

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC)
UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN
RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV**



Disusun Oleh :

DONNY WAHYUDI

13.12.029

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

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

**IMPLEMENTASI UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC)
UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN
RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV**

SKRIPSI

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

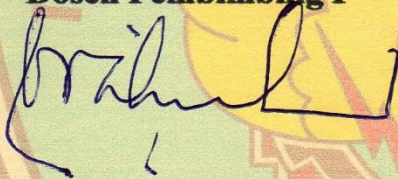
Disusun oleh :

DONNY WAHYUDI

NIM : 13.12.029

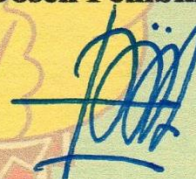
Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II



Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT
NIP. P. 1031400472

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 197706152005012002

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC) UNTUK MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM DAN MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV

Donny Wahyudi, NIM : 13.12.029

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

Dosen Pembimbing II : Lauhil Mahfudz Hayusman, ST., MT

Dalam kinerja sistem transmisi pasti akan mengalami rugi-rugi sistem dan kehilangan kestabilan tegangan yang menyebabkan ketidakmampuan dalam mempertahankan tegangan yang diterima sehingga Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVar) yang dihubungkan ke sistem mengalami penurunan, sehingga diperlukan suatu alternatif kinerja peralatan yang memiliki kualitas, efektivitas, dan efisiensi tinggi untuk memaksimalkan kinerja sistem yang baik, berkualitas dan ekonomis dengan menggunakan peralatan dari *Flexible Alternating Current Transmission system (FACTS) Devices* dalam merancang, mengendalikan dan mengoperasikan sistem dengan komponen *Solid State* untuk pengaturan dan pengendalian sistem transmisi secara Akurat (*Precisely*) dan Fleksibel (*Flexible*). Peralatan *Elektronik Solid State* dari *Flexibel Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices* yaitu *Unified Power Flow Controller (UPFC)*. Didalam UPFC terdapat gabungan dari *Static Synchronous Compensator (STATCOM)* dan *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)* yang dapat mengontrol tegangan dan aliran daya pada sistem secara optimal dengan pengontrol *Propotional-Integral (PI) Controller* dengan hasil pengujian yang mana hasil Profil Tegangan mengalami perubahan yang signifikan terjadi pada Bojonegoro yaitu 0,8315 p.u, 0,035 MW, dan 0,006 MVar menjadi 0,9253 p.u, 0,013 MW, 0,021 MVar, dan pada Paciran 0,8523 p.u, 0,017 MW, dan 0,028 Mvar menjadi 0, 9376 p.u, 0,049 MW, dan 0,007 MVar menggunakan Software PSCAD/EMTDC v4.5 Power Simulation.

Kata kunci : Rugi-Rugi Sistem, Kestabilan Tegangan, UPFC

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC)* TO MINIMIZE SYSTEM RESPONSES AND INCREASE VOLTAGE STABILITY IN NGIMBANG SUBSISTEM 150 KV

Donny Wahyudi, NIM : 13.12.029

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

Dosen Pembimbing II : Lauhil Mahfudz Hayusman, ST., MT

In the transmission system performance will definitely experience system losses and voltage stability loss that causes the inability to maintain the received voltage so that the Active Power (MW) and Reactive Power (MVar) connected to the system decreased, so that required an alternative performance equipment that has quality, effectiveness and high efficiency to maximize the performance of good, quality and economical systems by using equipment from the Flexible Alternating Current Transmission system (FACTS) Devices in designing, controlling and operating systems with Solid State components for setting up and controlling transmission systems Precisely (Accurate) and Flexible (Flexible). Solid State electronic equipment from Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices is Unified Power Flow Controller (UPFC). In UPFC there is a combination of Static Synchronous Compensator (STATCOM) and Static Synchronous Series Compensator (SSSC) to control the voltage and power flow in the system optimally with the controller of the proportional-integral (PI) controller with the results of the testing results Profile Voltage significant in Bojonegoro that 0.8315 pu, 0,035 MW and 0,006 MVAR be 0.9253 pu, 0,013 MW, 0,021 MVAR, and on Paciran 0.8523 pu, 0,017 MW and 0,028 MVAR to 0, 9376 pu, 0,049 MW and 0,007 MVAR use PSCAD / EMTDC Software v4.5 Power Simulation.

Keywords: Loss-Loss System, Voltage Stability, UPFC

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat-Nya, sehingga penyusunan laporan skripsi ini dapat diselesaikan. Adapun maksud dan tujuan penulis dari laporan ini yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro S-1 Kosentrasi Teknik Listrik ITN Malang.

Penulis menyadari tanpa adanya usaha dan bantuan dari berbagai pihak, maka laporan skripsi ini tidak dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Yudi Limpraptono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Lauhil Mahfudz Hayusman, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak Robert Rumapea selaku Manager Keuangan, SDM dan Administrasi di PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.
7. Bapak Wisnu, Ibu Rachel dan Ibu Hanum selaku Pembimbing Pengambilan Data di PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.
8. Orang tua dan teman-teman yang sudah membantu penulis baik itu dalam bentuk materi dan dukungan doa yang selalu menyertai penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada laporan skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat.

Malang, Mei 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Rugi-Rugi Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Rugi-Rugi Saluran.....	6
2.1.2 Rugi-Rugi Daya.....	7
2.1.3 <i>Voltage Drop</i>	8
2.2 Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik.....	9
2.3 Sistem Transmisi Tenaga Listrik.....	10
2.4 Aliran Daya (<i>Load Flow</i>).....	12
2.5 <i>Flexibel Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices</i>	13
2.5.1 <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	14
2.5.2 Kontruksi <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	16
2.5.3 Prinsip Kerja <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	17
2.5.4 Mode Operasi <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	18
2.6 <i>Software Power System Computer Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current (PSCAD/EMTDC)</i>	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Alur Penelitian.....	20
3.2 PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.....	23
3.2.1 Data Penelitian.....	25
3.2.1.1 Data Beban.....	25

3.2.1.2 Data Pembangkit	26
3.2.1.3 Data Saluran	27
3.2.1.4 Data Transformator	27
3.3 Permodelan <i>Single Line Diagram</i> dan Input Data Sistem pada Subsistem Ngimbang 150 kV dengan menggunakan <i>Software</i> PSCAD/EMTDC V4.5 <i>Power Simulation</i>	29
3.3.1 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV	29
3.3.2 Input Data Pembangkit	30
3.3.3 Input Data Transformator	31
3.3.4 Input Data Beban	32
3.3.5 Input Data Saluran	33
3.4 Desain <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	34
BAB IV ANALISIS HASIL	36
4.1 Pengujian Data Standar Sistem IEEE 4 BUS	36
4.1.1 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan <i>Unified Power Flow Controller</i> <i>(UPFC)</i>	38
4.1.2 Hasil Simulasi Sesudah Pemasangan <i>Unified Power Flow Controller</i> <i>(UPFC)</i>	40
4.2 Pengujian Data Sistem Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV	42
4.2.1 Hasil simulasi sebelum mengimplementasikan <i>Unified Power Flow</i> <i>Controller (UPFC)</i>	42
4.3 Penentuan Bus Kandidat <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	44
4.3.1 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV dengan Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	45
4.3.2 Hasil Simulasi Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow</i> <i>Controller (UPFC)</i>	46
4.4 Hasil Perbandingan Simulasi Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	47
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Block Diagram pada <i>FACTS Controller</i>	13
Gambar 2.2 <i>Control Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	14
Gambar 2.3 Gabungan dari peralatan <i>Static Synchronous Compensator (STATCOM)</i> dan peralatan <i>Static Synchronous Series Compensator (SSSC)</i>	15
Gambar 2.4 Skema <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	16
Gambar 2.5 Skema <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i> terhubung ke saluran pada Sistem Tenaga Listrik.....	17
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Simbol PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.....	23
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Jaringan Jawa Timur	24
Gambar 3.4 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV.....	24
Gambar 3.5 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV pada <i>PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation</i>	29
Gambar 3.6 Tampilan Pembangkit atau Generator pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	30
Gambar 3.7 Tampilan Input Data Sumber.....	30
Gambar 3.8 Tampilan <i>Transformator</i> 3 Fasa pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	31
Gambar 3.9 Tampilan Input Data <i>Transformator</i> 3 Fasa	31
Gambar 3.10 Tampilan Beban pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	32
Gambar 3.11 Tampilan Input Data Beban	32
Gambar 3.12 Tampilan Saluran pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	33
Gambar 3.13 Tampilan Input Saluran.....	33
Gambar 3.14 Struktur <i>Control Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	34
Gambar 3.15 Struktur <i>Propotional-Integral (Controller PI)</i>	34
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram IEEE 4 BUS</i> pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	37
Gambar 4.2 Implementasi <i>Control Unified Power Flow Controller (UPFC)</i> Sistem <i>Single Line Diagram IEEE 4 BUS</i> pada <i>PSCAD/EMTDC</i>	37
Gambar 4.3 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	38
Gambar 4.4 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	38
Gambar 4.5 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	39
Gambar 4.6 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	39
Gambar 4.7 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	40
Gambar 4.8 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	40

Gambar 4.9 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	41
Gambar 4.10 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan	41
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Pada <i>Parameter Control Panel</i>	43
Gambar 4.12 <i>Single Line Diagram</i> Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV dengan Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller</i> (UPFC)	45
Gambar 4.13 Hasil Simulasi Pada <i>Parameter Control Panel</i>	46
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller</i> (UPFC).....	48
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Sistem Losses (MW) Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller</i> (UPFC)...	50
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Sistem Losses (MVar) Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller</i> (UPFC)...	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Beban Subsistem Ngimbang 150 kV	25
Tabel 3.2 Data Pembangkit PLTU Subsistem Ngimbang 150 kV	27
Tabel 3.3 Data Saluran Subsistem Ngimbang 150 kV	27
Tabel 3.4 Data Transformator Subsistem Ngimbang 150 kV	27
Tabel 4.1 Perbandingan Kondisi Sistem <i>IEEE 4 BUS</i> Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	42
Tabel 4.2 Profil Tegangan Sebelum Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	43
Tabel 4.3 Rugi-Rugi Sistem Sebelum Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	44
Tabel 4.4 Profil Tegangan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	46
Tabel 4.5 Rugi-Rugi Sistem Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	47
Tabel 4.6 Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	47
Tabel 4.7 Rugi-Rugi Sistem Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan <i>Unified Power Flow Controller (UPFC)</i>	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi dalam tingkat pemakaian listrik semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan pembangunan industri yang tidak terkendali sehingga kebutuhan serta ketersediaan energi listrik sangat dibutuhkan untuk mengimbangi kebutuhan masyarakat dari penggunaan listrik yang akan rentan terjadinya rugi-rugi sistem dan kehilangan kestabilan tegangan yang menyebabkan penurunan (*Kolaps*) dan mengalami kerugian baik Finansial (*Keuangan*) maupun Material (*Peralatan*).

Rugi-rugi sistem sendiri terbagi beberapa macam yang terdiri dari rugi-rugi saluran dan rugi-rugi daya. Dimana rugi-rugi sistem sendiri merupakan Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVar) yang memiliki makna daya sesungguhnya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya dan daya yang ditimbulkan beban. Untuk kestabilan tegangan sendiri merupakan kemampuan suatu sistem untuk selalu siap mempertahankan tegangan diterima saat beroperasi dalam kondisi normal maupun kondisi saat mengalami gangguan, penyebab utama terjadinya ketidakstabilan tegangan adalah ketika Daya Aktif (MW) dan Daya Reaktif (MVar) yang mengalir, dihubungkan dengan jaringan transmisi mengalami jatuh tegangan (*Voltage Drop*).

Dalam rangka untuk mengoperasikan sistem tenaga listrik yang baik, berkualitas, dan ekonomis, maka diperlukanlah suatu alternatif kinerja peralatan yang memiliki kualitas, efektivitas, dan efisiensi tinggi dalam memaksimalkan kinerja sistem saat beroperasi dengan menggunakan peralatan dari *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices*, untuk pertama kalinya diperkenalkan oleh *Electric Power Research Institute (EPRI)* pada tahun 1980 yang memperkenalkan kumpulan peralatan terbaru dalam merancang, mengendalikan dan mengoperasikan sistem dengan komponen *Solid State* untuk pengaturan dan pengendalian sistem transmisi secara *Precisely* (Akurat) dan *Flexible* (Fleksibel)^[13].

Dari salah satu jenis peralatan dari *FACTS Devices* yang paling serbaguna ialah *Unified Power Flow Controller (UPFC)* yang merupakan dua penggabungan dari peralatan-peralatan sebelumnya yaitu *Static Synchronous Compensator (STATCOM)* dan *Static Synchronous Series Compensator (SSSC)* yang memiliki kemampuan *Continue* untuk mengoptimalkan sistem saat beroperasi secara efektif dan efisien dengan tingkat keamanan dan waktu reaksinya lebih tinggi dibandingkan peralatan kendali

mekanik yang lainnya^[10]. Dengan pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) diharapkan dapat mengontrol tegangan dan aliran daya secara optimal, sehingga sistem jaringan transmisi akan menjadi lebih baik, serta menjadi lebih murah dan mudah dalam pemeliharaan dan pengoperasiannya.

Pada skripsi ini disimulasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada sistem tenaga listrik Subsistem Ngimbang 150 kV. Simulasi yang dilakukan menggunakan program *Power System Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current (PSCAD/EMTDC) V4.5 Power Simulation* dengan *Subprogram* analisis simulasi yaitu sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) untuk meningkatkan kestabilan tegangan dan meminimalkan rugi-rugi sistem.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, penulis telah mendapatkan permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini antara lain:

1. Bagaimana menentukan lokasi dan penempatan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV.
2. Bagaimana saat penempatan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) bekerja dengan mensimulasikannya untuk menginvestigasi reaksi dari Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV.

Sehubungan dengan rumusan masalah diatas maka skripsi ini diberi judul :

**“IMPLEMENTASI *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC)
UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN
RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV”**

1.3 Tujuan Penulisan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan diatas, maka tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Menentukan lokasi dan penempatan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada saluran transmisi untuk meningkatkan kestabilan tegangan dan meminimalkan rugi-rugi sistem dalam pengoperasian sistem secara optimal.
2. Melakukan evaluasi sebelum dan sesudah *Unified Power Flow Controller* (UPFC) diimplementasikan sehingga mengetahui dampak baik buruknya dalam Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terjadi penyimpangan antara maksud dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini, maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Simulasi menggunakan *Power System Computer Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current (PSCAD/EMTDC) V4.5 Power Simulation*.
2. Sistem dalam keadaan normal sebelum dan sesudah *Unified Power Flow Controller (UPFC)* diimplementasikan pada Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV.
3. Peralatan *Control* simulasi menggunakan *Unified Power Flow Controller (UPFC)*.
4. Komponen yang digunakan dalam simulasi (UPFC) yaitu GTO (*Gate Turn On/Off*) dan *Diode*.
5. Penentuan Penempatan (UPFC) berdasarkan hasil simulasi program yang telah dilakukan.
6. Tempat penelitian dan pengambilan data di PT PLN (Persero) Jawa bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV.
7. Tidak membahas aspek ekonomis.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan penulisan skripsi.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini Mengemukakan kajian pustaka dan teori-teori yang mendukung Rugi-Rugi Sistem Tenaga Listrik, Rugi-Rugi Saluran, Rugi-Rugi Daya, *Voltage Drop*, Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik, Sistem Transmisi Tenaga Listrik, Aliran Daya (*Load Flow*), Faktor Daya, *Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices*, *Unified Power Flow Controller (UPFC)*, Kontruksi (UPFC), Prinsip Kerja (UPFC), Mode Operasi (UPFC), Dampak (UPFC) pada *Power System*, *Power System Computer Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current (PSCAD/EMTDC)*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang alur penelitian dan pengambilan data serta perancangan tentang pemodelan yang berisi tentang penempatan dan penentuan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV.

BAB IV : ANALISIS HASIL

Pada bab ini berisi tentang kondisi Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) untuk meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan dengan menggunakan *Software* (PSCAD/EMTDC) *V4.5 Power Simulation*.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari kinerja *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan pada Subsistem Ngimbang 150 kV serta saran-saran guna menyempurnakan dan mengembangkan sistem lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA : Sumber pustaka yang menjadikan acuan didalam membangun teori dengan hipotesis penulis dalam pengerjaan skripsi ini, yang dicantumkan didalam daftar pustaka dengan memberikan informasi secara lengkap mengenai nama penulis, tahun penerbitan, judul pustaka, dan nama penerbitan

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Rugi-Rugi Sistem Tenaga Listrik

Suatu pembangkit energi listrik memiliki bagian penting yang terdiri dari pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban sehingga menyebabkan adanya rugi-rugi sistem tenaga listrik pada pembangkit listrik. Dimana setiap penyaluran listrik pasti terdapat rugi-rugi sistem yang diakibatkan oleh faktor-faktor tertentu^[1]. Antara lain :

1. Faktor Peralatan Kontruksi Jaringan (*Component*)

Peralatan-peralatan mekanik yang berada dipusat pembangkit yang digunakan sangat mempengaruhi baik tidaknya kondisi suatu sistem tenaga listrik, dimana alat yang kurang baik atau tidak memenuhi *Standart* atau sudah berumur yang menimbulkan kerusakan pada peralatan saat digunakan sehingga menimbulkan kebocoran arus, korona yang melebihi batas *Standart* dan impedansi yang lebih tinggi.

2. Faktor Jarak (*Distance*)

Jarak tempuh pembangkit/saluran listrik ke beban yang terlalu jauh dari sumber pasokan (PLN) yang dikirim kepada konsumen yang melebihi jarak aman (Batas *Standart*) akan berakibat kurangnya pasokan daya listrik yang hilang dan bertambah besarnya tahanan saluran kabel yang digunakan.

3. Faktor manusia (*Human Error*)

Kerugian yang terjadi pada saat dilapangan baik dalam pengetahuan pembacaan alat ukur, keterampilan pemasangan sistem kelistrikan, pemeliharaan peralatan maupun permasalahan K3 (Kelamatan dan Kesehatan Kerja) yang berdampak buruk bagi diri sendiri ataupun perusahaan pembangkit listrik sehingga dapat menimbulkan kerusakan dan merugikan para konsumen/pelanggan.

4. Faktor Alam (*Nature*)

Faktor lingkungan merupakan kesalahan atau kerusakan yang disebabkan diluar sistem kelistrikan seperti terkena bencana alam (Banjir, Angin Topan, Sambaran Petir, dan lainnya) yang menyebabkan rugi-rugi semakin meningkat dan memberikan dampak yang cukup besar terhadap pembangkit tenaga listrik.

5. Faktor lain (*Another*)

Kondisi kerugian dari segi finansial, ruang lingkup kerja baik sarana dan prasarana pekerjaan yang kurang baik dan pencurian daya yang dilakukan oleh konsumen dalam penggunaan energi listrik secara sembarangan.

Dari faktor diatas dapat disimpulkan rugi-rugi sitem bisa terjadi kapan saja dari berbagai macam faktor yang menyebabkan rugi-rugi sistem semakin meningkat, Rugi-rugi sendiri dapat dibedakan menjadi dua bagian, antara lain :

2.1.1 Rugi-Rugi Saluran

Daya listrik yang dikirim dan disalurkan dari gardu induk/trafo distribusi kepemakai mengalami rugi tegangan dan rugi daya, ini disebabkan karena saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi, dan kapasitas. Saluran distribusi primer ataupun sekunder berjarak pendek, maka kapasitas dapat diabaikan dengan dibuat rangkaian ekuivalen dari saluran distribusi.

Kerugian akibat pelembekan logam berpengaruh sedikit pada semua suhu dan merupakan fungsi dan waktu bersamaan dengan penurunan batas tegangan. Pelembekan yang terlihat dan kerugian tegangan tarik tidak berpengaruh jika pengantar dalam batas yang dianjurkan pada keadaan tertentu harga-harga pada suatu tingkat umur yang ditaksir dapat ditentukan. Untuk itu perlu mengetahui hubungan antara suhu kerja, waktu suhu kerja dan penurunan kekuatan pengantar yang bersangkutan.

Kerugian akibat panas jika suatu pengantar dialiri arus listrik secara terus-menerus maka akan menimbulkan panas, panas ini timbul akibat energi listrik yang mengalir pada pengantar tersebut. Semakin lama arus tersebut mengalir maka akan semakin panas pengantar dan semakin banyak energi listrik yang hilang karena energi tersebut berubah menjadi panas. Hal inilah yang merugikan jika energi itu hilang maka tegangan pada ujung pengantar tersebut akan berkurang. semakin banyak energi yang menjadi panas, maka semakin banyak pula tegangan yang menghilang.

Kerugian akibat jarak sangat berpengaruh pada keandalan jaringan karena semakin jauh atau semakin panjang penghantar listrik maka akan banyak tegangan listrik yang menghilang karena penghantar itu sendiri memiliki hambatan atau tahanan. Jadi apabila jarak penghantar sangat jauh dari sumber atau pembangkit maka nilai hambatan pengantar akan mengurangi tegangan yang mengalir pada pengantar tersebut.

Luas penampang kawat penghantar, arus listrik yang mengalir dalam pengantar selalu mengalami tahanan dari penghantar itu sendiri, tegangan juga sangat berpengaruh terhadap rugi-rugi daya, semakin besar tegangan pada suatu saluran, maka semakin kecil

arus pada saluran, sedangkan arus merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kecilnya rugi-rugi daya pada suatu saluran^[4].

2.1.2 Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik disebabkan profil tegangan buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik berlebihan sehingga kontinuitas pasokan dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti kerumah, gedung-gedung, maupun perusahaan besar lainnya dapat menyebabkan pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindari sistem mengalami pemadaman total (*Totally Black Out*).

Besarnya rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa antara lain :

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \times L \dots \dots \dots (2.1)$$

$$P_{\text{loss}} = \{P \times R \times L\} / \{V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2\} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan

$$I = P / \{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos } \emptyset\} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana,

$$P_{\text{loss}} = 3 \times I^2 \times R \times L \dots \dots \dots (2.4)$$

$$P_{\text{loss}} = \{3 \times P^2 \times R \times L\} / \{(\sqrt{3})^2 \times V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2\} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$P_{\text{loss}} = \{3 \times P^2 \times R \times L\} / \{3 \times V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2\} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$P_{\text{loss}} = \{P^2 \times R \times L\} / \{V^2 \times (\text{Cos } \emptyset)^2\} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan,

P_{loss} : Rugi-Rugi Daya (*Watt*)

P : Daya yang Disalurkan (*Watt*)

V : Tegangan Kerja Sistem (*Volt*)

I : Arus yang Disalurkan (*Ampere*)

R : Tahanan Saluran (*Ohm/Meter*)

L : Panjang Saluran (*Meter*)

$\text{Cos } \emptyset$: Faktor Daya

Kesimpulan yang sementara yang bisa ditarik adalah bahwa terjadi rugi-rugi daya yang cukup besar disaluran transmisi maupun dijaringan distribusi cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan, sehingga dalam setiap penyaluran daya listrik ke beban pasti terdapat rugi-rugi daya yang diakibatkan faktor-faktor seperti dijelaskan diatas^[4].

2.1.3 Voltage Drop

Jatuh Tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar, dimana jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan dalam persen atau dalam besaran *Volt*, besarnya batas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tegangan menengah masalah Induktansi dan Kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan diujung diterima 10%, tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat Hambatan Listrik (R) dan Reaktansi (X). Jatuh Tegangan Phasor (V_d) pada suatu pengantar yang mempunyai Impedansi (Z) dan membawa Arus (I) dapat rumus :

$$V_d = I \times Z \dots\dots\dots(2.8)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan Jatuh Tegangan (ΔV) adalah selisih antara Tegangan Kirim (V_k) dengan Tegangan Terima (V_r) maka jatuh tegangan dapat di definisikan dengan rumus :

$$\Delta V = (V_k) - (V_r) \dots\dots\dots(2.9)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari Tegangan Kirim (V_s), Sehingga Tegangan Jatuh (*V drop*) merupakan selisih antara tegangan pada Pangkal Pengiriman (*Sendi End*) dan tegangan pada Ujung Penerimaan (*Receiving End*) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan juga Regulasi Tegangan VR (*Voltage Regulation*) dan dinyatakan dengan rumus :

$$\Delta V = (V_s) - (V_r) \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan,

V_s : Tegangan pada Pangkal Pengiriman

V_r : Tegangan pada Ujung Penerimaan

Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansi maupun faktor dayanya yang tidak sama sehingga dapat diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan diasumsikan beban-bebannya yang merupakan beban fasa

tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. Tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$(\Delta V) = I \{ (R \times \cos \phi) + (X \times \sin \phi) \} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan,

I : Arus Beban (*Ampere*)

R : Tahanan Rangkaian (*Ohm*)

X : Reaktansi Rangkaian (*Ohm*)

Dari faktor-faktor diatas dan bagian rugi-rugi sistem tenaga listrik dapat disimpulkan bahwa rugi rugi merupakan persoalan yang tidak dapat diabaikan karena dampak yang ditimbulkan sangatlah merugikan bagi konsumen atau pelanggan yang menerima pasokan listrik dan perusahaan pembangkit listrik baik dari segi finansial maupun non finansial^[9].

2.2 Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas tegangan sistem tenaga listrik adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan dalam sistem. Batas stabilitas sistem adalah daya-daya maksimum yang mengalir melalui suatu titik dalam sistem tanpa menyebabkan hilangnya stabilitas.

Berdasarkan sifat gangguan masalah stabilitas sistem tenaga listrik dibedakan tiga, antara lain :

1. Stabilitas Tetap (*Steady State*)

Stabilitas *Steady State* merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (*Fluktuasi Beban*).

2. Stabilitas Peralihan (*Transient*)

Stabilitas transient merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak sekitar (*Swing*) pertama dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis belum bekerja.

3. Stabilitas Sub Peralihan (*Dinamis*)

Stabilitas dinamis merupakan ayunan pertama (*Periode Stabilitas Transient*) sistem mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem dalam keadaan seimbang yang

baru (stabilitas transient bila AVR dan governor bekerja cepat dan diperhitungkan dalam analisis).

Dimana konsep dasar kestabilan tegangan sendiri adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk selalu siap mempertahankan tegangan yang diterima di setiap bus dalam sistem tersebut saat beroperasi normal dan setelah mengalami gangguan. Suatu sistem memasuki situasi ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, meningkatnya permintaan beban atau perubahan dalam kondisi sistem yang mengakibatkan perubahan yang drastis dan tidak terkontrolnya penurunan tegangan. Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidakmampuan suatu sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti dari permasalahannya adalah penurunan tegangan yang terjadi ketika daya aktif dan reaktif mengalir melalui reaktansi induktif yang dihubungkan dengan jaringan transmisi^[3].

2.3 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi merupakan proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit, yang umumnya terletak jauh dari pusat beban ke gardu induk penurun tegangan yang memiliki transformator dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi menengah sehingga saluran transmisi ini mempunyai tegangan yang tinggi agar dapat meminimalkan rugi-rugi daya (*Power Losses*) yang disalurkan, namun sebenarnya saluran transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik ke gardu induk kemudian gardu induk ke gardu induk lainnya dilanjutkan ke jaringan tegangan menengah dan gardu distribusi, yang besaran tegangannya terdiri dari Tegangan Ultra Tinggi (UHV), Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan Tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan Tegangan Rendah (LV). di Indonesia sendiri *Standart* saluran transmisi yang berlaku adalah 30 KV, 70 KV dan 150 KV dimana ada beberapa hal yang perlu diketahui, yaitu :

1. Transmisi 30 KV dan 70 KV (mulai ditiadakan)
2. Transmisi 70 KV dan 150 KV (sudah digunakan, sedangkan transmisi 275 KV dikembangkan di pulau Sumatera)
3. Transmisi 500 KV (masih jarang)

saluran transmisi sendiri dapat dibedakan menjadi dua kategori, antara lain :

1. saluran udara (*Overhead Line*) dimana penyaluran tenaga listrik melalui penghantar-pengantar yang digantung pada tiang-tiang dan tower transmisi dengan perantara isolator-isolator.

2. saluran bawah tanah (*Underground*) dimana penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel bawah tanah.

Berdasarkan jenis arus yang dialirkan pada saluran transmisi, dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Saluran Transmisi Arus Bolak Balik (*Alternating Current/AC*)

Didalam Saluran transmisi AC, kenaikan dan penurunan tegangan sangat mudah dilakukan dengan bantuan transformator dan juga memiliki 2 sistem, yaitu sistem fasa tunggal dan sistem fasa tiga sehingga saluran transmisi memiliki keuntungan, yaitu:

- a) Daya yang disalurkan lebih besar
- b) Nilai sesaat (*Instantaneous Value*) konstan
- c) Mempunyai medan magnet putar

Kerugian saluran transmisi AC juga memiliki kerugian, yaitu :

- a) Tidak stabil
- b) Isolasi yang rumit dan mahal

2. Saluran Transmisi Arus Searah (*Direct Current/DC*)

Didalam Saluran transmisi DC, daya guna atau efisiensi tinggi karena mempunyai factor daya =1, tidak memiliki masalah terhadap stabilitas terhadap sistem, sehingga dimungkinkan untuk penyaluran jarak jauh dan memiliki isolasi yang lebih sederhana.

Berhubungan dengan keuntungan dan kerugian, saluran transmisi diperusahaan pembangkit sebagian besar menggunakan saluran transmisi AC, karena dianggap lebih ekonomis jika jarak saluran udaranya antara 400 km sampai 600 km, atau untuk saluran bawah tanah dengan panjang 50 km. Hal itu disebabkan karena biaya peralatan pengubah dari AC ke DC dan sebaliknya (*Converter dan Inverter*) masih sangat mahal, sehingga dari segi ekonomisnya saluran AC akan tetap menjadi primadona dari saluran transmisi.

Pada saluran transmisi sendiri mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuan untuk sebagai bagian dari suatu sistem tenaga, yaitu resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Parameter-parameter ini merupakan salah satu pertimbangan utama dalam perencanaan saluran transmisi, Sehingga saluran transmisi dibuat dalam struktur, anatomi dan konstruksi yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi wilayah tujuan dari berbagai aspek agar dalam memelihara, mengelola dan membangun

sistem saluran transmisi pada pembangkit energi listrik berjalan baik, sehingga listrik akan tetap tersalurkan kepada konsumen-konsumen listrik^[8].

2.4 Aliran Daya (*Load Flow*)

Aliran daya atau disebut *Load Flow* merupakan studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi Operasi Tunak (*Stady State*). Studi aliran daya juga memberikan informasi guna mengevaluasi kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit maupun pembebanan.

Dimana studi aliran daya merupakan studi yang sangat penting pada perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dalam menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada, studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem dimasa yang akan datang. dengan Seiring bertambahnya jumlah konsumen maka semakin meningkat pula akan kebutuhan tenaga listrik, sehingga akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan pembangkit, dan perubahan saluran transmisi^[2].

Pada studi aliran daya, bus-bus terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *Slack Bus* atau *Swing Bus* atau Bus Referensi, *Voltage Controller Bus* atau Bus Generator (PV), dan *Load Bus* atau Bus Beban (PQ) yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

1) *Slack Bus* (Bus Referensi)

Pada bus ini, Rating Tegangan (v) dan Sudut Fasa (δ) sudah ditentukan besarnya sementara Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) didapatkan dari perhitungan. Biasanya nilai (v) adalah 1 pu, sedangkan sudut fasa tegangan bernilai nol, karena fasor tegangan dari bus dipakai sebagai referensi.

2) *Voltage Controller Bus* (Bus Generator)

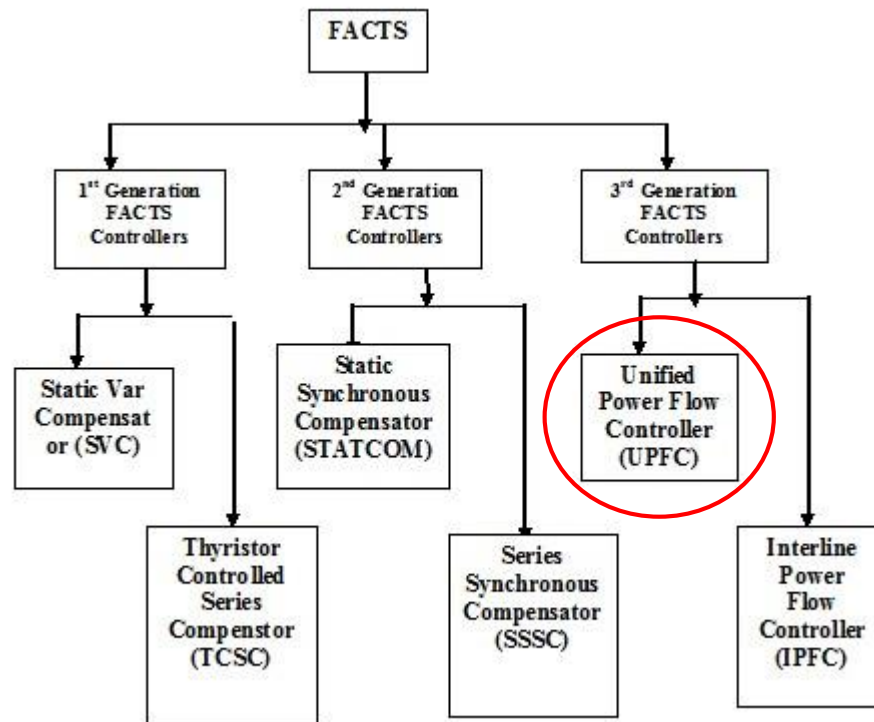
Pada bus ini, hanya terdapat daya pembangkit dimana Tegangan (v) diatur menggunakan Regulator Tegangan (AVR) dan Daya Aktif (P) diatur dengan *Govenor* sehingga untuk bus ini dapat mengetahui Tegangan (v) dan Daya Aktif (P), sementara pada Daya Reaktif (Q) dan Sudut Fasa (δ) dapat diketahui dari hasil perhitungan.

3) *Load Bus* (Bus Bebas)

Pada bus ini, hanya terdapat kebutuhan daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang mana Daya Aktif (P) dan Daya Reaktif (Q) sudah diketahui, sehingga nilai Tegangan (v) dan Sudut Fasa (δ) berubah-ubah menurut kebutuhan beban.

2.5 Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) Devices

FACTS Devices merupakan perangkat control elektronik terpadu yang mengontrol variabel-variabel saluran transmisi seperti impedansi saluran, tegangan sistem dan sudut tegangan secara cepat dan efektif, Sehingga *FACTS Devices* juga sangat berperan untuk menjaga operasi sistem tenaga listrik yang optimal^[15].



Gambar 2.1 Block Diagram pada *FACTS Controller*^[15]

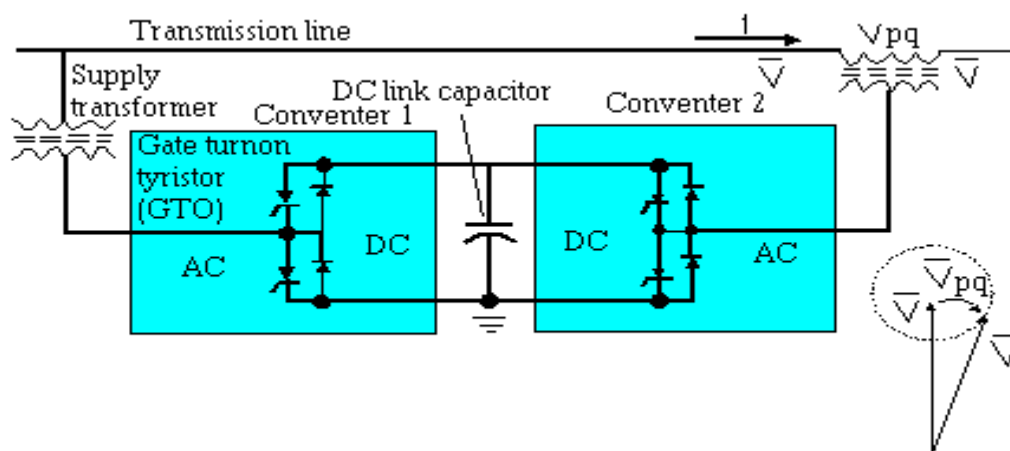
Pada gambar diatas merupakan susunan berbagai macam peralatan dari FACTS, Peralatan *FACTS Devices* sendiri sudah banyak digunakan pada sistem tenaga modern untuk menangani masalah penyaluran daya, dimana sebagai peralatan elektronika daya terpadu dapat diaplikasikan pada saluran transmisi untuk meningkatkan kemampuan penyaluran daya saluran. Dengan biaya yang relatif terjangkau dan waktu pemasangan yang cepat dibandingkan dengan membangun saluran transmisi baru, menyebabkan aplikasi peralatan *FACTS Devices* banyak menjadi pertimbangan utama oleh perusahaan penyedia listrik.

Penggunaan *FACTS Devices* juga didasarkan pada kemampuan untuk meningkatkan kestabilan transmisi tenaga listrik, memperbaiki profil tegangan dan keseimbangan daya reaktif serta memperbaiki pembagian beban pada saluran. *FACTS Devices* mempunyai kemampuan untuk menjadikan suatu sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan cara lebih fleksibel, efisien, dan ekonomis, pola pembangkitan tenaga listrik yang mengarah

pada pembebanan saluran yang terlampaui berat, akan mengakibatkan rugi-rugi daya yang lebih tinggi, dan memperlemah keamanan serta stabilitas dari sistem tenaga listrik. Dalam kondisi demikian FACTS *devices* biasanya digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem dengan cara mengontrol aliran daya pada saluran transmisi, yaitu dengan menggunakan peralatan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang merupakan jenis dari FACTS *Devices* yang berfungsi mengatur aliran daya reaktif ke sistem untuk memperbaiki profil tegangan, sehingga drop tegangan sistem dapat ditekan sekecil mungkin.

2.5.1 *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

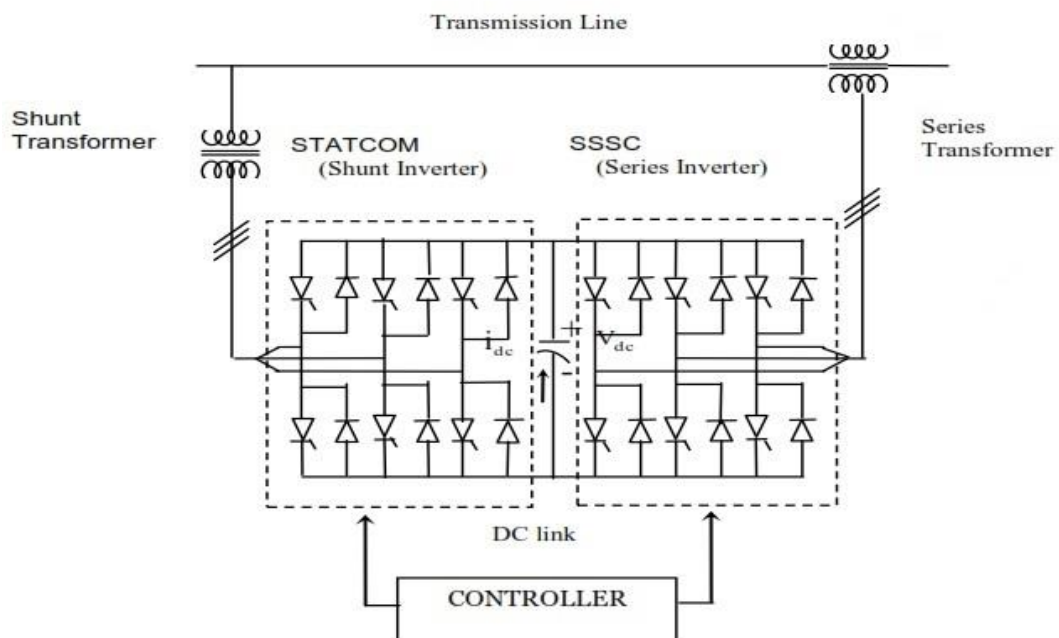
UPFC yang diusulkan oleh L. Gyugyi pada tahun 1995 dari Westinghouse, adalah salah satu yang paling kompleks dalam sistem. Hal ini terutama digunakan untuk kontrol *Independent* daya nyata dan daya reaktif dalam operasi yang fleksibel, dapat diandalkan dalam pemuatan sistem tenaga. UPFC memungkinkan simultan atau kontrol *Independent* parameter ini dengan transfers dari satu skema kontrol ke yang lain dalam waktu yang sebenarnya.



Gambar 2.2 *Control Unified Power Flow Controller* (UPFC)^[12]

UPFC juga dapat digunakan untuk mendukung tegangan, perbaikan stabilitas transient dan redaman dari sistem tenaga osilasi frekuensi rendah karena fitur yang menarik dalam pemodelan. UPFC sendiri merupakan bagian dari peralatan FACTS *Devices* terkini yang diimplementasikan dalam sistem tenaga sehingga yang membedakan UPFC dengan peralatan FACTS yang lainnya, dimana UPFC adalah gabungan dari peralatan *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) dan peralatan *Static Synchronous Series Compensator* (SSSC). STATCOM sendiri adalah peralatan

yang dapat meningkatkan stabilitas tegangan sistem tenaga dan meningkatkan kekuatan osilasi redaman dalam sistem, hal ini didasarkan pada elektronika daya tegangan sumber converter dan dapat bertindak baik sebagai sumber dari listrik AC yang aktif sehingga STATCOM dipasang untuk mendukung jaringan listrik yang memiliki faktor daya yang buruk dan untuk regulasi tegangan. Sedangkan SSSC adalah peralatan yang dapat dioperasikan tanpa menggunakan sumber energi listrik eksternal sebagai kompensator seri yang dikendalikan secara independen untuk meningkatkan atau menurunkan keseluruhan drop tegangan reaktif, dengan demikian SSSC termasuk alat yang dapat menyimpan energi atau menyerap energi untuk meningkatkan perilaku dinamis dari sistem dengan tambahan kompensasi daya nyata sementara.



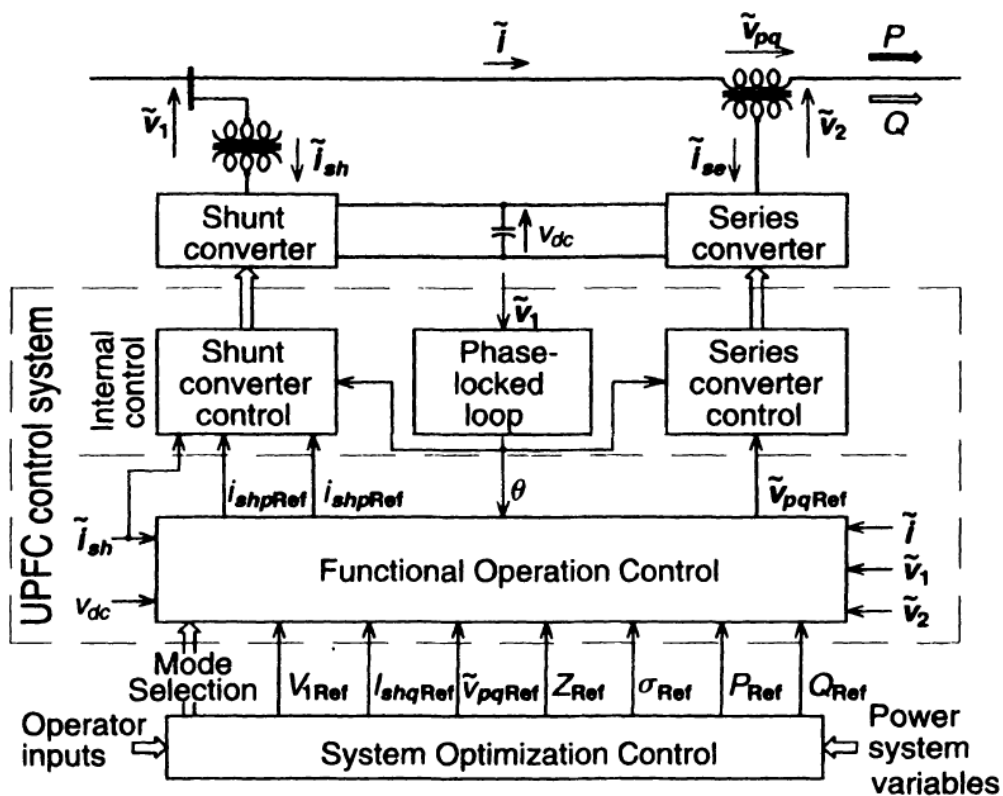
Gambar 2.3 Gabungan dari peralatan *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) dan peralatan *Static Synchronous Series Compensator* (SSSC)^[12]

Dengan demikian UPFC memiliki fungsi dan kegunaan dari peralatan STATCOM dan SSSC, UPFC sendiri memiliki kegunaan yang serbaguna karena bisa mengontrol tegangan suatu bus dan aliran daya untuk suatu operasi sistem yang optimal. Sifat dari serbaguna ini disebabkan terdapat dua *Switching Converter* yang terdapat pada UPFC. Dua *Converter* tersebut dihubungkan dengan saluran transmisi melalui trafo yang dihubungkan seri, sementara *Shunt Inverter* dikopel dengan bus yang ingin dikontrol melalui *Shunt Transformer*. *Shunt Inverter* dapat menghasilkan maupun menyerap daya reaktif (mirip dengan prinsip kerja SVC) dan juga menyediakan daya aktif ke series transformer^[12].

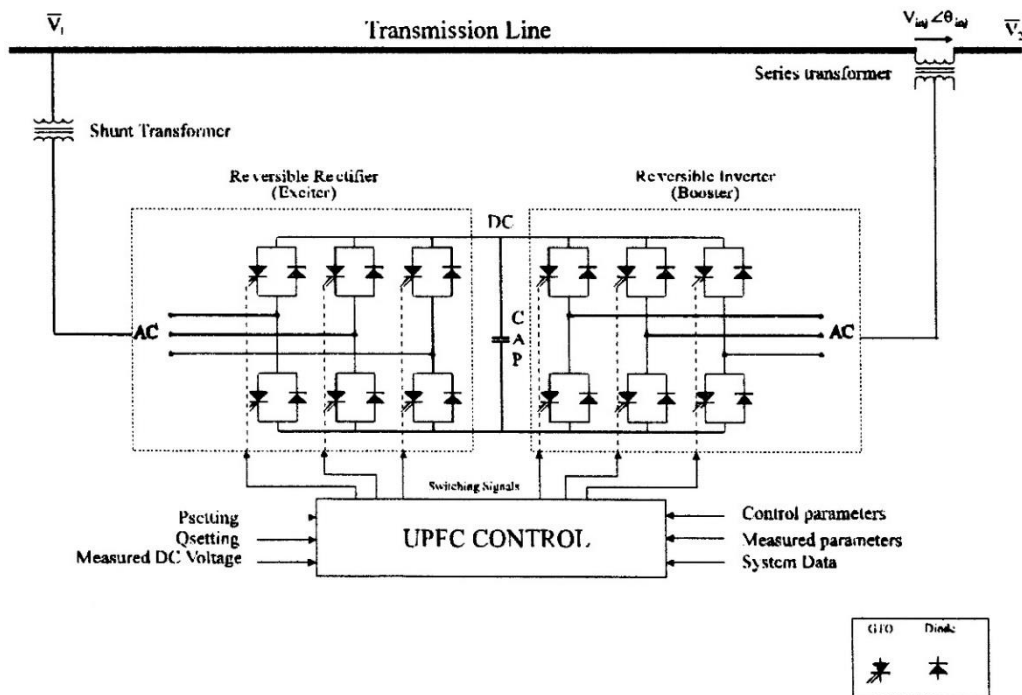
2.5.2 Kontruksi Unified Power Flow Controller (UPFC)

UPFC terdiri dari dua konverter sumber tegangan yaitu seri dan *Shunt Converter*, yang dihubungkan sama lain dengan link dc umum. *Seri Converter* atau *Static Synchronous Seri Compensator* (SSSC) yang digunakan untuk menambah besarnya tegangan dan sudut fase seri dengan garis, sementara *Shunt Converter* atau *Static Synchronous Compensator* (STATCOM) digunakan untuk menyediakan daya reaktif untuk sistem AC. Selain itu akan memberikan kekuatan DC diperlukan untuk kedua inverter, masing-masing cabang terdiri dari transformator dan *Converter* daya elektronik. Kedua *Converter* sumber tegangan berbagi umum DC kapasitor.

UPFC sendiri terdiri dari dua *Switching Converter* yang dihubungkan secara seri dan shunt, untuk *Seri Inverter* dihubungkan dengan saluran transmisi melalui trafo yang dihubung seri, sementara *Shunt Inverter* dikopel dengan bus yang ingin dikontrol melalui shunt transformer. *Shunt Inverter* dapat menghasilkan maupun menyerap daya reaktif (mirip dengan prinsip kerja SVC) dan dapat menyediakan daya aktif ke series transformer. Sedangkan fungsi dari series inverter berkaitan dengan pengaturan tegangan. Gambar dibawah ini merupakan Block Diagram dan Skema dasar yang sesuai UPFC^[7], antara lain :



Gambar 2.4 Skema Unified Power Flow Controller (UPFC)^[7]



Gambar 2.5 Skema *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang terhubung ke saluran pada Sistem Tenaga Listrik^[7]

2.5.3 Prinsip Kerja *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

UPFC menggunakan dua buah *Converter* bersumber tegangan yang beroperasi dari sebuah DC link *Capasitor*, tegangan injeksi ini dapat dianggap sebagai sumber tegangan AC arus yang mengalir melalui sumber tegangan ini akan menghasilkan pertukaran daya reaktif antara sumber tegangan dengan sistem AC. Daya reaktif yang ditukar pada terminal AC yaitu diubah menjadi daya DC, daya DC ini muncul di DC link sebagai permintaan daya. Daya reaktif yang dipertukarkan di terminal AC dibangkitkan secara internal oleh *Converter*. *Converter* tersebut terhubung *Shunt* dan *Series*.

Inverter 1 (terhubung *Shunt* dengan sistem AC melalui *Transformer Koping*) digunakan untuk menyediakan daya inverter 2 pada terminal DC link, inverter 2 (terhubung *series* dengan sistem AC) berfungsi untuk membangkitkan atau menyerap daya reaktif pada terminal AC. *Series Inverter* lalu dihubungkan dengan saluran transmisi melalui trafo yang dihubung seri, sementara *Shunt Inverter* dikopel dengan bus yang ingin dikontrol melalui *Shunt Transformer*. *Shunt Inverter* dapat menghasilkan maupun menyerap daya reaktif (mirip dengan prinsip kerja SVC) dan dapat menyediakan daya reaktif ke *Series Transformer*, sedangkan fungsi dari *Series Inverter* berkaitan dengan pengaturan tegangan.

Sehingga dengan *Control* yang tepat *Converter* ini dapat menyediakan kompensasi daya reaktif untuk saluran dan melaksanakan pengaturan secara tak langsung pada terminal input UPFC^[11].

2.5.4 Mode Operasi *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

UPFC memiliki banyak mode operasi khususnya, *Shunt Inverter* beroperasi sedemikian rupa untuk bekerja dalam saluran transmisi, saat ini terdiri dari dua komponen sehubungan dengan tegangan nyata yang difase atau berlawanan dengan garis tegangan, dan komponen reaktif atau *Kuadratur* yang *Diquadrature*. Komponen langsung secara otomatis ditentukan oleh persyarataan untuk menyeimbangkan kekuatan sebenarnya dari inverter seri, komponen *Quadrature* dapat mandiri diatur untuk setiap diinginkan tingkat referensi (Induktif atau Kapasitif) dalam kemampuan *Inverter*, untuk menyerap atau menghasilkan daya masing-masing reaktif dari garis^[5].

Shunt Inverter dapat dikontrol dalam dua mode yang berbeda, antara lain :

- 1) *VAR Control Mode* merupakan input referensi adalah induktif atau permintaan VAR kapasitif, kontrol *Shunt Inverter* menerjemahkan Var referensi ke shunt sesuai permintaan saat dan menyesuaikan gating dari inverter untuk membentuk arus yang diinginkan. Untuk modus ini mengontrol sinyal umpan balik yang mewakili tegangan bus dc, VDC, juga wajib.
- 2) *Automatic Voltage Control Mode* merupakan *Shunt Inverter* reaktif saat ini secara otomatis diatur untuk menjaga saluran transmisi tegangan pada titik sambungan ke nilai referensi, untuk modus ini kontrol, sinyal umpan balik tegangan diperoleh dari bus akhir pengiriman *Shunt Kopleng Transformer*. *Seri Inverter* mengontrol besaran dan sudut tegangan disuntikkan secara seri dengan garis untuk mempengaruhi aliran listrik.

2.6 *Software Power System Computer Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current* (PSCAD/EMTDC)

Power System Computer Aided Design (PSCAD) merupakan *software* pendukung untuk simulasi, desain, dan verifikasi semua sistem tenaga listrik. *Software* ini memiliki kecepatan dan akurasi yang lebih baik serta lebih mudah. PSCAD biasa dikenal dengan nama PSCAD/EMTDC karena EMTDC adalah bagian fungsi simulasi yang terintegrasi dengan PSCAD untuk mendukung fungsi tampilan grafis PSCAD. Dengan adanya fasilitas EMTDC, *software* ini sangat sesuai untuk mendesain simulasi suatu

sistem tenaga listrik beserta sistem kontrol secara online berdasarkan rentang waktu tertentu (*Time Domain Instantaneous Response*). Fungsi desain, analisis dan tampilan grafik untuk suatu sistem tenaga listrik yang akan dianalisa dapat ditampilkan dalam suatu paket dengan dilengkapi fasilitas kontrol unit, meter, dan online potting grafis yang interaktif. Dengan kemampuan ini, *software* PSCAD/EMTDC sudah digunakan dalam bidang manufaktur, penelitian, dan konsultan sebagai alat analisa yang utama. PSCAD memberikan fasilitas untuk studi dan analisis dalam bidang elektronika daya, kualitas daya, proteksi, dan perencanaan peralatan yang mendukung kinerja sistem tenaga listrik.

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

- ❖ *Resistors, Inductors, Capacitors*
- ❖ *Mutually Coupled Windings, such as Transformers*
- ❖ *Frequency dependent transmission lines and cable (including the most accurate time domain line model in the world)*
- ❖ *Current and Voltage sources*
- ❖ *Switches and breakers*
- ❖ *Protection and relaying*
- ❖ *Diodes, thyristors, GTOs, IGBTs*
- ❖ *Analog and Digital Control Functions*
- ❖ *AC and DC machines, Exciters, Governors, Stabilizers, and Inertial Models*
- ❖ *Meters and Measuring Functions*
- ❖ *Generic DC and AC Control*
- ❖ *HVDC, SVC, and other FACTS Controllers*
- ❖ *Wind Source, Turbines and Governors*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan *Study Literature* yang sesuai dengan *Standart IEEE*, apabila sudah mendapatkan referensi teori yang relevan sesuai dengan topik yang diangkat yaitu *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang akan di simulasikan pada *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation* untuk mengetahui perbandingan kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam Sistem Transmisi Ngimbang 150 kV.

Cara yang dilakukan yaitu :

- a. Pengambilan data dilakukan di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV, dimana data yang telah didapatkan meliputi :
 - Data *Single Line Diagram*
 - Data Beban
 - Data Pembangkit
 - Data Saluran
 - Data Transformator
- b. Melakukan permodelan berupa *Single Line Diagram*, meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV dengan menggunakan *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*.
- c. Melakukan input data Beban, data Pembangkit, data Saluran dan data Transformator, yang sesuai dengan data yang diperoleh dari perusahaan.
- d. Menjalankan permodelan simulasi aliran daya atau *Load Flow* untuk mengetahui profil tegangan, daya aktif, daya reaktif dan rugi-rugi pada sistem transmisi sebelum pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC).
- e. Mengetahui kondisi sistem apakah telah sesuai pada batasan yangizinkan yaitu nilai profil tegangan ($0,9 \text{ p.u} \leq 1,05 \text{ pu}$).

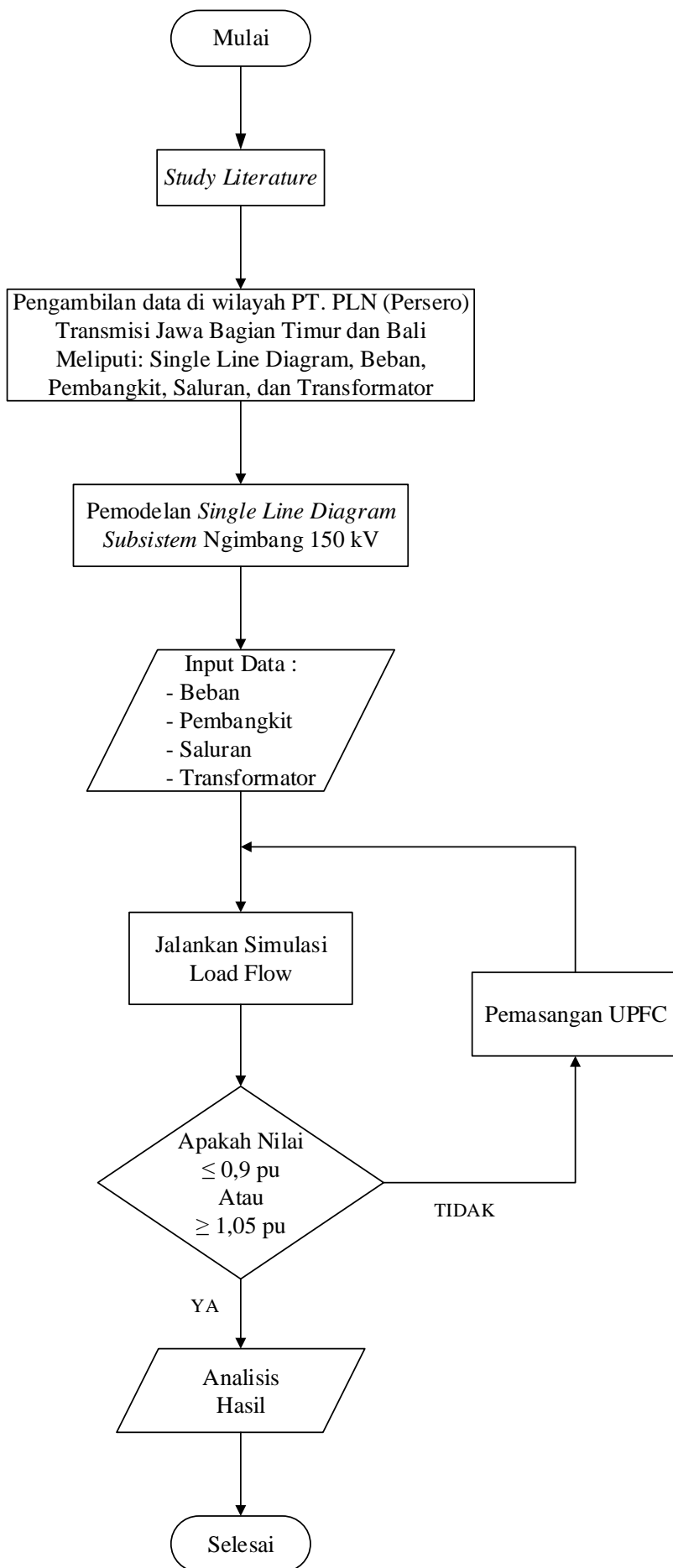
“Ya” : Lakukan pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC). Setelah itu kembali ke proses *Load Flow* untuk menganalisis keadaan sistem setelah dipasang *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

“Tidak” : Cek hasil dan analisis hasil.

Setelah proses simulasi *Load Flow* selesai dan batasan telah sesuai profil tegangan ($0,9 \text{ p.u} \leq 1,05 \text{ pu}$) kemudian analisis hasil.

- f. Kesimpulan, bagaimana kondisi sistem meliputi Subsistem Ngimbang sebelum dan sesudah pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dan apakah *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dapat meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan.

Melakukan simulasi sistem sesuai dengan data yang sudah diperoleh dan data tersebut merupakan data asli (*Real*) dari perusahaan yaitu dari PT PLN (Persero) Jawa bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV yang terdiri dari : data beban, pembangkit, saluran dan transformator.

Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.2 PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali



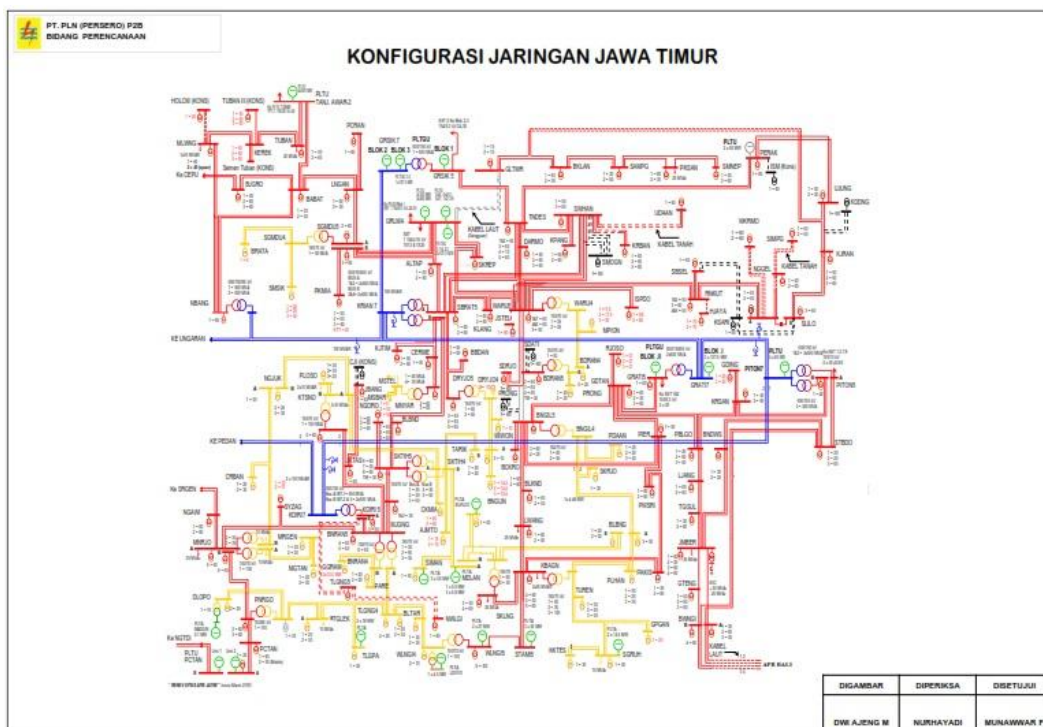
Gambar 3.2 Simbol PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali disebut juga sebagai PT PLN (Persero) Trans-JBTB yang merupakan pengembangan dari Unit PLN P3B Jawa Bali yang direorganisasi menjadi 4 unit PLN yaitu PLN P2B, PLN Transmisi Jawa Bagian Barat, PLN Transmisi Jawa Bagian Tengah dan PLN Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. Dimana PT PLN (Persero) Trans JBTB menjadi salah satu unit yang memiliki peran strategis dalam kelistrikan Sistem Jawa dan Bali khususnya sebagai pengelola Sistem Transmisi yang dideklarasikan di Surabaya pada tanggal 04 Januari 2016 berdasarkan Surat Keputusan Direksi No. 020.P/DIR/2015 yaitu melakukan pengembangan dan pengelolaan asset transmisi, pengendalian investasi dan logistic transmisi, melaksanakan pemeliharaan asset transmisi.

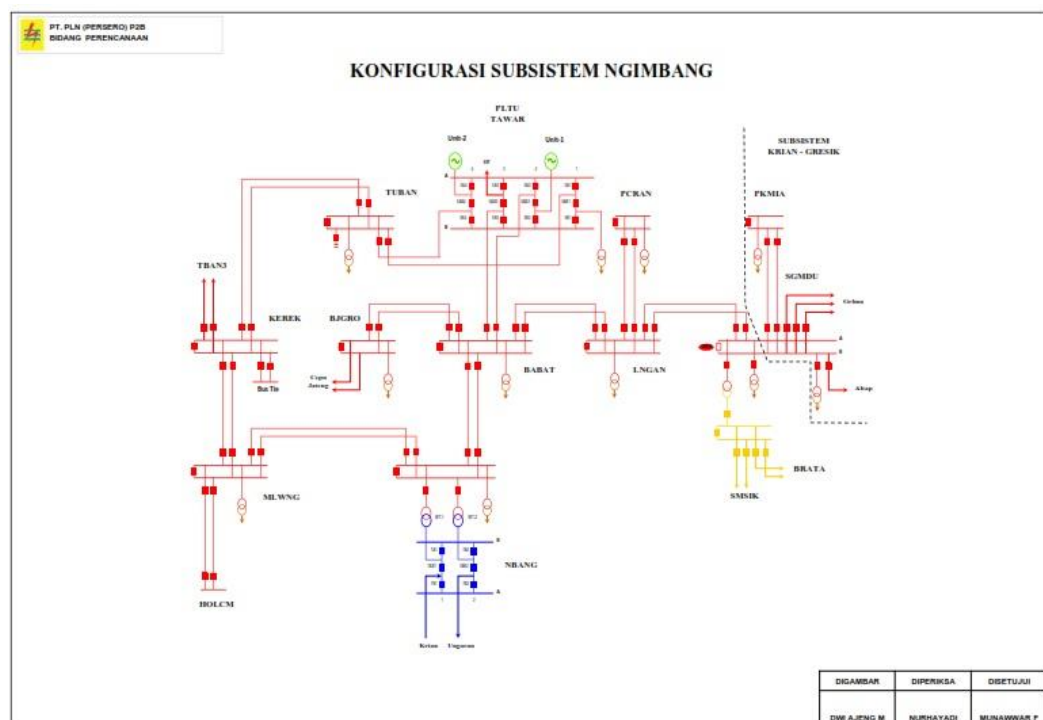
PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali merupakan perusahaan produk simulator yang mengatur proses tenaga listrik pada saluran transmisi dengan level yang berbeda yaitu tegangan 500 kV, 150 kV, serta 70 kV dengan gardu induk berjumlah 430 unit, aset trafo terpasang saat ini 803 unit dengan total 52974,8 MVA dengan total bank 837 unit dan terpasang pada 902 bay trafo, saluran transmisi dengan total panjang 20483,22 KMS dengan total *Circuit Konduktor* (CC) sejumlah 958 buah dan terpasang 2481 pada transmisi. Adapun inovasi-inovasi perusahaan dengan meningkatkan kualitas inspeksi transmisi yang sudah mulai dengan menggunakan *Mobile/Android* sebagai database terpadu untuk memantau hasil inspeksi dan juga adanya rencana-rencana pengembangan pembangkit transmisi yang masih dalam tahap perencanaan

Oleh karena itu, penulis memberikan informasi tentang PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali. Dalam skripsi ini penulis hanya mengkonfigurasi Substansi Ngimbang 150 kV yang akan disimulasikan dengan menggunakan *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*.

Berikut ini adalah *Single Line Diagram* yang telah diperoleh pada perusahaan PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, antara lain :



Gambar 3.3 *Single Line Diagram* Konfigurasi Jaringan Jawa timur



Gambar 3.4 *Single Line Diagram* Konfigurasi Subsystem Ngimbang 150 kV

3.2.1 Data Penelitian

Penggunaan data yang akan digunakan pada simulasi adalah data asli (*Real*) dan terbaru dari PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV pada bulan maret 2017 yang terdiri : data Beban, data Pembangkit, data Saluran, dan data Transformator.

3.2.1.1 Data Beban

Berdasarkan data beban yang telah diperoleh dari PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV melalui pengambilan data dari perusahaan.

Tabel 3.1 Data Beban Subsistem Ngimbang 150 kV

APB	GARDU INDUK	DAYA	P	Q	BEBAN
		(MV)	(MW)	(MVar)	(AMP)
Madiun	Ngimbang	500	86,26	45,44	1244
Madiun	Ngimbang	500	73,34	47,43	1288
Madiun	Babat	60	85,09	59,49	1429
Madiun	Bojonegoro	60	33,46	12,36	473
Madiun	Lamongan	60	89,69	49,65	493
Madiun	Paciran	60	37,87	28,44	196
Madiun	Tuban	30	63,15	45,84	836
Madiun	Kerek	50	56,92	38,63	1104
Madiun	Mliwang	60	75,72	48,59	655
Madiun	Holcm	30	76,91	47,84	1333
Madiun	Kenimbang	30	76,91	47,84	1333

Sumber : Hasil Pengambilan Data di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, 08 Mei 2017.

Daya Aktif (P) adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan beban yang timbul akibat mengalirnya arus listrik melalui Hambatan / Resistor. Dimana daya aktif digunakan untuk melakukan kerja dengan kata lain daya yang benar-benar digunakan sesuai dengan

kebutuhan tenaga listrik dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter* dengan satuan dari daya aktif adalah *Watt* atau *Kilo Watt*, dapat dirumuskan dengan :

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

Daya Reaktif (Q) adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet yang timbul akibat beban bersifat induktif sehingga mengalirnya arus listrik melalui kumparan-kumparan kawat dan dan sebuah kapasitor dengan satuan *Volt Ampere Reaktif* (VAR) dan *Kilo Volt Amper Reaktif* (KVar). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat induktif

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

Daya Semu (S) adalah daya yang merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus listrik. Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat resistansi (R) contohnya peralatan rumah tangga seperti strika, lampu pijar, dan lain-lain. Dimana peralatan listrik atau beban pada rangkaian listrik bersifat resistansi tidak data dihemat karena tegangan dan arus listrik se fasa perbedaan sudut fasa.

$$S^2 = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

3.2.1.2 Data Pembangkit

Berdasarkan data pembangkit yang telah diperoleh dari PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV.

Tabel 3.2 Data Pembangkit PLTU Subsistem Ngimbang 150 kV

PLTU	UNIT	KAPASITAS
		MW
TAWAR	1	500
	2	500

Sumber : Hasil Pengambilan Data di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, 08 Mei 2017.

Pembangkit PLTU Tawar beroperasi hanya unit 1 dan 2 untuk dan unit lainnya kepemilikan milik swasta dan masih tahap pengembangan dan perbaikan.

3.2.1.3 Data Saluran

Berdasarkan data saluran yang telah diperoleh dari PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV melalui pengambilan data dari perusahaan.

Tabel 3.3 Data Saluran Subsistem Ngimbang 150 kV

PENGHANTAR		JENIS PENGHANTAR/KONDUKTOR	JARAK	TEGANGAN
DARI	KE		(KM)	(KV)
Ngimbang	Babat	ACSR GANNET-4 X 392,84	11.730	150
Ngimbang	Tuban	ACSR GANNET-4 X 392,84	90.346	150
Babat	Bojonegoro	ACSR GANNET-4 X 392,84	216.660	150
Babat	Lamongan	ACCC/TW BRUSSELS-415	47.105	150
Lamongan	Paciran	ACSR AW-330	64.667	150
Tuban	Kerek	ACSR ZEBRA-2 X 429	10.866	150
Kerek	Mliwang	ACSR ZEBRA-2 X 429	22.422	150
Kenimbang	Mliwang	ACCC/TW BRUSSELS-415	56.435	150
Mliwang	Holcm	ACSR AW-330	40.454	150

Sumber : Hasil Pengambilan Data di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, 08 Mei 2017

3.2.1.4 Data Transformator

Berdasarkan data Transformator yang telah diperoleh dari PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV melalui pengambilan data dari perusahaan.

Tabel 3.4 Data Transformator Subsistem Ngimbang 150 kV

NO TRAFO	MANU FACTURE	DAYA (MVA)	TEGANGAN (kV)		TRAFO		IMPEDANSI Z(%)
			PRIMER	SEKUNDER	STEP UP	STEP DOWN	
IBT1	Alsthom	500	500	150	✓	-	14,5
IBT2	Areva	500	500	150	✓	-	14,5

IBT1	Elin	60	150	70	✓	-	14,5
IBT2	App	60	150	70	✓	-	14,5
IBT3	Siemens	60	150	70	✓	-	14,5
Trafo 1	Xian	60	150	70	-	✓	12,5
Trafo 1	Xian	30	150	20	-	✓	9,5
Trafo III	Telk	50	150	20	-	✓	9,5
Trafo IV	Pauwels	60	150	20	-	✓	9,5
Trafo I	Pauwels	30	150	20	-	✓	9,5

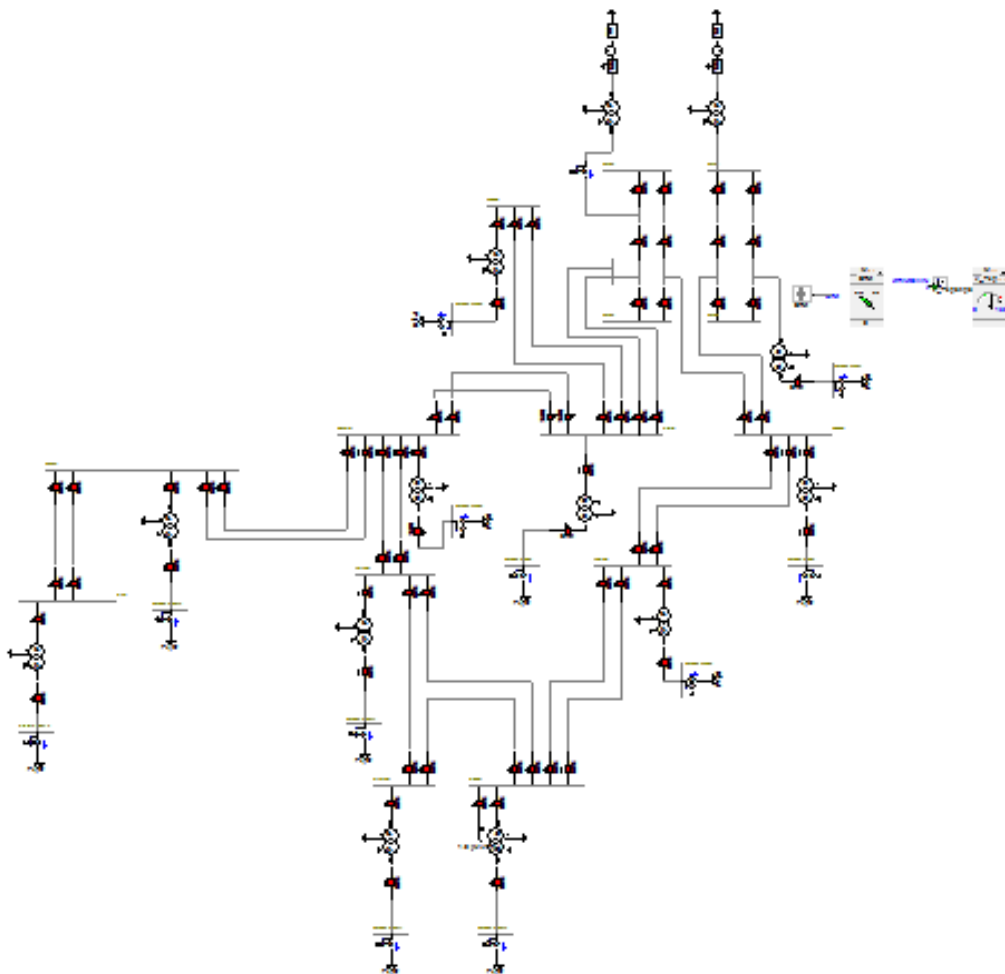
Sumber : Hasil Pengambilan Data di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, 08 Mei 2017

Data data diatas merupakan data asli (*Real*) yang mana data tersebut diperoleh dari PT PLN (Persero) Trans-JBTB atau Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali sebagai pengelola sistem transmisi yang dideklarasikan disurabaya pada tanggal 04 Januari 2016 berdasarkan Surat Keputusan Direksi No. 020.P/DIR/2015 meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV yang mana data tersebut memiliki dokumentasi yang sangat rahasia dan tidak boleh disebarluaskan oleh pihak-pihak yang telah mendapatkan persetujuan dari perusahaan, data yang didapatkan tidak semuanya ada tercantum dalam data tersebut.

3.3 Permodelan *Single Line Diagram* dan Input Data Sistem pada Subsystem Ngimbang dengan menggunakan *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*

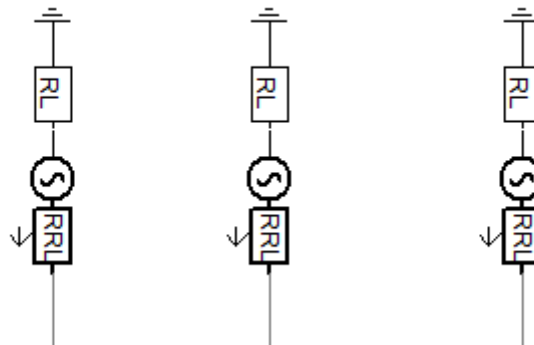
Permodelan sistem Subsystem Ngimbang 150 kV dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem transmisi kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC). Permodelan juga dilakukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk mendesain *Unified Power Flow Controller* (UPFC).

3.3.1 *Single Line Diagram* Konfigurasi Subsystem Ngimbang 150 kV

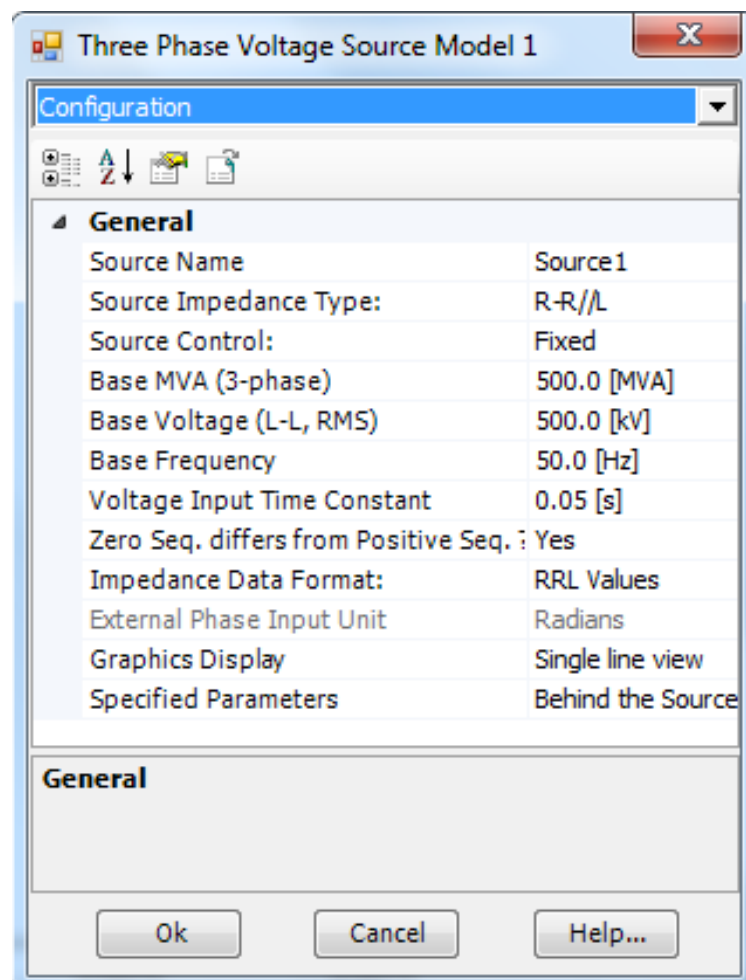


Gambar 3.5 *Single Line Diagram* Sistem Konfigurasi Subsystem Ngimbang 150 kV pada *PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*

3.3.2 Input Data Pembangkit

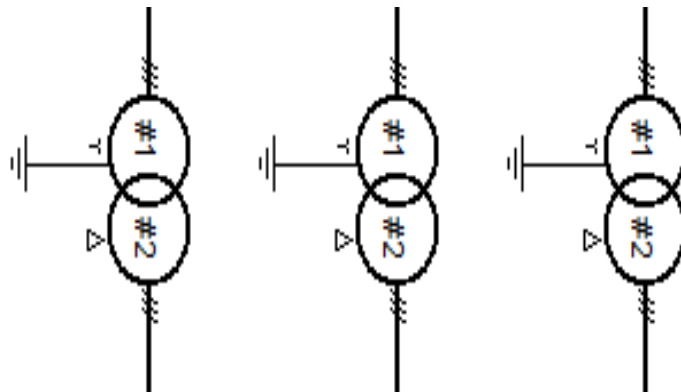


Gambar 3.6 Tampilan Pembangkit atau Generator pada PSCAD/EMTDC

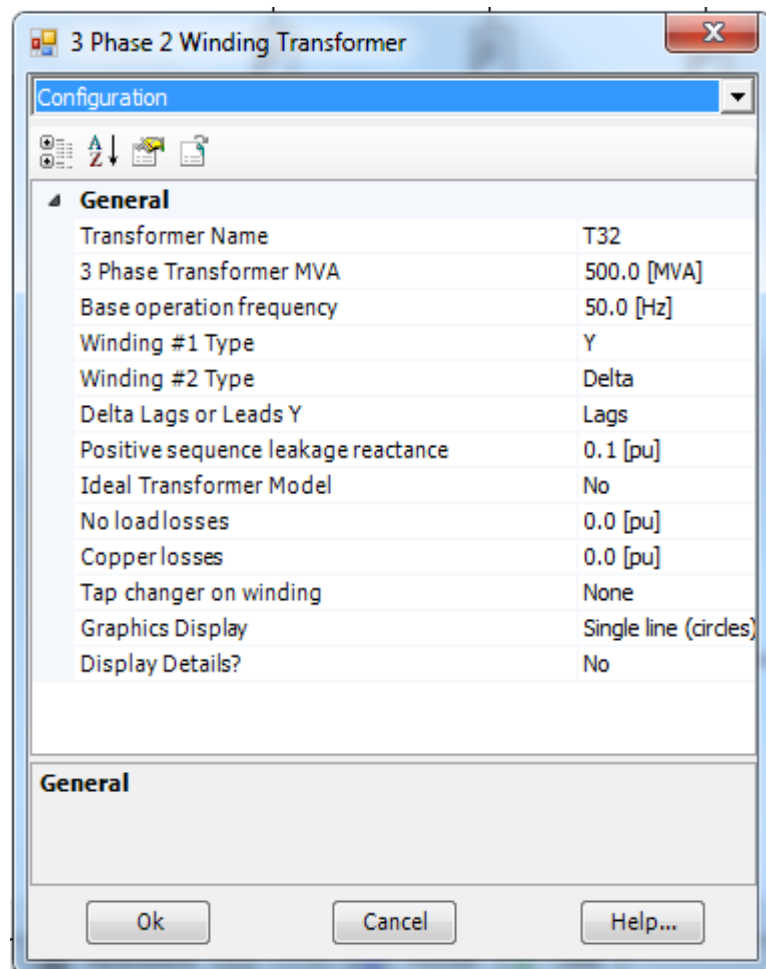


Gambar 3.7 Tampilan Input Data Sumber

3.3.3 Input Data Transformer

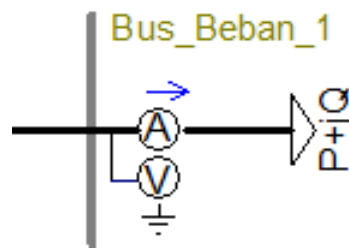


Gambar 3.8 Tampilan *Transformer* 3 Fasa pada PSCAD/EMTDC

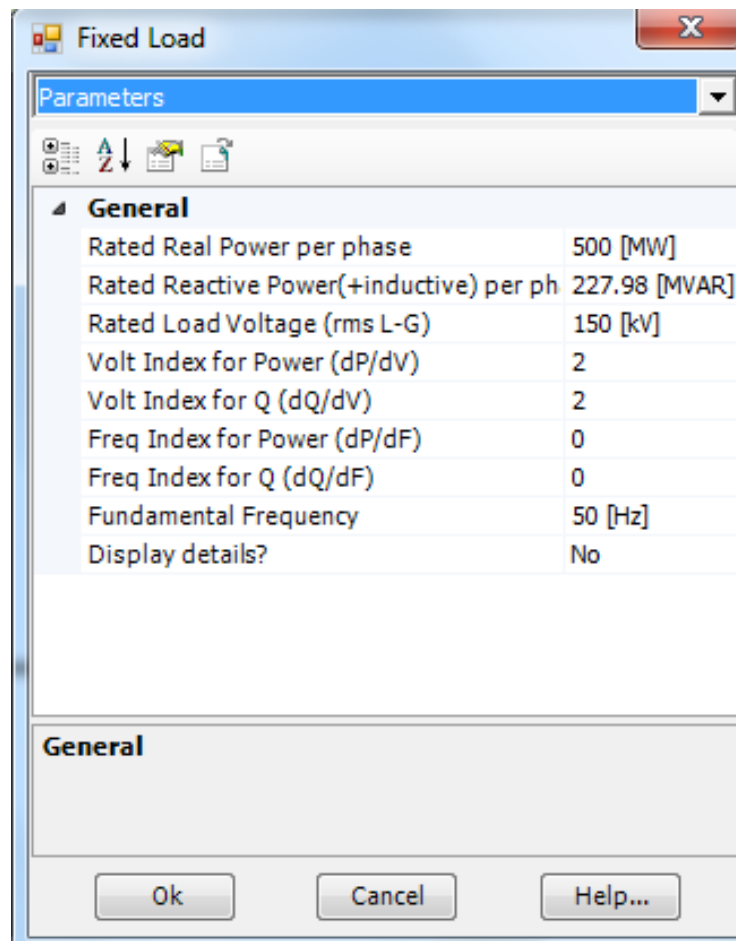


Gambar 3.9 Tampilan Input Data *Transformer* 3 Fasa

3.3.4 Input Data Beban

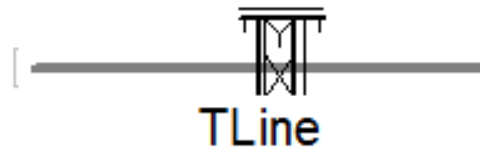


Gambar 3.10 Tampilan Beban pada PSCAD/EMTDC

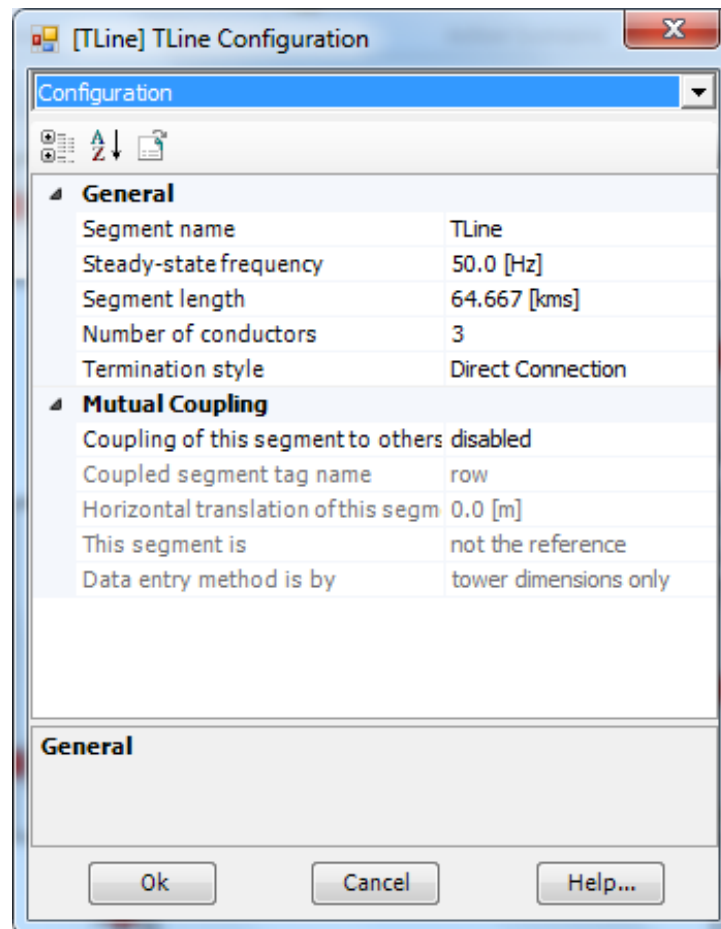


Gambar 3.11 Tampilan Input Data Beban

3.3.5 Input Data Saluran



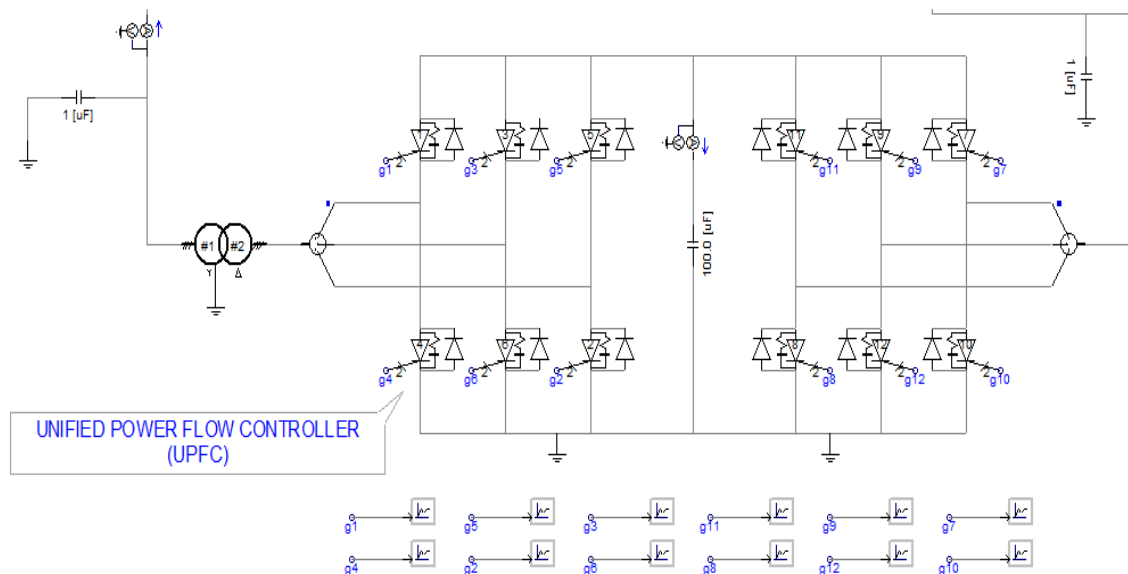
Gambar 3.12 Tampilan Saluran pada PSCAD/EMTDC



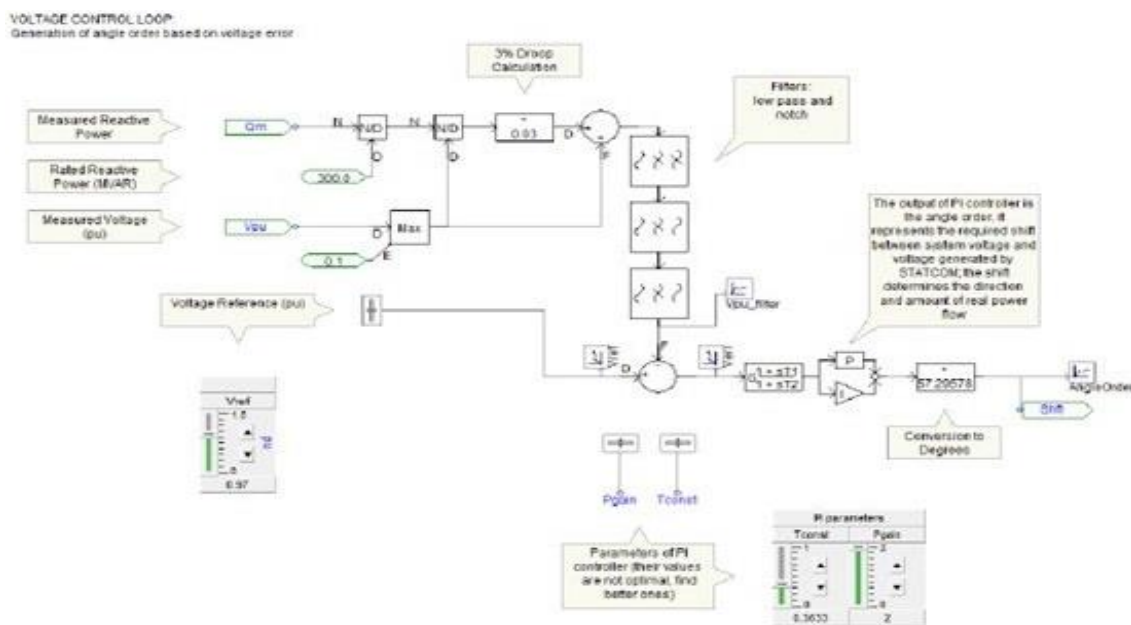
Gambar 3.13 Tampilan Input Saluran

3.4 Desain *Unified Power Flow Controller (UPFC)*

Desain *Unified Power Flow Controller (UPFC)* dilakukan dengan menentukan penempatan pemasangan dan menganalisis pemasangan dengan *Controller PI (Propositional-Intergral)* yang diterapkan mengatur tegangan AC dan mengontrol aliran daya yang diserap atau dihasilkan oleh *UPFC Controller*. Gambar 3.15 menunjukkan struktur *Unified Power Flow Controller (UPFC)* dan gambar 3.16 *Proportional-Integral (Controller PI)*.



Gambar 3.14 Struktur *Unified Power Flow Controller (UPFC)*



Gambar 3.15 Struktur *Proportional-Integral (Controller PI)*

Berdasarkan gambar diatas adalah *Control* dalam mengatur *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dengan analisis titik awal operasi stabil kemudian beban ditingkatkan sesuai dengan faktor λ hingga titik liner aliran daya yang diperoleh beban yang didefinisikan dengan persamaan :

$$PL = PLO (1 + \lambda) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$QL = QLO (1 + \lambda) \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan,

PL : daya aktif beban di bus (MW)

PLO : daya aktif beban besar

QL : daya reaktif beban di bus (Mvar)

QLO : daya reaktif beban besar

Dimana PLO dan QLO merupakan daya aktif dan daya reaktif beban besar, sedangkan PL dan QL merupakan daya aktif dan daya reaktif beban di bus untuk titik operasi tertentu.

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya dengan membentuk persamaan aljabar non linear, maka perhitungan aliran daya dapat ditentukan dengan melakukan perbandingan antara perubahan tegangan pada sudut tegangan $\Delta\delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta|V_1^{(k)}|$ dengan perubahan daya aktif ($\Delta P_1^{(k)}$) dan daya reaktif ($\Delta Q_1^{(k)}$) secara matematis persamaan aliran daya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan,

ΔP : nilai daya aktif (MW)

ΔQ : nilai daya reaktif (Mvar)

BAB IV

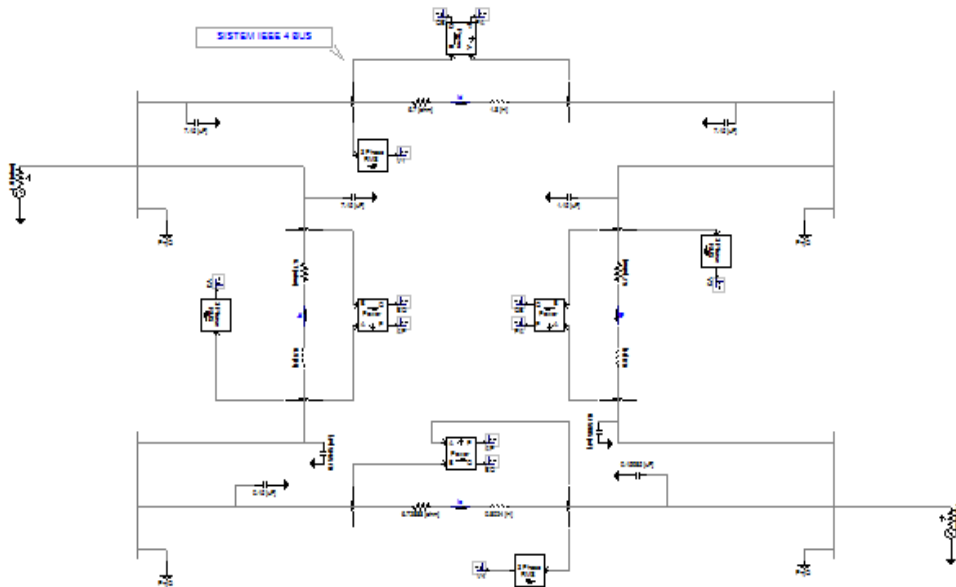
ANALISIS HASIL

Salah satu cara untuk mengetahui kinerja *Unified Power Flow Controller* (UPFC) adalah dengan melakukan pengujian awal yaitu pengujian sistem pada data standar *IEEE 4 BUS*. Pengujian awal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan sebelum di implementasikan pada yang telah diperoleh yaitu data sistem PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV. Kemudian penulis akan membandingkan kondisi sistem pada Subsistem Ngimbang 150 kV sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengkaji lebih dalam tentang kinerja *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan pada sistem transmisi.

4.1 Pengujian Data Standar Sistem IEEE 4 BUS

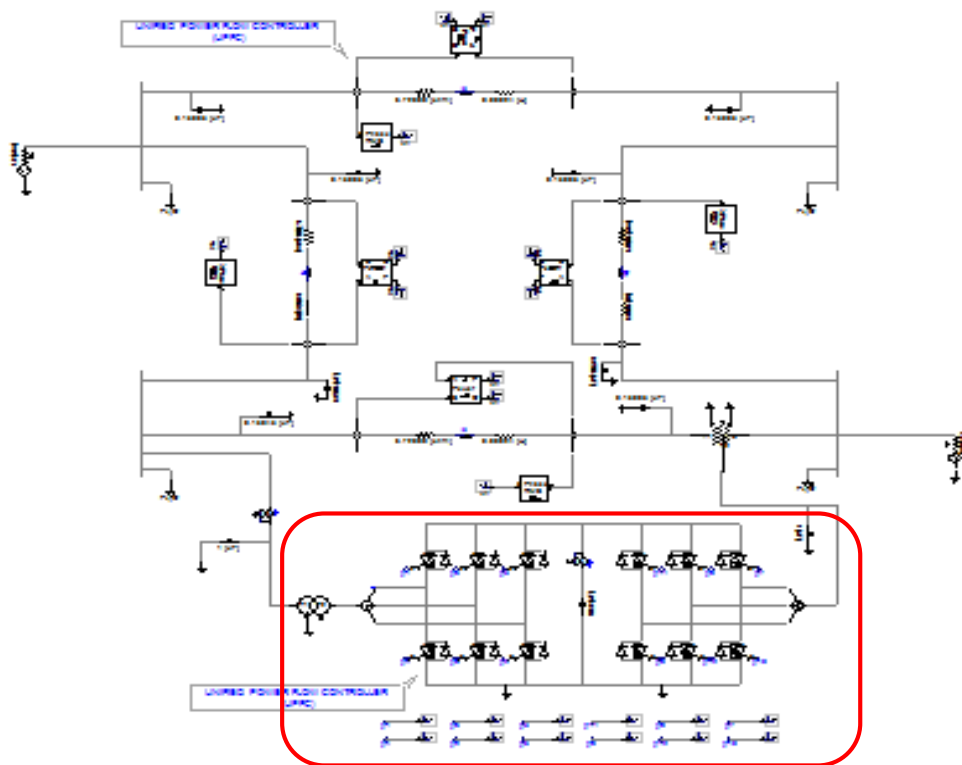
Data *IEEE 4 BUS* digunakan sebagai pengujian awal untuk menguji *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dalam meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan. Sistem *IEEE 4 BUS* terdiri dari 4 bus dengan 2 Generator terletak pada bus 1 dan bus 4 yang dioperasikan di 60 Hz, 230 kV yang terdiri dari empat beban pada masing-masing bus 1, 2, 3, dan 4. Nilai-nilai dasar untuk sistem transmisi adalah 100 MVA, 230 kV yang mana bus 1 adalah Swing Bus, bus 2 dan bus 3 merupakan P-Q bus (*Load bus*) yang terakhir bus 4 adalah P-V bus (*Voltage Controller Bus*) dengan mengasumsikan faktor daya lagging 0,85

Untuk membangun sistem *IEEE 4 BUS* dalam *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation* dibutuhkan nilai-nilai aktual impedansi dalam sistem transmisi harus sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditetapkan dimana pengambilan nilai-nilainya dari program *Electric Transient Analysis Program* (ETAP) dengan simulasi tenaga listrik untuk pengelolaan data *Real Time*. dari sehingga akan memerlukan konversi per-unit nilai-nilai yang sebenarnya berdasarkan tegangan setelah dinyatakan stabil analisis sistem dan test berhasil (*Complete*), *Unified Power Flow Controller* (UPFC) bisa diterapkan dilokasi penting sistem untuk kontrol dinamis tegangan.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram IEEE 4 BUS* pada PSCAD/EMTDC

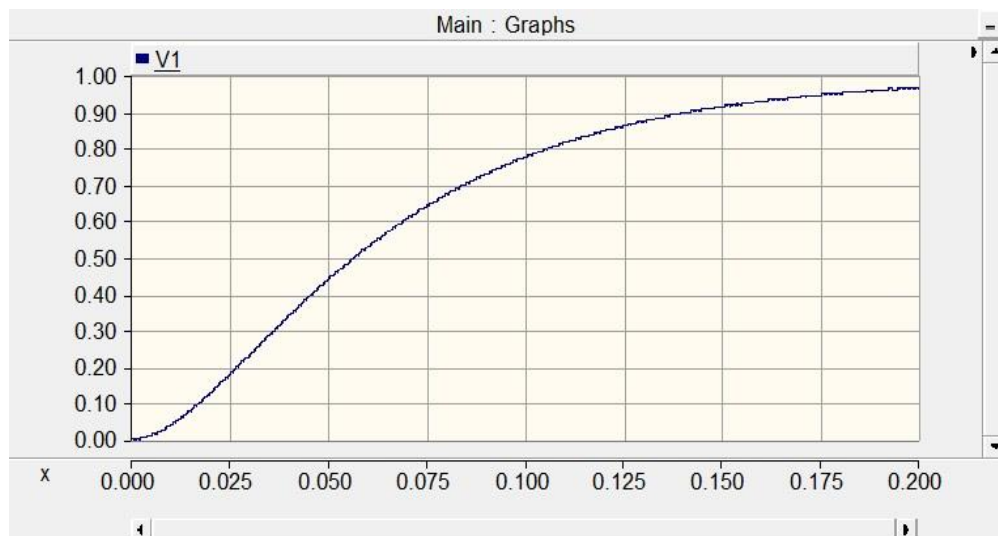
Percobaan implementasi *Unified Power Flow Controller (UPFC)* pada sistem *IEEE 4 BUS*. Gambar 4.2 menampilkan *Single Line* sistem *IEEE 4 BUS* dengan mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller (UPFC)* pada PSCAD/EMTDC.



Gambar 4.2 Implementasi *Unified Power Flow Controller (UPFC)* Sistem *Single Line Diagram IEEE 4 BUS* pada PSCAD/EMTDC

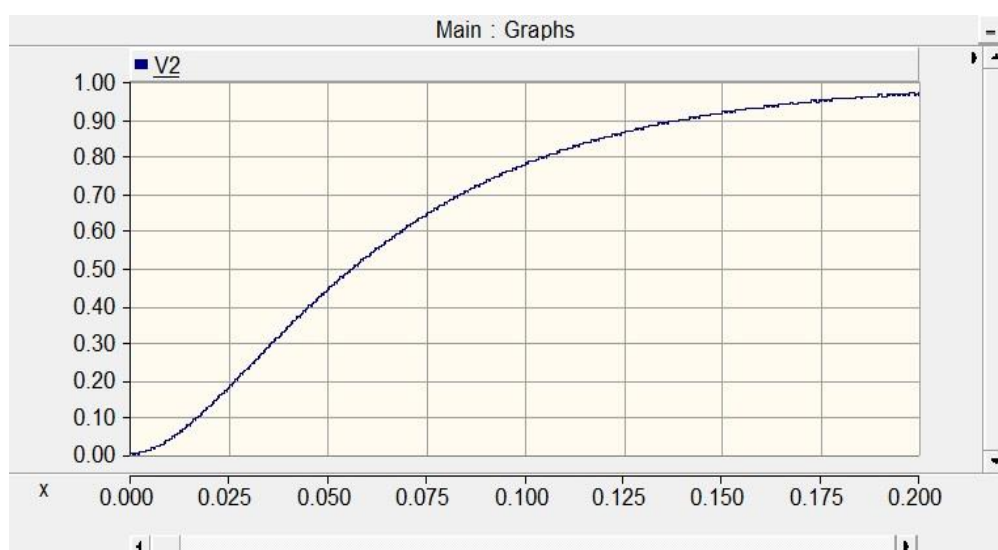
4.1.1 Hasil Simulasi Sebelum Pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Hasil simulasi yang dilakukan pada sistem *IEEE 4 BUS* menunjukkan bahwa sebelum pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) nilai untuk parameter V1 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 12,47 kV dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,999394 p.u pada gambar 4.3 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



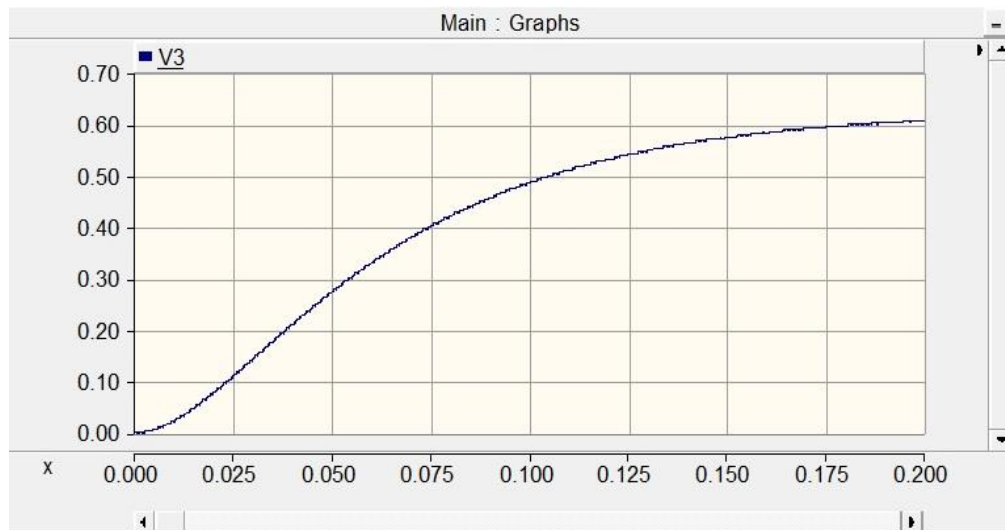
Gambar 4.3 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan

Nilai untuk parameter V2 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,980835 p.u pada gambar 4.4 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



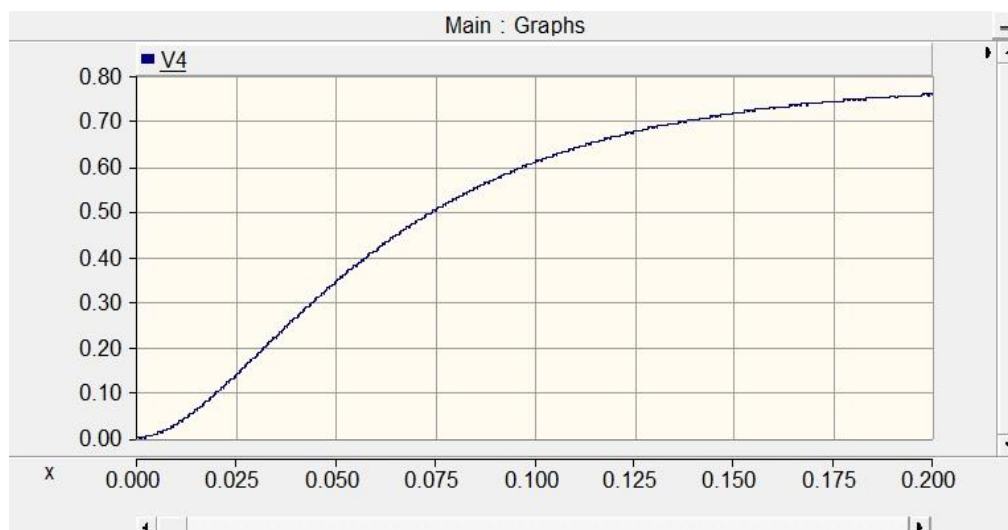
Gambar 4.4 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan

Nilai untuk parameter V3 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,612680 p.u pada gambar 4.5 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



Gambar 4.5 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan

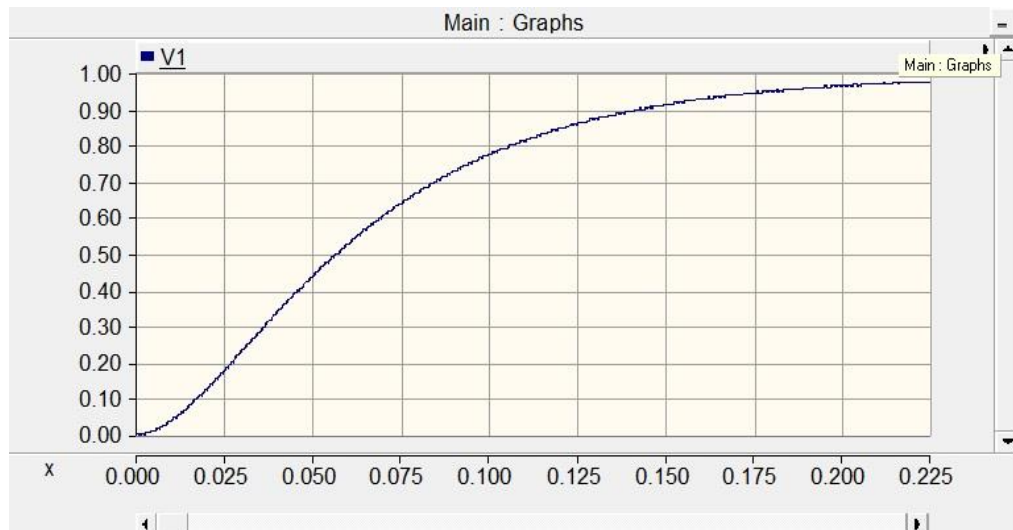
Nilai untuk parameter V4 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,764501 p.u pada gambar 4.6 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



Gambar 4.6 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sebelum Pemasangan

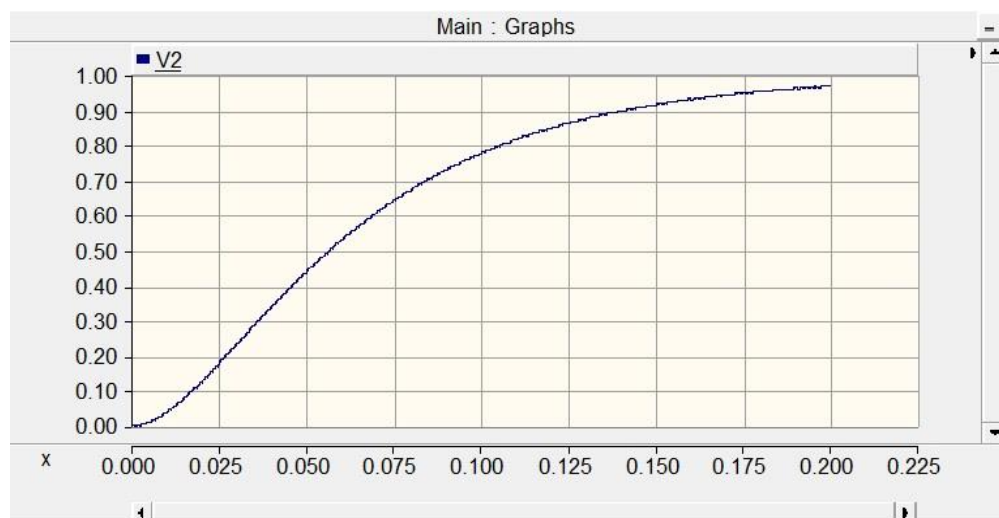
4.1.2 Hasil Simulasi Sesudah Pemasangan *Unified Power Flow Controller (UPFC)*

Hasil simulasi yang dilakukan pada sistem *IEEE 4 BUS* menunjukkan bahwa sesudah pemasangan *Unified Power Flow Controller (UPFC)* nilai untuk parameter V1 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,100225 p.u pada gambar 4.7 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



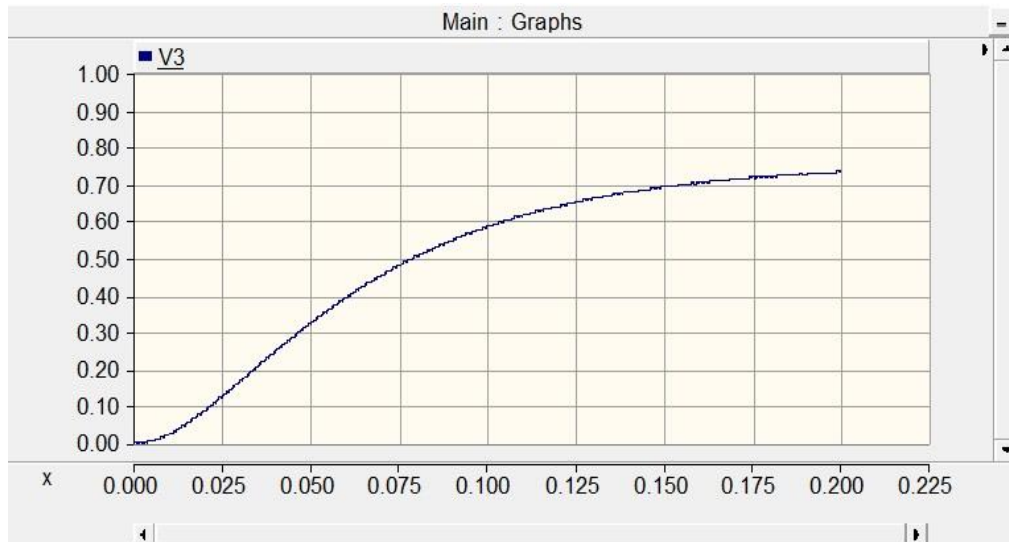
Gambar 4.7 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sesudah Pemasangan

Nilai untuk parameter V2 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,993531 p.u pada gambar 4.8 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



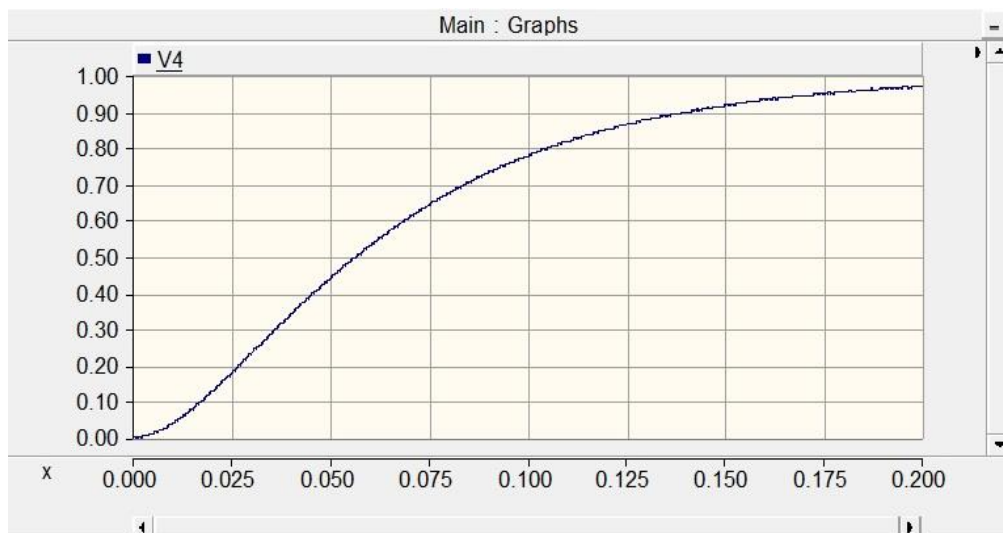
Gambar 4.8 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sesudah Pemasangan

Nilai untuk parameter V3 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,737296 p.u pada gambar 4.9 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



Gambar 4.9 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sesudah Pemasangan

Nilai untuk parameter V4 seperti Resistor 6,7 Ohm, Capacitor sebesar 7,15 uF, Induktansi 1,8 H, tegangan 230 kV, dan beban 100 MW dari sistem yang diamati setelah t 10 detik/second yaitu sebesar 0,990571 p.u pada gambar 4.10 dibawah ini yang merupakan gambar gelombang bentuk Sinus.



Gambar 4.10 Gelombang Tegangan pada Sistem 4 Bus Sesudah Pemasangan

Tabel 4.1 Perbandingan Kondisi Sistem *IEEE 4 BUS* Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

SISTEM <i>IEEE 4 BUS</i>		
PARAMETER	SEBELUM	SESUDAH
Per Unit Value (p.u)	0,999394	1,000225
	0,980835	0,993531
	0,612680	0,737296
	0,764501	0,990571

4.2 Pengujian Data Sistem Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV

Permodelan *Single Line* sistem meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV menggunakan *software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation*. Simulasi *UPFC Analysis* sistem kelistrikan Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV dilakukan untuk mengetahui aliran daya pada saat kondisi operasi normal serta tegangan yang dapat diamati. Simulasi *UPFC Analysis* dilakukan juga untuk membandingkan kondisi sistem sebelum menggunakan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dan sesudah menggunakan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) menggunakan data yang sudah diperoleh dari perusahaan PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

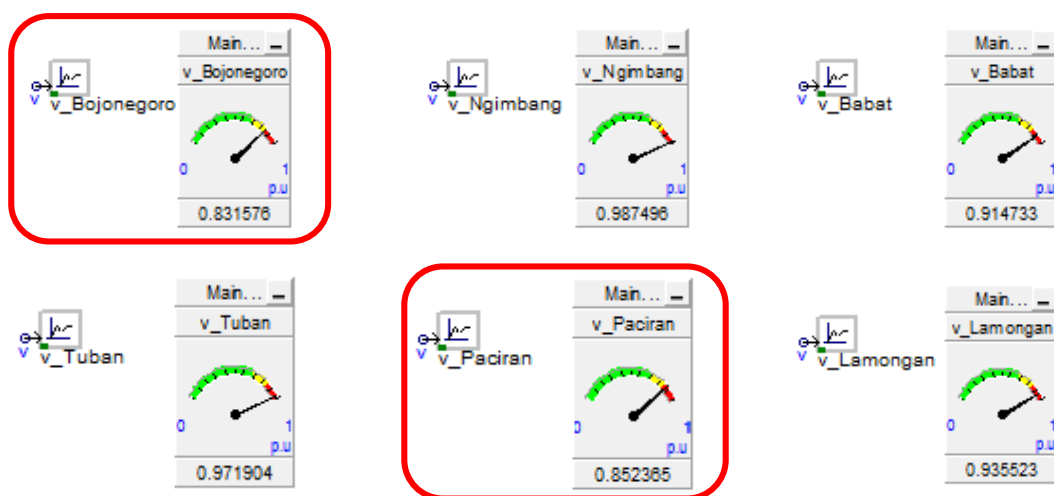
4.2.1 Hasil Simulasi Sebelum Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Running simulasi sistem kelistrikan meliputi Subsistem Ngimbang 150 kV pada *PSCAD/EMTDC EMTDC V4.5 Power Simulation* sebelum pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) didapatkan nilai tegangan pada setiap beban yang disalurkan melalui saluran transmisi, berdasarkan hasil *Load Flow* dalam kondisi *Basecase* telah diketahui dengan hasil yang sudah disimulasikan tabel sebagai berikut :

Tabel 4.2 Profil Tegangan Sebelum Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

NAMA BUS	BUS ID	TEGANGAN (p.u)
Ngimbang	BUS_1	0,9874
Ngimbang	BUS_2	0,9771
Babat	BUS_3	0,9147
Bojonegoro	BUS_4	0,8315
Lamongan	BUS_5	0,9355
Paciran	BUS_6	0,8523
Tuban	BUS_7	0,9719
Kerek	BUS_8	0,9251
Mliwang	BUS_9	0,9563
Kenimbang	BUS_10	0,9043
Holcm	BUS_11	0,9147

Berdasarkan hasil *Load Flow* pada tabel diatas telah diketahui profil tegangan sesuai margin yang diizinkan yaitu 0,9 p.u dan 1,05 p.u sesuai *Standart* perusahaan yang sudah ditentukan dan yang tidak sesuai standart terjadi pada tabel yang berwarna merah yaitu *Bus Bojonegoro* dan *Bus Paciran* pada Subsistem Ngimbang 150 kV, untuk itu diperlukanlah perbaikan profil tegangan dalam mengoptimalkan sistem dengan mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC).



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Pada *Parameter Control Panel*

Tabel 4.3 Rugi-Rugi Sistem Sebelum Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

DARI	KE	P Losses	Q Losses
		(MW)	(MVar)
BUS_1 (Ngimbang)	BUS_2 (Ngimbang)	0,005	0,009
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_3 (Babat)	0,006	0,01
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_7 (Tuban)	0,035	0,006
BUS_3 (Babat)	BUS_4 (Bojonegoro)	0,035	0,006
BUS_3 (Babat)	BUS_5 (Lamongan)	0,057	0,021
BUS_3 (Babat)	BUS_10 (Kenimbang)	0,062	0,029
BUS_5 (Lamongan)	BUS_6 (Paciran)	0,017	0,028
BUS_7 (Tuban)	BUS_8 (Kerek)	0,063	0,013
BUS_8 (Kerek)	BUS_9 (Mliwang)	0,033	0,066
BUS_9 (Mliwang)	BUS_10 (Kenimbang)	1,483	2,189
BUS_9 (Mliwang)	BUS_11 (Holcm)	0,206	0,051
Rugi-Rugi Total		2,002	2,386

Berdasarkan hasil Rugi-Rugi Sistem pada tabel diatas telah diketahui dengan menggunakan *Tool Transmission Line* dengan memilih *Line Constants 3 Cond Vertical Tower* yang ditempatkan pada sistem transmisi saat sistem beroperasi sehingga mengetahui setiap rugi-rugi dari pembangkit sampai dengan beban yang akan disalurkan, Sehingga sistem dapat mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) untuk meminimalkan rugi-rugi sistem.

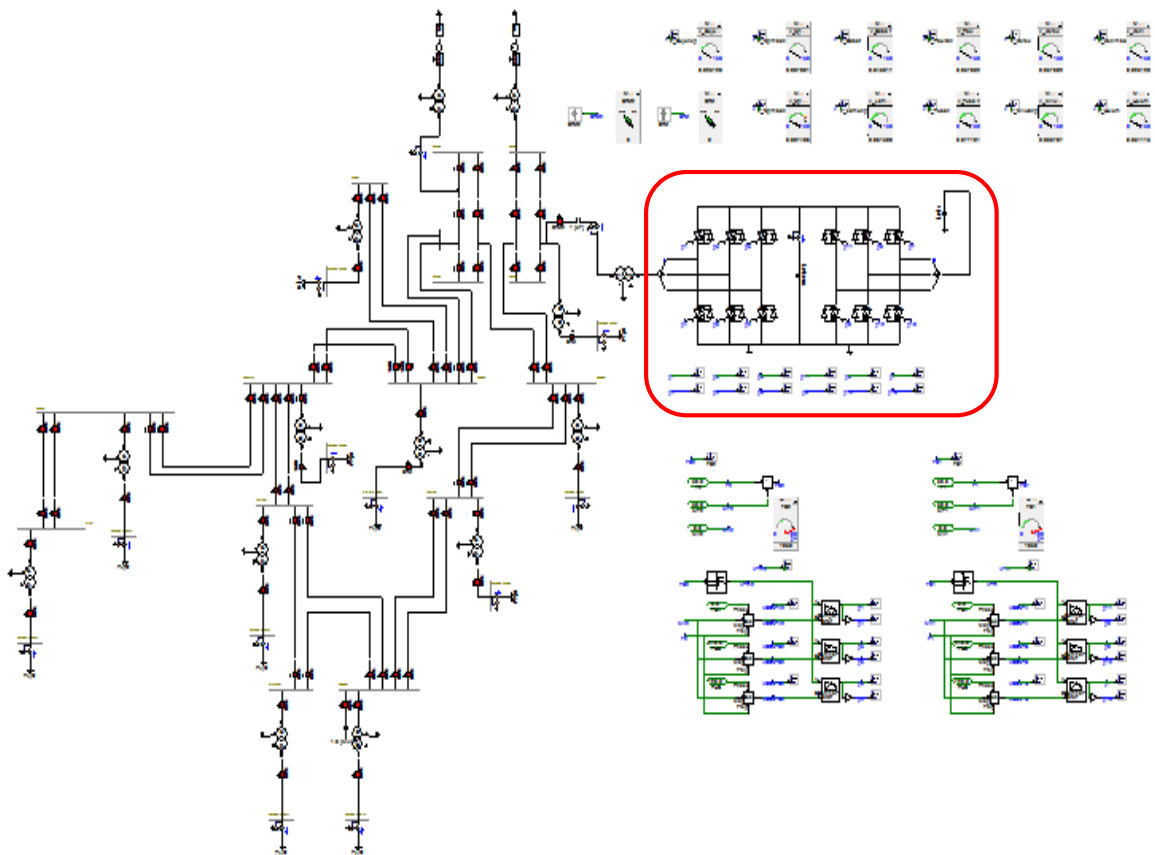
4.3 Penentuan Bus Kandidat *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Dalam penentuan kandidat bus yang akan ditempatkan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) dengan menggunakan menentukan profil tegangan yang mengalami pelanggaran tegangan diluar margin yang diizinkan yaitu 0,9 p.u dan 1,05 p.u yang sudah ditentukan, namun pada Sistem Transmisi Subsistem Ngimbang 150 kV sendiri sudah berkondisi normal yang diperoleh dari perusahaan sehingga Pada program simulasi sistem dalam mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada *Software PSCAD/EMTDC V4.5 Power Simulation* dapat ditentukan sendiri tetapi sebaiknya mengacu pada indek rugi-rugi daya pemilihan kandidat bus tergantung pada tujuan yang akan dicapai penentuan kandidat bus hanya dilakukan jika terdapat jatuh

tegangan (*Voltage Drop*), sehingga penentuan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) di tempatkan pada masukan awal saluran transmisi pada Subsistem Ngimbang 150 kV.

Pada saat program dijalankan akan memilih kandidat bus yang tersedia pada tabel 4.2 yang telah diperoleh dari perusahaan dan menyeleksi lokasi paling optimal yang akan diimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) untuk meminimalkan rugi-rugi sistem dan meningkatkan kestabilan tegangan.

4.3.1 *Single Line Diagram* Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV dengan Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)



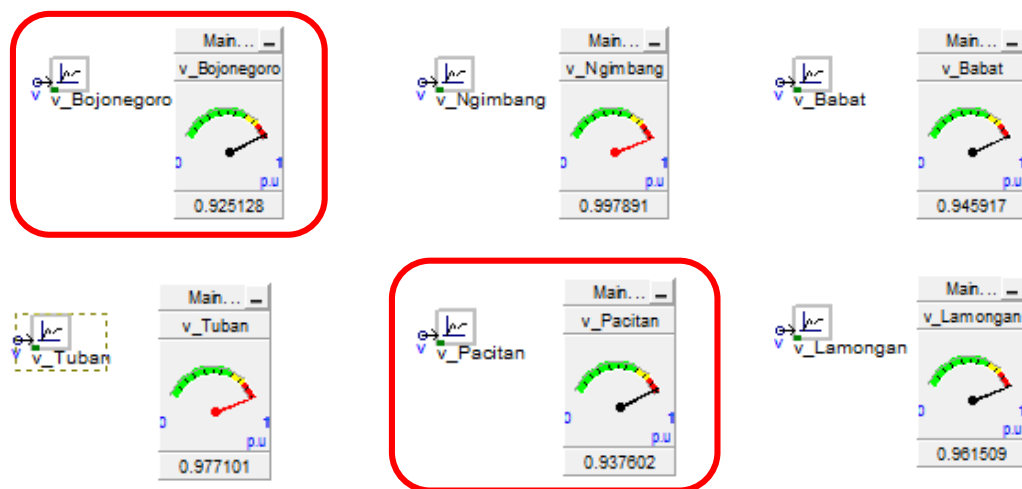
Gambar 4.12 *Single Line Diagram* Sistem Konfigurasi Subsistem Ngimbang 150 kV dengan Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

4.3.2 Hasil Simulasi Sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Tabel 4.4 Profil Tegangan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

NAMA BUS	BUS ID	TEGANGAN (p.u)
Ngimbang	BUS_1	0,9978
Ngimbang	BUS_2	0,9874
Babat	BUS_3	0,9459
Bojonegoro	BUS_4	0,9253
Lamongan	BUS_5	0,9615
Paciran	BUS_6	0,9376
Tuban	BUS_7	0,9771
Kerek	BUS_8	0,9376
Mliwang	BUS_9	0,9667
Kenimbang	BUS_10	0,9251
Holcm	BUS_11	0,9511

Berdasarkan hasil profil tegangan pada tabel diatas telah diketahui mengalami perubahan level tegangan yang signifikan pada tabel berwarna merah yaitu pada *Bus Bojonegoro* dan *Bus Paciran* dalam kondisi sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) saat sistem beroperasi, sebagian besar sistem mengalami peningkatan yang signifikan, sehingga berpengaruh meningkatkan kestabilan tegangan dan dalam meminimalkan rugi-rugi sistem.



Gambar 4.13 Hasil Simulasi Pada *Parameter Control Panel*

Tabel 4.5 Rugi-Rugi Sistem Sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

DARI	KE	<i>P Losses</i>	<i>Q Losses</i>
		(MW)	(MVar)
BUS_1 (Ngimbang)	BUS_2 (Ngimbang)	0,005	0,009
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_3 (Babat)	0,006	0,01
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_7 (Tuban)	0,005	0,006
BUS_3 (Babat)	BUS_4 (Bojonegoro)	0,013	0,021
BUS_3 (Babat)	BUS_5 (Lamongan)	0,017	0,023
BUS_3 (Babat)	BUS_10 (Kenimbang)	0,012	0,028
BUS_5 (Lamongan)	BUS_6 (Paciran)	0,049	0,007
BUS_7 (Tuban)	BUS_8 (Kerek)	0,152	0,576
BUS_8 (Kerek)	BUS_9 (Mliwang)	0,015	0,031
BUS_9 (Mliwang)	BUS_10 (Kenimbang)	0,242	1,833
BUS_9 (Mliwang)	BUS_11 (Holcm)	0,08	0,159
Rugi-Rugi Total		0,591	2,703

Berdasarkan hasil rugi-rugi sistem pada tabel diatas telah diketahui yang mengalami perubahan dalam kondisi sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) saat sistem beroperasi, sebagian besar mengalami perbedaan yang signifikan. dalam *P Losses* sendiri mengalami penurunan dan untuk *Q Losses* mengalami kenaikan namun juga ada yang mengalami penurunan, sehingga berpengaruh dalam meningkatkan kestabilan tegangan dan meminimalkan rugi-rugi sistem.

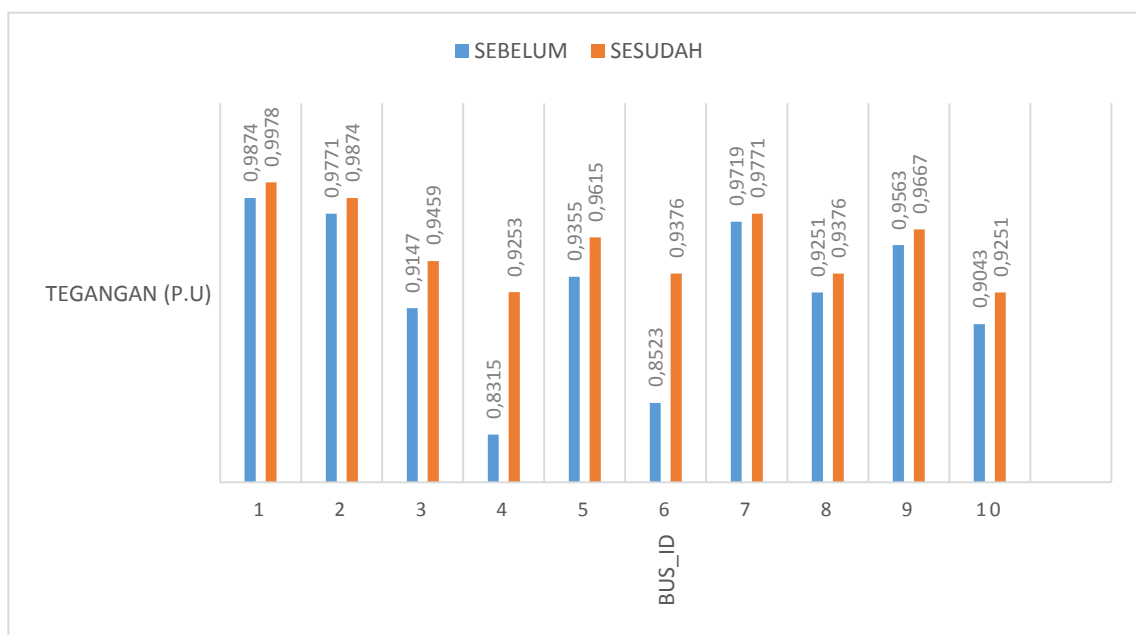
4.4 Hasil Perbandingan Simulasi Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Tabel 4.6 Profil Tegangan Sebelum Dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

NAMA BUS	BUS ID	TEGANGAN (p.u)	
		SEBELUM	SESUDAH
Ngimbang	BUS_1	0,9874	0,9978
Ngimbang	BUS_2	0,9771	0,9874
Babat	BUS_3	0,9147	0,9459

Bojonegoro	BUS_4	0,8315	0,9253
Lamongan	BUS_5	0,9355	0,9615
Paciran	BUS_6	0,8523	0,9376
Tuban	BUS_7	0,9719	0,9771
Kerek	BUS_8	0,9251	0,9376
Mliwang	BUS_9	0,9563	0,9667
Kenimbang	BUS_10	0,9043	0,9251
Holcm	BUS_11	0,9147	0,9511

Berdasarkan hasil profil tegangan pada tabel diatas telah diketahui kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC), sebagian besar sistem mengalami peningkatan yang signifikan terjadi pada tabel berwarna merah yaitu *Bus Bojonegoro* dan *Bus Paciran* sekitar 0,8 sampai 0,9 p.u, sehingga sangat berpengaruh dalam meningkatkan kestabilan tegangan dan meminimalkan rugi-rugi sistem.



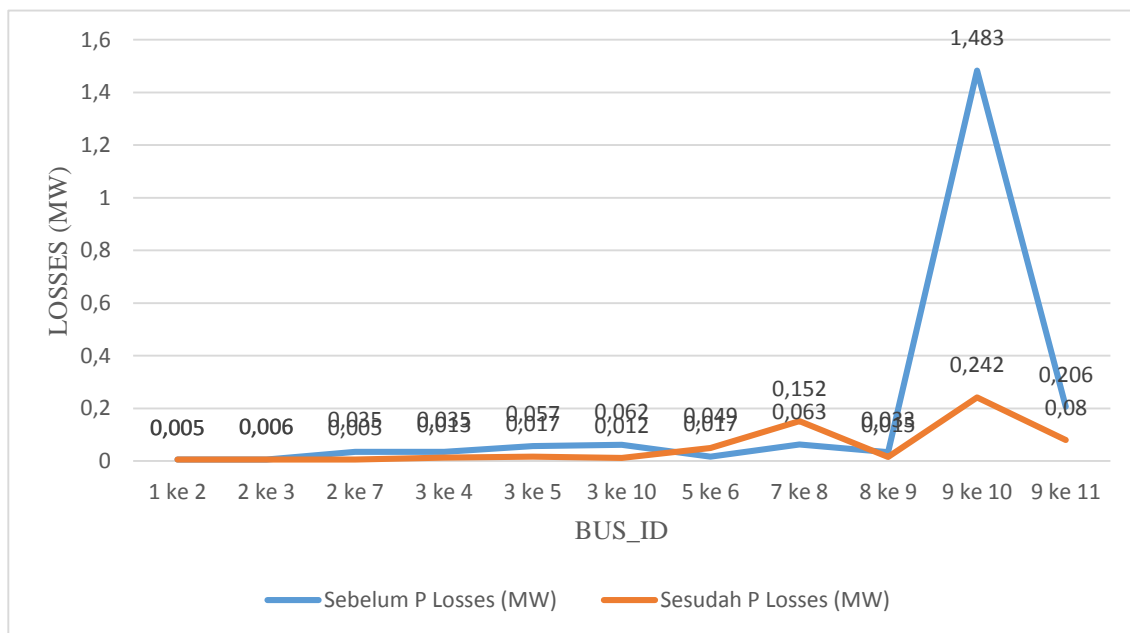
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Berdasarkan grafik perbandingan diatas hasil profil tegangan telah diketahui kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang mana sistem mengalami peningkatan yang signifikan terjadi pada yaitu *Bus Bojonegoro* dan *Bus Paciran*.

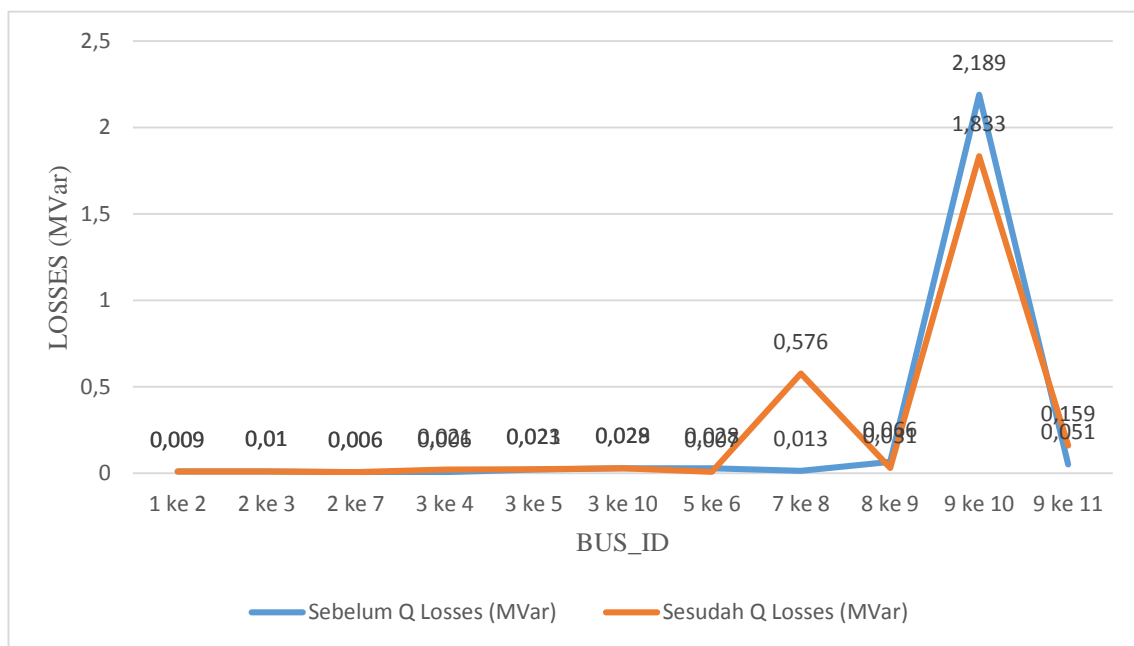
Tabel 4.7 Rugi-Rugi Sistem Sebelum dan Sesudah Menggunakan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

DARI	KE	SEBELUM		SESUDAH	
		P Losses	Q Losses	P Losses	Q Losses
		(MW)	(MVar)	(MW)	(MVar)
BUS_1 (Ngimbang)	BUS_2 (Ngimbang)	0,005	0,009	0,005	0,009
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_3 (Babat)	0,006	0,01	0,006	0,01
BUS_2 (Ngimbang)	BUS_7 (Tuban)	0,035	0,006	0,005	0,006
BUS_3 (Babat)	BUS_4 (Bojonegoro)	0,035	0,006	0,013	0,021
BUS_3 (Babat)	BUS_5 (Lamongan)	0,057	0,021	0,017	0,023
BUS_3 (Babat)	BUS_10 (Kenimbang)	0,062	0,029	0,012	0,028
BUS_5 (Lamongan)	BUS_6 (Paciran)	0,017	0,028	0,049	0,007
BUS_7 (Tuban)	BUS_8 (Kerek)	0,063	0,013	0,152	0,576
BUS_8 (Kerek)	BUS_9 (Mliwang)	0,033	0,066	0,015	0,031
BUS_9 (Mliwang)	BUS_10 (Kenimbang)	1,483	2,189	0,242	1,833
BUS_9 (Mliwang)	BUS_11 (Holcm)	0,206	0,051	0,08	0,159
Rugi – Rugi Total		2,002	2,386	0,591	2,703

Berdasarkan hasil tabel rugi-rugi sistem pada tabel diatas telah diketahui yang mengalami perubahan dalam kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC), sebagian besar sistem mengalami perbedaan yang signifikan. Dalam P Losses sendiri mengalami penurunan sekitar 0,3 MW dan untuk Q Losses mengalami kenaikan namun juga ada yang mengalami penurunan sekitar 0,1 sampai 0,5 MVar.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Sistem P Losses (MW) Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Rugi-Rugi Sistem Q Losses (MVar) Sebelum dan Sesudah Mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC)

Berdasarkan grafik perbandingan di atas hasil rugi-rugi sistem P Losses (MW) dan Q Losses (MVar) telah diketahui kondisi sebelum dan sesudah mengimplementasikan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang mana sistem mengalami penurunan dan kenaikan yang signifikan terjadi pada *Bus Bojonegoro* dan *Bus Paciran*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian sistem sebelum pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) yang tidak sesuai dengan standart yaitu $0,9 \leq 1,05$ p.u terjadi pada Bojonegoro yaitu 0,8315 p.u, 0,035 MW, dan 0,006 MVar dan pada Paciran 0,8523 p.u, 0,017 MW, dan 0,028 Mvar sehingga sistem mengalami Penurunan (*Voltage Drop*) yang signifikan.
2. Berdasarkan hasil pengujian sistem sistem sesudah pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) sistem mengalami peningkatan yang signifikan pada Bojonegoro yaitu 0,9253 p.u, 0,013 MW, 0,021 MVar, dan pada Paciran 0, 9376 p.u, 0,049 MW, dan 0,007 MVar sehingga sistem mengalami perubahan yang signifikan.
3. Implementasi *Unified Power Flow Controller* (UPFC) pada Subsistem Ngimbang 150 kV menggunakan data lapangan, sehingga dapat meningkatkan kestabilan tegangan yang disimulasikan di program *Software* PSCAD/EMTDC V4.5 *Power Simulation*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikemukakan agar aplikasi ini bisa berfungsi lebih baik adalah :

1. Pemasangan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) selanjutnya diharapkan dapat diperhitungkan dari sisi ekonomisnya.
2. Kurang efisiensi bagi perusahaan karena harga dalam kehidupan nyata masih tergolong mahal.
3. Penggunaan metode-metode yang baru dalam study UFLS yang dapat menganalisis sistem dan menentukan cara masih kurang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar. Agus, Kuwara. S , “*Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*”, jilid II, Penerbit PT. Pradnya Paramitha, Jakarta, 1979.
- [2] Cekdin Cekmas. (2006). “*Sistem Tenaga Listrik*”. Yogyakarta : Penerbit Andi
- [3] Darmawan, agung, “*Studi Stabilitas Transient Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Kriteria Luas Sama*”. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya : JPTE FT Unesa, 2002.
- [4] Erviana, Mira. (2012). “*Optimasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya*”, Universitas Diponegoro : Semarang
- [5] Edvina Uzunovic, Claudio A Canzares, Jhon Reeve, “*Fundamentanl Frequency Model Of Unified Power Flow Controller*”, North American Power Symposium (NAPS), Cleveland, Ohio, Pp 294-299, October 1998.
- [6] Gyugyi L, “*Unified power flow control concept for FACTS*”. IEEE Con. Proc. Gen. Trans. Distr. 139(4):323-331, (1992).
- [7] Gyugyi L, C D Schauder, S L Torgerson And A Edris, “*The Unified Power Flow Controller: A New Approach To Power Transmission Control*”.IEEE Transactions On Power Delivery, Vol 10, No 2, P 1088, 1995.
- [8] Hutauruk. T.S, “*Transmisi Daya Listrik. Jakarta*” : Erlangga, 1985.
- [9] <http://ugmmagatrika.wordpress.com/2014/04/26/pengenalan-stat-keamanan-dioperasikan-sistem-tenaga-listrik-secara-kontingensi-menggunakan-indeks-performa/daya>
- [10] Kundur, Prabha, “*Power System Stability And Control*”. Mc Graw-Hill Inc, (1994).
- [11] M. Ahmadi, M. Alinezhad, H. Lesani, N. Talebi, “*Comparison Of SVC, STATCOM, TCS, And UPFC Controller For Static Voltage Stability Evaluated By Continuation Power Flow Method*”, IEEE Electrical Power & Energy Conference, 2008.
- [12] N.G.Hingorani, “*High Power Electronics*”, Scientific American, November 1993.
- [13] N. P, Pahdely, M. A. A. Moamen “*Power Flow And Solution With Multiple And Multi-Type FACTS Devices*”, Electric Power System Research 74, Pp. 341-351, 2005.
- [14] *Power System Computer Aided Design And Electromagnetic Transient Direct Current.*

- [15] Zhang Xiao-Ping, Bikash Pal, And Christian Rehtanz, “FACTS-Devices Applications, “*In Flexibel AC Transmission System : Modelling And Control*, First Edition Ed. New York : Sprienger, p. 2, 2006.



LAMPIRAN

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : DONNY WAHYUDI
NIM : 13.12.029
Jurusan / Konsentrasi : Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energi Listrik S-1
ID KTP / Paspor : 3574030807940001
Alamat : Jl. Sunan Kalijogo Gang^{III}/59, RT 002, RW 001, Kelurahan Jati
Kecamatan Mayangan, Kota Probolinggo, Provinsi Jawa Timur
Judul Skripsi : Implementasi Unified Power Flow Controller (UPFC) Untuk
Meningkatkan Kestabilan Tegangan Dan Meminimalkan Rugi -
Rugi Sistem Pada Subsistem Ngimbang 150 kV.

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

Apabila ternyata di dalam skripsi inidapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 07 September 2017

Yang Membuat Pernyataan



DONNY WAHYUDI
NIM. 13.12.029



PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini:

Nama : Donny wahyudi
 N I M : 1312029
 Semester : VIII (Delapan)
 Fakultas : Teknologi Industri
 Jurusan : Teknik Elektro S-I
 -Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
 TEKNIK ELEKTRONIKA
 TEKNIK KOMPUTER
 TEKNIK TELEKOMUNIKASI
 Alamat : Jl. Raya Karanglo KM. 2 Tasikmadu (Kost Palem Asri)

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat SKRIPSI Tingkat Sarjana. Untuk melengkapi permohonan tersenut, bersama ini kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan- persyaratan pengambilan SKRIPSI adalah sebagai berikut:

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya | (<u>Am</u>) |
| 2. Telah lulus dan menyerahkan laporan Praktek Kerja | (<u>Am</u>) |
| 3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB)sesuai konsentrasinya | (<u>Am</u>) |
| 4. Telah menempuh matakuliah > 134 sks dengan IPK > 2 dan tidak ada nilai E | (<u>Am</u>) |
| 5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar Skripsi yang diadakan Jurusan | (<u>Am</u>) |
| 6. Memenuhi persyaratan administrasi | (.....) |

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenarannya data tersebut diatas
 Recording Teknik Elektro S-I

M. Mulyati
 (.....M. Mulyati.....)
 14/2/17

Malang,.....201

Pemohon

Donny Wahyudi
 (.....Donny Wahyudi.....)

Disetujui
 Ketua Jurusan Teknik Elektro S-I

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

Mengetahui
 Dosen Wali

Ni Puru Nugraha
 (.....Ni Puru Nugraha.....)

Catatan:


Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Jurusan T. elektro S-I

- 1 - sks = 130 / 3.50 Am.....
- 2 -> Pelatihan masih belum dilaksanakan? Am.....
- 3

**BERITA ACARA RAPAT PERSETUJUAN JUDUL/PROPOSAL SKRIPSI
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
SEMESTER GANJIL 2015/2016**

Konsentrasi :

Tanggal :

1	NIM	1312029
2	Nama	Donny Wahyudi
3	Judul yang diajukan	Optimalisasi Penempatan Unified Power Flow Controller (UPFC) untuk meningkatkan kestabilan tegangan di PT PLN Probolinggo
4	Disetujui/Ditolak*	
5	Catatan: Ada perubahan judul seperti di bawah.	
6	Pembimbing yang diusulkan: 1. Prof. Dr. Eng Ir Herryanto L. 2. Laili.	
Menyetujui 1. Koordinator/Dosen Kelompok Keahlian a.n.  Dosen Kelompok Keahlian (Terlampir)		

* : Coret yang tidak perlu



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65146
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

28 Februari 2017

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSSE**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Donny Wahyudi
Nim : 1312029
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

“Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017”

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1



M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358





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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor Surat : ITN-085/EL-FTI/2017
Lampiran : -
Perihal : BIMBINGAN SKRIPSI (Baru)

28 Februari 2017

Kepada : Yth. Bapak/Ibu **Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT**
Dosen Teknik Elektro S-1
ITN MALANG

Dengan Hormat

Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa:

Nama : Donny Wahyudi
Nim : 1312029
Fakultas : **Teknologi Industri**
Program Studi : **Teknik Elektro S-1**
Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/i selama masa waktu :

" Semester Genap Tahun Akademik 2016-2017 "

Demikian atas perhatian serta bantuannya kami sampaikan terima kasih.



Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

M. Ibrahim Ashari, ST, MT

NIP.P. 1030100358





BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1


KONSENTRASI	T. ENERGI LISTRIK S1			
1.	Nama Mahasiswa	Donny Wahyudi	NIM 1312029	
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	
	Pelaksanaan		Tempat / Ruang	
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang *)			
	a.	Sistem Tenaga Elektrik	e. Embbeded System	
	b.	Konversi Energi	f. Antar Muka	
	c.	Sistem Kendali	g. Elektronika Telekomunikasi	
	d.	Tegangan Tinggi	h. Elektronika Instrumentasi	
		i.	Sistem Informasi	
		j.	Jaringan Komputer	
		k.	Web	
		l.	Algoritma Cerdas	
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	OPTIMALISASI PENEMPATAN UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN KESETABILAN TEGANGAN DI PT PLN PROBOLINGGO *		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	Implementasi UPFC untuk meningkatkan rugi-rugi & membuat kestabilan tegangan di PT. PLN Probolinggo		
6.	Catatan :			
			
7.	Catatan :			
			
Persetujuan Judul Skripsi				
	Disetujui, Dosen Keahlian I		Disetujui, Dosen Keahlian II	
	Dr. Ir. Irrine Budi S., ST., MT		Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT	
	Mengetahui, Ketua Jurusan		Disetujui, Calon Dosen Pembimbing	
			Pembimbing I	
	M. Ibrahim Ashari, ST, MT NIP. P. 1030100358			
		Pembimbing II		
		Lauhi Hayusman, ST., MT		

Keterangan :

*) dilingkari a, b, c, sesuai dengan bidang keahlian



BERITA ACARA SEMINAR PROGRESS SKRIPSI PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1

KONSENTRASI		T. Energi Listrik S1		
1.	Nama Mahasiswa	Donny Wahyudi	NIM	1312029
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat / Ruang
	Pelaksanaan	7 April 2017		
3.	Judul Skripsi	OPTIMALISASI PENEMPATAN UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN KESETABILAN TEGANGAN DI PT PLN PROBOLINGGO		
4.	Perubahan Judul	ok		
5.	Catatan :			
	publisk s. RB Surabaya			
6.	Mengetahui, Ketua Jurusan.		Disetujui, Dosen Pembimbing	
			Pembimbing I	Pembimbing II
	M. Ibrahim Ashari, ST, MT		Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSSE	Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu

Tanggal : 23 Agustus 2017

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Donny Wahyudi

NIM : 13.12.029

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Kesimpulan diganti dengan hasil pengujian program	
2	Kesimpulan nomor a, b, dan c dihilangkan, diganti angka	
3	Sempurnakan flowchart	

Dosen Penguji I

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

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT
NIP. P. 1031400472





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaiki 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 : DONNY WAHYUDI
NIM : 1312029
Perbaikan meliputi :

1. Hasil eksekusi data lapangan dengan PSCAD dihasilkan ~~dan~~ rugi-rugi daya aktif turun tetapi daya reaktif naik, berikan analisa secara teori kenapa?
2. Kesimpulan nomor a, b dan c dihilangkan dan diganti hasil pengujian program.
3. Deskripsi pada flowchart dilengkapi.

Malang, 23-8-2017



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Rabu

Tanggal : 23 Agustus 2017

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Donny Wahyudi

NIM : 13.12.029

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV**

No	Materi Perbaikan	Paraf
1	Berikan kata pengantar	
2	Kesimpulan diberikan penjelasan dari hasil pengujian	
3	Sempurnakan saran dan masukan	

Dosen Penguji II

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

Dosen Pembimbing I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP. Y. 1018500108

Dosen Pembimbing II

Lauhil Mahfudz Hayusman, ST, MT
NIP. P. 1031400472



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formullr 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 :
N I M :
Perbaikan meliputi :

- tambahkan kata pengantar

- kesapa bany

- kesimpulan no 11. Pengele
b' Penerimaan / penerima

- sama / uraian

Matang,

(_____)



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Donny Wahyudi
NIM : 13.12.029
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC) UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV**

Dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Skripsi jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 23 Agustus 2017
Dengan Nilai : 72,5 (B+) *fm*

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 197706152005012002

Sekretaris Majelis Penguji

Dr. Eng. I Komang Somawirata, ST, MT
NIP.Y. 1028700172

Anggota Penguji

Penguji I

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

Penguji II

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



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

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

SURAT KETERANGAN
Nomor: ITN-308/EL-FTI/2017

Yang bertandatangan dibawah ini, Ketua Jurusan Teknik Elektro S1:

Nama : Dr Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP : 19770615 200501 2 002
Jabatan : Ketua Jurusan T. Elektro S1

Menerangkan bahwa mahasiswa ITN Malang atas nama:

Nama : Donny Wahyudi
NIM : 1312029
Jurusan : T. Elektro S1
Konsentrasi : T. Energi Listrik S1

Adalah mahasiswa T. Elektro S1 yang telah melaksanakan ujian Skripsi pada hari Rabu tanggal 23 Agustus 2017 dengan judul:

**IMPLEMENTASI *UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER* (UPFC)
UNTUK MENINGKATKAN KESTABILAN TEGANGAN DAN
MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM PADA SUBSISTEM
NGIMBANG 150 KV**

dan dinyatakan **LULUS**.

Demikian surat keterangan ini kami buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 10 Agustus 2017

Ketua
Program Studi Teknik Elektro S-1



Dr Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT
NIP. 19770615 200501 2 002



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor : ITN-2013/EL-FTI/2017 19 April 2017
 Lampiran : -
 Perihal : Survey Pengambilan Data Skripsi
 Kepada : Yth.Bp. **Manager Keuangan, SDM dan Administrasi PT. PLN (PERSERO) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali**
 di – Kabupaten Sidoarjo

Dengan hormat,

Bersama ini kami mohon kebijaksanaan Bapak/Ibu agar mahasiswa kami dari Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi T. Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang dapat diijinkan untuk melakukan survey dalam rangka pengambilan data skripsi, mulai tanggal 27 April 2017 sampai dengan 27 Juni 2017.

Mahasiswa tersebut adalah:

No	Nama	NIM
1.	Donny Wahyudi	1312029
2.	Angga Budi P.	1312035
3.		
4.		

Demikian atas perhatian dan kebijaksanaannya kami ucapkan terima kasih.

Ketua
 Program Studi Teknik Elektro S-1



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



**PT PLN (PERSERO)
TRANSMISI JAWA BAGIAN TIMUR DAN BALI**

Jl. Suningrat No. 45 Taman, Sidoarjo 61257
Telepon : (031) 7882113
Facsimile : (031) 7882578

Website : <http://www.pln.co.id>

Nomor : 0157/SDM.03.03/TJBTB/2017
Surat Sdr. :
Sifat : Segera
Lampiran : -
Perihal : Persetujuan Penelitian
Tugas Akhir

08 MAY 2017

KEPADA :
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG**
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
Jl Raya Karanglo, Km No.2
Malang

U. p Yth. Ketua,

Menunjuk surat Ketua Program Studi Teknik Elektro Nomor : ITN-2013/EL-FTI/2017 tanggal 19 April 2016 perihal Survey Pengambilan Data Skripsi, atas nama :

No	Nama	NIM
1.	Donny Wahyudi	1312029
2.	Angga Budi P.	1312035

Dengan ini diinformasikan, bahwa kami tidak keberatan menerima mahasiswa tersebut di atas untuk melaksanakan Penelitian Tugas Akhir di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

Penelitian Tugas Akhir yang dimaksud di Bidang Konstruksi dan Pemeliharaan, dan pelaksanaannya mulai tanggal 08 Mei s.d 08 Juli 2017.

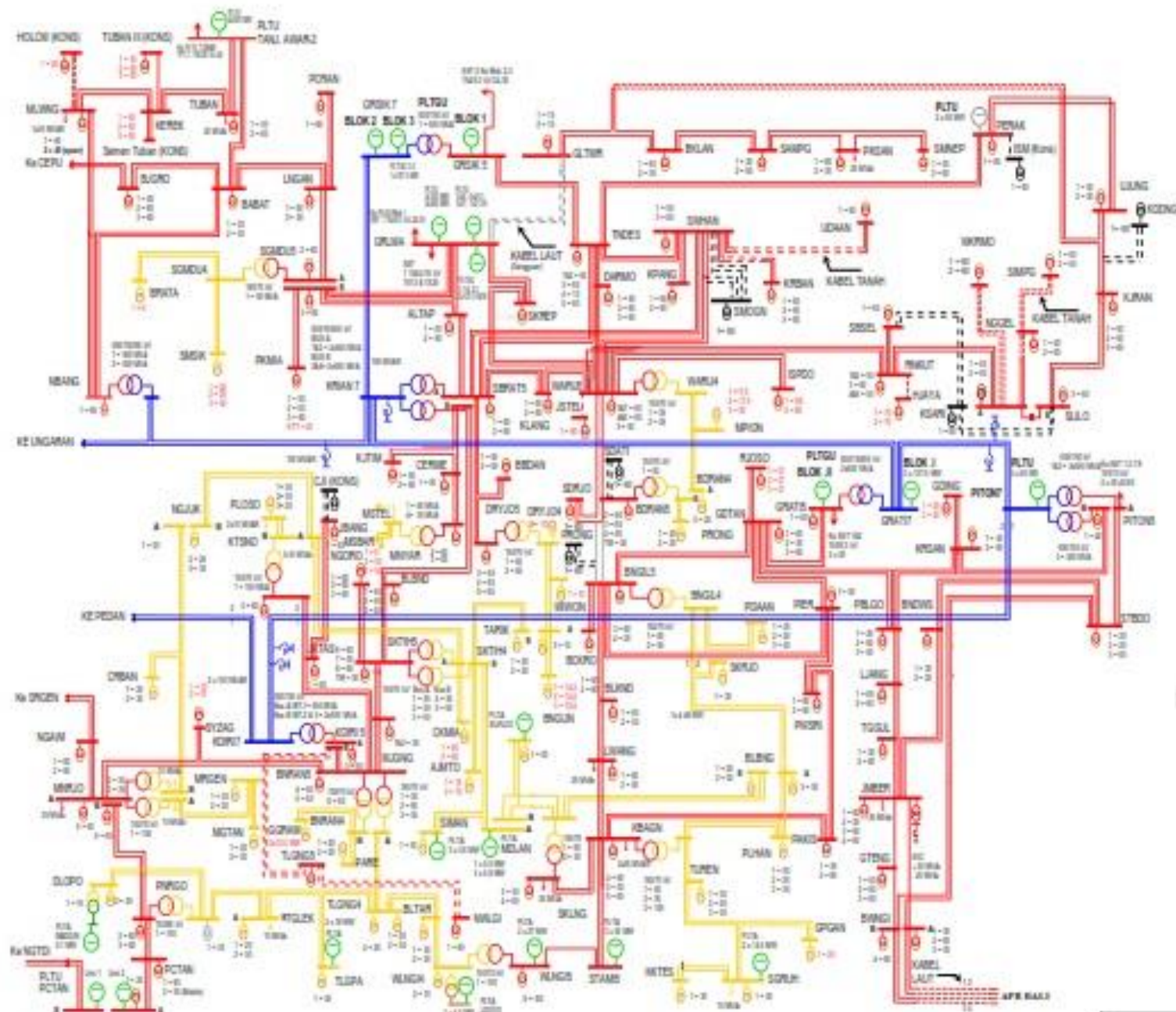
Selama Kegiatan Penelitian Tugas Akhir yang bersangkutan diwajibkan mematuhi semua peraturan dan tata tertib yang berlaku di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali serta menandatangani surat Pernyataan (*terlampir*) dan diserahkan ke Sub Bidang SDM.

Demikian disampaikan, atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

**PLH MANAJER
KEUANGAN, SDM DAN ADMINISTRASI
DM ANGGARAN DAN KEUANGAN**

ISKONIK

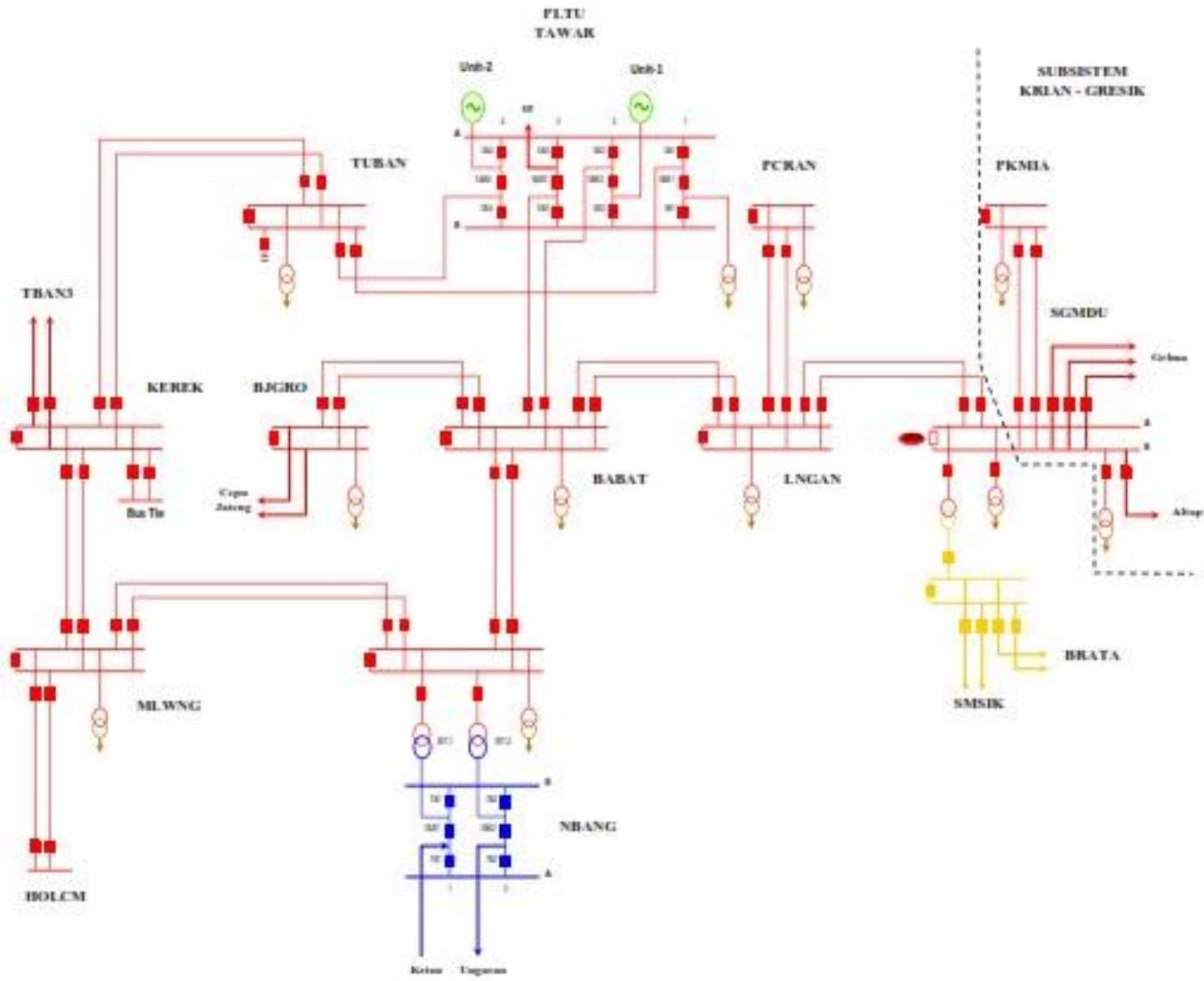
KONFIGURASI JARINGAN JAWA TIMUR



REVISI 01/2018

DIGAMBAR	DIPERIKSA	DIBETUJUI
DWI AJENG M	NURHAYADI	MUNAWWAR F

KONFIGURASI SUBSISTEM NGIMBANG



DIGAMBAR	DIPERIKSA	DSETUJUI
DWE AJENG M	NURHAYADI	MUNAWWAR F

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kota Probolinggo, Jawa Timur pada tanggal 08 Juli 1994 dari Bapak Syafi'i dan Ibu Endang Hartatik. Penulis memulai pendidikan pada tahun 2002 di SD Negeri Sukoharjo II Kota Probolinggo dan lulus dari pendidikan SD pada tahun 2007. Pertengahan tahun 2007 penulis menempuh pendidikan di SMP Negeri 3 Kota Probolinggo hingga tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMK Negeri 2 Kota Probolinggo dengan bidang studi jurusan Teknik Instalasi Tenaga Listrik mulai tahun 2010 dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi Institut Teknologi Nasional Malang. Penulis memilih Program Studi Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri dan diwisuda pada tanggal 30 September 2017, dengan judul

skripsi **“IMPLEMENTASI UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (UPFC) UNTUK MEMINIMALKAN RUGI-RUGI SISTEM DAN MENINGKATKAN KESTABILAN PADA SUBSISTEM NGIMBANG 150 KV“**. Selama menjabat sebagai mahasiswa, penulis memiliki pengalaman pernah mengikuti Pelatihan ETAB di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Elektrik (SSTE) di Institut Teknologi Nasional Malang. Pada tahun 2015 penulis Panitia Studi Lapangan di PLTMH Sumber Maron Malang dan Penerima Dana Hibah DIKTI PKM-KC. Pada tahun 2016 penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkitan Brantas dan melakukan penelitian sekaligus laporan berjudul **“SISTEM AVR (AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR) DI PT PEMBANGKITAN JAWA BALI UNIT PEMBANGKITAN BRANTAS”**.