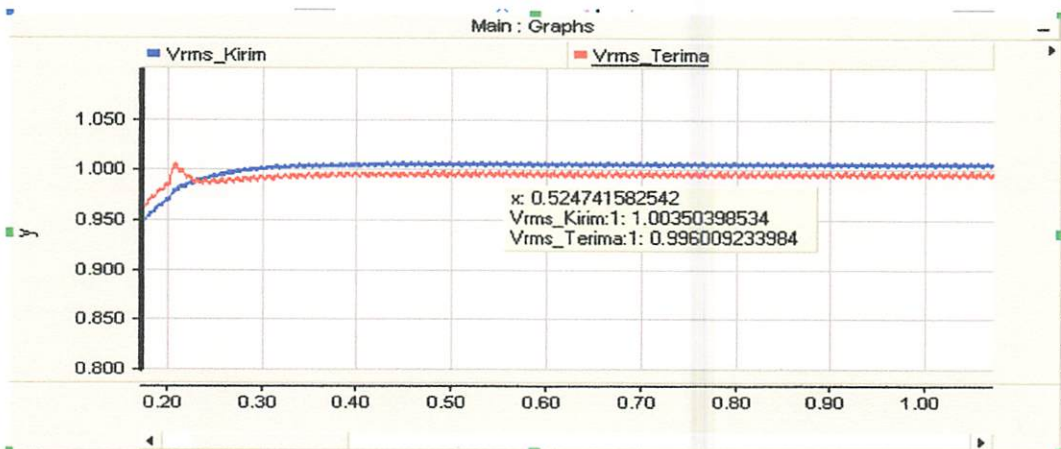
Sebelum adanya kompensasi pada gambar 4.4 terlihat jelas bahwa V_{rms} sisi terima lebih besar dari pada sisi kirim yaitu V_{rms} kirim: 1,003 pu dan V_{rms} terima: 1,031 pu



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan Kompensasi

4.3.2 Setelah Pemasangan Reaktor

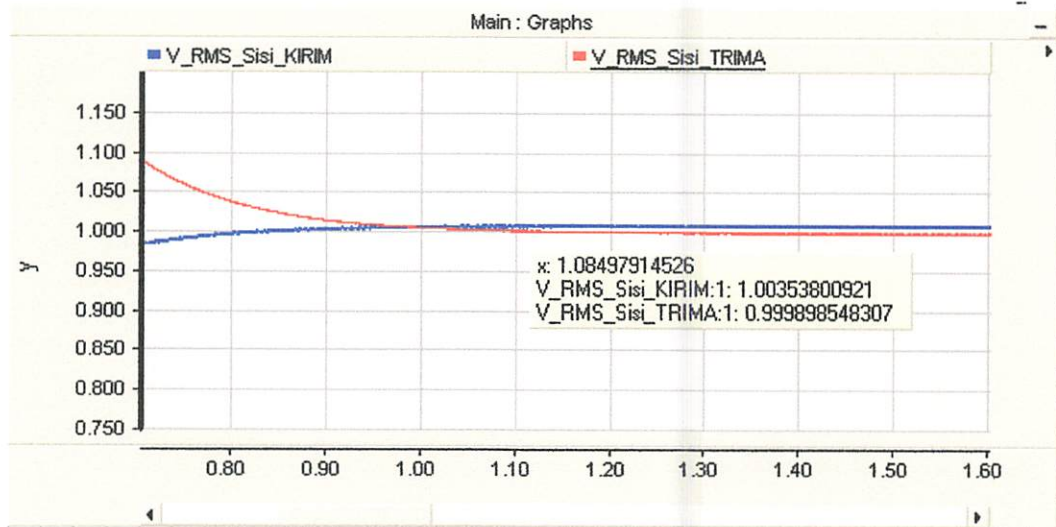
Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan Reaktor pada sisi kirim dengan hasil 1,003 pu dan sisi terima 0,996 pu



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Setelah Pemasangan Reaktor

4.3.3 Setelah Pemasangan STATCOM

Grafik dibawah ini menunjukkan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan statcom pada sisi kirim dengan hasil 1,003 pu dan sisi terima 0,999 pu



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Setelah Pemasangan STATCOM

4.4 Hasil Analisa Sebelum Kompensasi Setelah Pemasangan Reaktor dan STATCOM

Sisi kirim di GI Paiton:

Sebelum kompensasi : $1,003 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 501,5 \text{ kV}$

Reaktor : $1,003 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 501,5 \text{ kV}$

STATCOM : $1,003 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 501,5 \text{ kV}$

Sisi terima di GI Kediri:

Sebelum kompensasi : $1,031 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 515,5 \text{ kV}$

Reaktor : $0,996 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 498 \text{ kV}$

STATCOM : $0,999 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 499,5 \text{ kV}$

Kemampuan Reaktor mereduksi *Ferranti Effect* :

$1,003 - 0,996 = 0,007 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 3,5 \text{ kV}$

Kemampuan STATCOM mereduksi *Ferranti Effect* :

$1,003 - 0,999 = 0,004 \text{ pu} \times 500 \text{ kV} = 2 \text{ kV}$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengaruh pemasangan Reaktor dan STATCOM pada sisi terima di GI Kediri yang disimulasikan dengan menggunakan *Software* PSCAD/EMTDC, maka dapat diambil kesimpulan:

- STATCOM dapat mereduksi lebih baik dari pada Reaktor karena dapat mendekati tegangan pada sisi kirim yaitu dengan selisih 0,004 pu atau sebesar 2 kV, sedangkan Reaktor 0,007 pu atau sebesar 3,5 kV.
- STATCOM mampu mereduksi tegangan hingga 0.003 pu (1,5 kV), dari 0.996 pu (498 kV) pada Reaktor menjadi 0.999 pu (499,5 kV) pada STATCOM.
- Sebelum pemasangan kompensasi, tegangan pada sisi terimanya adalah 515,5 kV, setelah pemasangan Reaktor, *Ferranti Effect* dapat direduksi menjadi 498 kV dan setelah pemasangan STATCOM, *Ferranti Effect* dapat direduksi hingga menjadi 499,5 kV.

5.2 Saran

Mengingat sangat pentingnya kebutuhan listrik pada masa kini, GI Paiton dan GI Kediri sebagai salah satu unit penyalur kebutuhan listrik harus lebih meningkatkan mutu pelayanan yang berwujud dengan kelancaran operasi. Karena GI Paiton dan GI Kediri merupakan titik vital dalam penyaluran energi listrik yang sudah beroperasi cukup lama maka sangatlah penting untuk menjaga kontinuitas dan kualitas tegangan agar lebih stabil dan lebih baik lagi.



DAFTAR PUSTAKA

1. Stevenson, Jr, William D, 1983, ANALISA SISTEM TENAGA, Erlangga, Bandung
2. Hutahuruk, T.S, Ir, M.Sc, Prof, 1993, Transmisi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta
3. Artono, Arismunandar. Dr. dan Kuwahara. S.Dr, 1985, TEKNIK TENAGA LISTRIK Jilid II, Erlangga
4. PLN, Udiklat, Bogor (soft copy).
5. <http://ml.scribd.com/doc/16552056/Kompilasi> Perencanaan Sistem Tenaga Listrik.
6. Krismanto, Awan Uji, ST, MT. dan Nakhoda, Yusuf Ismail, Ir, MT, PSCAD/EMTDC Power System Computer Aided Design/Elektromagnetic Transient Including DC.
7. Sembiring, David, SISTEM KONTROL PADA VOLTAGE SOURCE CONVERTER STATCOM (STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR) 48 PULSA UNTUK REGULASI TEGANGAN DAN KOMPENSASI DAYA REAKTIF.

LAMPIRAN



FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

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

Nama : **Groniko Yunanta Wahono**
Nim : **10.12.907**
Jurusan : **Teknik Elektro**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik S-1**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2011-2012**
Judul Skripsi : **ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT DENGAN KOMPENSASI STATCOM PADA SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI) KEDIRI MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD POWER SIMULATION**

No	Penguji	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Penguji I	07 Agustus 2012	Perbaikan laporan Bab IV: • Pada kesimpulan tambahkan penempatan STATCOM dimana. • Cantumkan tegangan sebelum ada penambahan Reaktor dan STATCOM, dengan Reaktor dan dengan STATCOM.	
2	Penguji II	07 Agustus 2012		

Disetujui:

Penguji I

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

Penguji II

Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y 1018800190

Mengetahui:

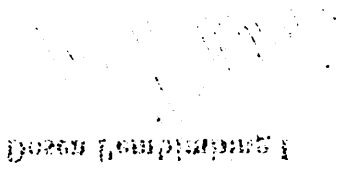
Dosen Pembimbing I

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP.Y.1038900209

Dosen Pembimbing II

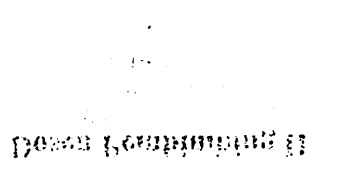
Ir. Ni Putu Agustini, MT
NIP.Y.1030100371

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ



Երևան Կենտրոնի № 1

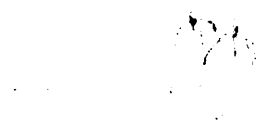
ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ



Երևան Կենտրոնի № 2

Կրթություն:

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ



Կենտրոնի № 1

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ



Կենտրոնի № 2

Կրթություն:

Ը	Կենտրոնի №	ՕՎ Վերադառնալու օր		
1	Կենտրոնի № 1	ՕՎ Վերադառնալու օր	<p>Պատճառը ՀԻՄԱԿՕՄԻ ՀԻՄԱԿՕՄԻ գոնիան կարգի առ կատարված կարգի առ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Տարածքի տեղանքի ցուցանիս ցածր բնակավայրում ՀԻՄԱԿՕՄԻ գոնիան • Այլ կատարված արձարված բարձրագույն ցուցանիսը 100% 	
Ը	Կենտրոնի №	Կենտրոնի	Կենտրոնի	Կենտրոնի

ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ
ՄԵԼՈՍՈՒԿԱԿԱՆ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ
ՄԱՆՈՒԿԱԿԱՆ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ (ՍՈՒ ԿԵՆՏՐՈՆ)
ԼԵՎՈՆՏԱՆԻ ԶՈՒԿԱ ՎԱՄՆԱԿՆԻ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ (ՍՈՒ
ԿԵՆՏՐՈՆ) ԶԻՄԱԿՕՄԻ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ
ՎԱՄՆԱԿԱՆ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ ԿԵՆՏՐՈՆ
Կենտրոնի Երևանի Կենտրոնի № 1-2
Կենտրոնի Երևանի Կենտրոնի № 1
Կենտրոնի Երևանի
Կենտրոնի Երևանի
Կենտրոնի Երևանի

Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :
Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :

ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :
Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :
Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :
Կենտրոնի Կրթությունը ստանալու համար անհրաժեշտ է անցնել անհրաժեշտ քննություններ :





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**

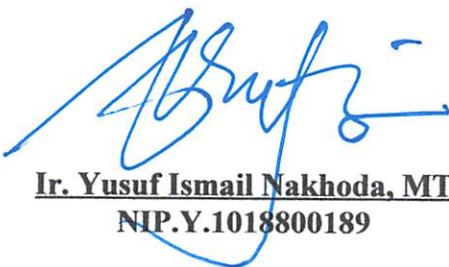
Nama : **Groniko Yunanto Wahono**
Nim : **10.12.907**
Jurusan : **Teknik Elektro**
Konsentrasi : **Teknik Energi Listrik S-1**
Masa Bimbingan : **Semester Genap 2011-2012**
Judul : **ANALISA PERBAIKAN FERRANTI EFFECT
DENGAN KOMPENSASI STATCOM PADA
SALURAN TRANSMISI 500KV ANTARA GARDU
INDUK (GI) PAITON DAN GARDU INDUK (GI)
KEDIRI MENGGUNAKAN SOFTWARE PSCAD
POWER SIMULATION**

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

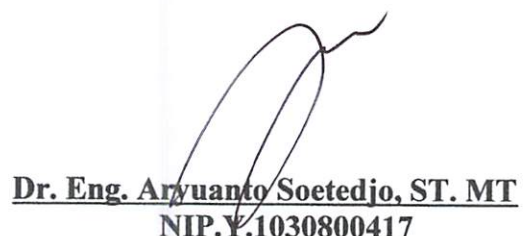
Pada Hari : Selasa
Tanggal : 07 Agustus 2012
Dengan Nilai : 74,95 (B+) *Dr*

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Ketua Majelis Penguji


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

Sekretaris Majelis Penguji


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

ANGGOTA PENGUJI

Dosen Penguji I

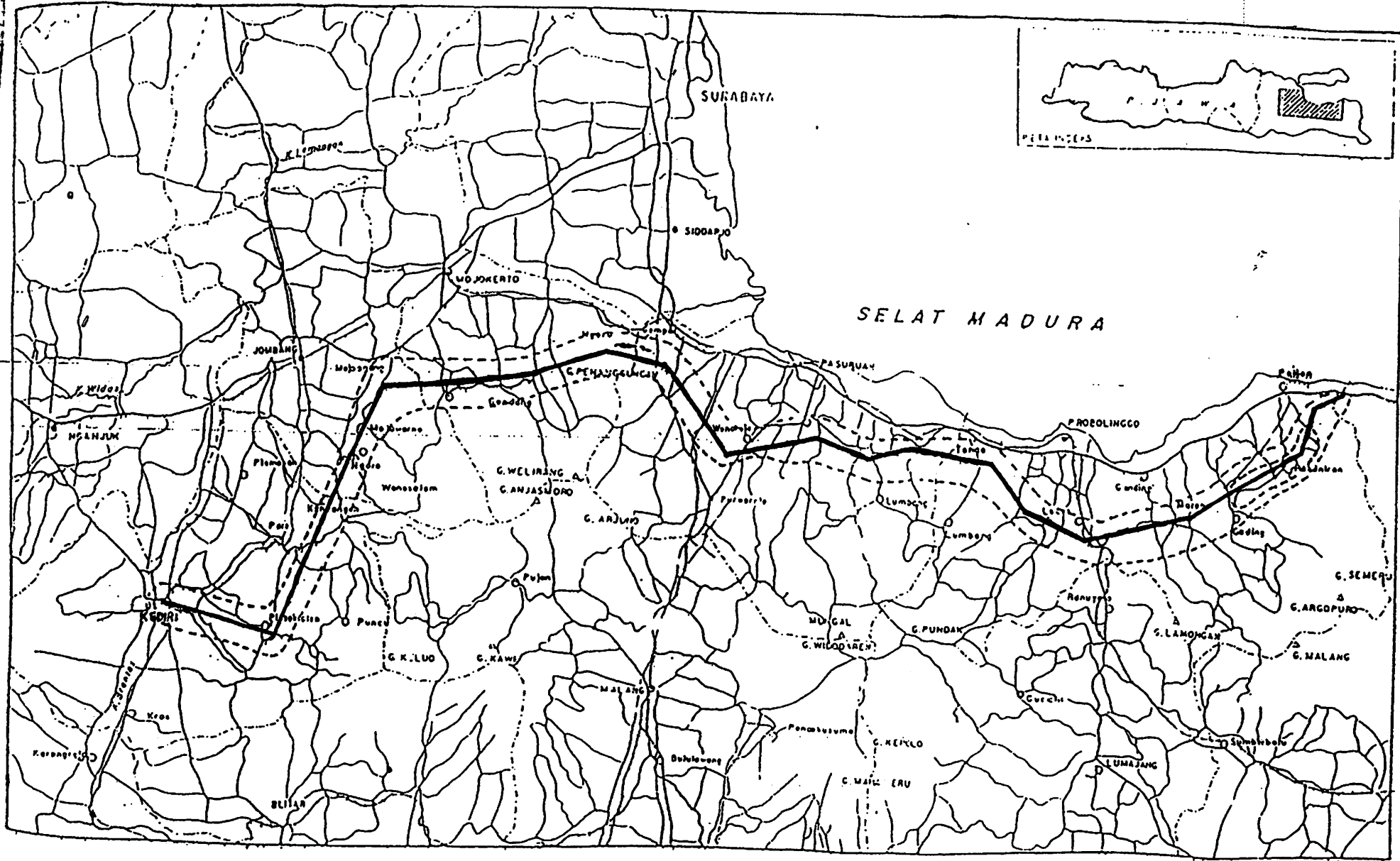


Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP.P.1018800188

Dosen Penguji II



Ir. Choirul Saleh, MT
NIP.Y 1018800190



SURABAYA



PETA INDEKS

SELAT MADURA

SIDARJO

MOJOKERTO

JOMBANG

WIDIA

MENJUN

Plomoh

Pati

KEDIRI

Ploso

Puncu

BLITZ

G. WELIRANG A.

G. ANJASURO

G. ARJUNO

G. K. LUO

G. KAWI

MALANG

Buluwang

MUGAL

G. WILDIRAH

G. KEMLO

C. MALANG ERU

PASURUAN

G. PEMANGGILAN

L. Tampo

Lumbok

Lumbok

PROBOLINGGO

Candig

Doro

Cadlag

Renutyo

C. Gerch

LUMAJANG

G. Sumbobolo

Paiton

C. ...

Pulankra

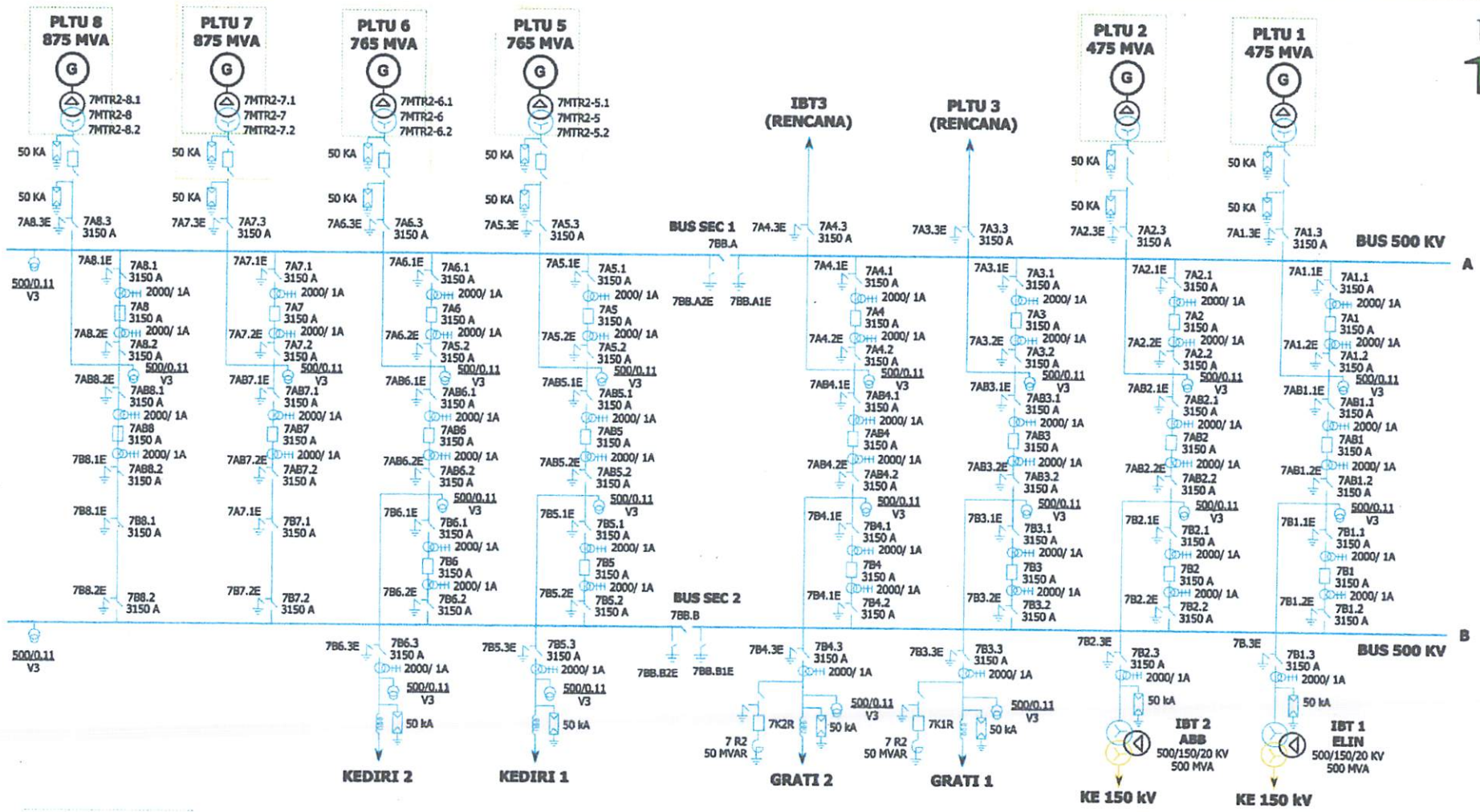
Cadlag

G. SEMERU

G. ARGOPURO

G. MALANG

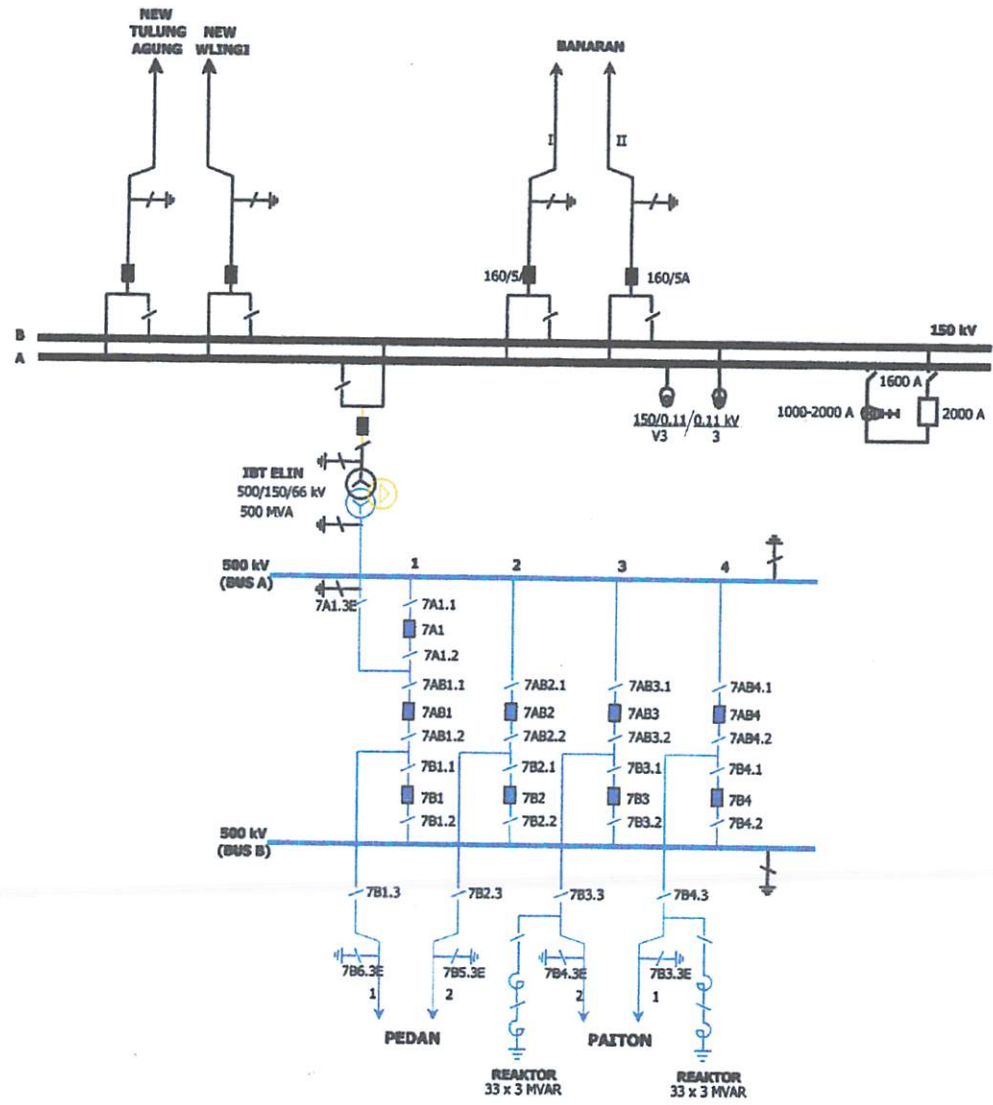
G. LAMONGAN



Existing

Tambahan/Usulan

PT PLN (PERSERO) P3B JAWA BALI REGION JAWA TIMUR DAN BALI			
GITET/PLTU. PAITON 500 KV			
DIGAMBAR	DIPERIKSA	DIBETUJUI	REVISI
 SUPRIYADI	 HARDI PURNOMO	 CHOIRUL ANAM	APRIL 2007



UPT KEDIRI
GITET. KEDIRI 500/150 kV
 Desa Ngampel-Kec.Mejayan-Kab. Madiun

T/L BAY 500 KV KEDIRI-PAITON-1 Mei-12

T/L BAY 500 KV PAITON-KEDIRI 1

TGL	MW	MVAR	AMP	KV
1	705,0	80	750	509
2	714	40	750	506
3	511	30	550	507
4	614	40	700	500
5	727	80	838	0
6	734	90	800	498
7	727	80	760	502
8	742	100	850	497
9	750	70	840	498
10	639	30	710	504
11	708	80	820	504
12	709	120	850	489
13	624	80	600	498
14	595	50	670	500
15	632	80	730	505
16	632	40	620	504
17	583	40	640	503
18	586	50	670	503
19	777	80	900	482
20	727	80	850	485
21	514	40	650	487
22	664	32	780	494
23	662	30	760	494
24	623	30	700	495
25	637	40	700	494
26	642	50	700	497
27	676	60	740	494
28	709	80	830	494
29	732	40	810	490
30	740	80	800	493

TGL	MW	MVAR	AMP	KV
1	710,0	86	760	513
2	724,0	50	760	510
3	521,0	40	560	517
4	624,0	50	710	520
5	737,0	90	848	516
6	744,0	100	810	517
7	737,0	90	770	520
8	752,0	110	860	520
9	760,0	80	850	516
10	649,0	40	720	503
11	718,0	90	830	506
12	719,0	130	860	513
13	634,0	90	610	519
14	605,0	60	680	520
15	642,0	90	740	521
16	642,0	50	630	509
17	593,0	50	650	500
18	596,0	60	680	500
19	787,0	90	910	508
20	737,0	90	860	511
21	524,0	50	660	510
22	674,0	42	790	505
23	672,0	40	770	505
24	633,0	40	710	512
25	647,0	50	710	521
26	652,0	60	710	520
27	686,0	70	750	516
28	719,0	90	840	514
29	742,0	50	820	517
30	750,0	90	810	516

*) Catatan line1 data sama line 2