



## LAPORAN PENELITIAN

### Minimisasi Rugi Daya Aktif Dengan Pemasangan UPFC Pada Saluran Transmisi

oleh :

**Hansi Effendi, S.T.**  
**Oriza Candra, S.T., M.T.**

NO. SKRIPSI	11.0001.0001.0001.0001
TANGGAL	9-2-2010
KELOMPOK / KEMUKAWANAN	HD
KOLEKSI	KI
NO. INVENTARIS	64/Hd/2010-m.1(1)
ABSTRAKSI	621.31 Efe m ①

Penelitian ini dibiayai oleh :  
Dana DIPA Universitas Negeri Padang Tahun Anggaran 2007  
Surat Perjanjian Kontrak Nomor  
802/H35/KU/DIPA/2007 Tanggal 26 Maret 2007

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**  
**2007**

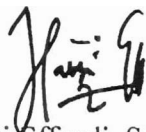
**LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN  
LAPORAN PENELITIAN**

1. a. Judul Penelitian : Minimisasi Rugi Daya Aktif Dengan Pemasangan  
UPFC Pada Saluran Transmisi
- b. Bidang Ilmu : Sistem Tenaga Listrik
2. Personalia
  - a. Ketua Peneliti  
Nama Lengkap Hansi Effendi, S.T.  
Pangkat/Gol/NIP Penata Muda /III.a/132300002  
Fakultas/Jurusan Teknik / Teknik Elektro
  - b. Anggota Peneliti  
Nama Lengkap Oriza Candra, M.T.  
Pangkat/Gol/NIP Penata Muda /III.a/132232490  
Fakultas/Jurusan Teknik / Teknik Elektro
3. Laporan Penelitian : Telah direvisi sesuai saran pereviu

Padang, 28 November 2007

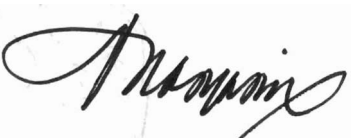


Ketua Peneliti,

  
Hansi Effendi, S.T.  
NIP. 132300002

Mengetahui :

Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Negeri Padang,

  
Prof. Dr. H. Anas Yasin, M.A.  
NIP. 130365634

## PENGANTAR

Kegiatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Sehubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bekerjasama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian tentang *Minimisasi Rugi Daya Aktif dengan Pemasangan UPFC pada Saluran Transmisi*, berdasarkan Surat Perjanjian Kontrak Nomor : 802/H35/KU/DIPA/2007 Tanggal 26 Maret 2007.

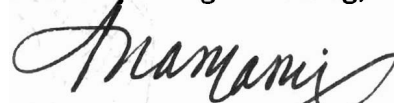
Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang akan dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, kemudian untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkat Universitas. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, dan tim pereviu Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberi bantuan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang terjalin selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasama yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, November 2007  
Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Negeri Padang,



Prof. Dr.H. Anas Yasin, M.A.  
NIP. 130365634

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
ABSTRAK .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Perumusan Masalah .....	2
C. Pembatasan Masalah .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Pendahuluan .....	3
B. Prinsip Kerja UPFC .....	4
C. Model Injeksi Daya UPFC .....	5
D. Representasi UPFC untuk Aliran Daya .....	8
E. Persamaan Aliran Daya .....	9
F. Batasan Perangkat UPFC .....	10
G. Formasi Admitansi Bus .....	12
H. Rugi Daya Saluran .....	14

<b>BAB III</b>	<b>TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	
	A. Langkah – Langkah Penelitian .....	17
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
	A. Data Saluran Transmisi dan Beban .....	18
	B. Hasil dan Pembahasan Penelitian .....	19
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
	A. Kesimpulan .....	26
	B. Saran .....	26
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>27</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>28</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. UPFC yang dipasang pada system tenaga .....	3
Gambar 1.2. Diagram satu garis saluran transmisi .....	4
Gambar 1.3. Bagian seri UPFC ke dalam dua penginjeksian daya .....	5
Gambar 1.4. Rangkaian ekivalen model injeksi UPFC .....	6
Gambar 1.5. Formasi admintans bus dengan penempatan UPFC .....	12
Gambar 1.6. Rangkaian Saluran transmisi dengan model $\pi$ .....	14
Gambar 1.7. Diagram satu garis saluran transmisi dengan penempatan UPFC .....	15
Gambar 5.1. Grafik hasil simulasi rugi –rugi daya aktif total pada saluran transmisi sebelum dan sesudah pemasangan UPFC .....	23

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1. Tabel 5.1. data saluran transmisi .....	18
Tabel 5.2. Data pusat beban .....	19
Tabel 5.3. Aliran daya dan rugi daya saluran sebelum pemasangan UPFC .....	22
Tabel 5.4. Aliran daya dan rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC UPFC untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Koto Panjang Bengkinang .....	23
Tabel 5.5. Aliran daya dan rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC UPFC untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Maninjau - Padang Luar .....	24

# **Minimisasi Rugi Daya Aktif Dengan Pemasangan UPFC Pada Saluran Transmisi**

**Hansi Effendi, Oriza Candra**  
Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Negeri Padang

## **ABSTRACT**

The power losses of transmission line the electrical power systems can be minimized by optimizing of power flow through the transmission line using by the *Unified Power Flow Controller* (UPFC). The UPFC equipment can to control the power flow by active power absorbtion.

The research investigate the great impact of UPFC to control the power flow and minimizing the total systems power losses. The UPFC power injecting models to the transmission line made in an equation of power flow and can be incorporated with power flow solutions of Newton-Raphson methods.

Software *MATLAB-PSAT* used to execute of the power flow control of UPFC to the transmission line. Examination was done at an electrical power system of *Sumbar-Riau*. Examination result show using of UPFC of transmission line can minimizing the total active power losses of transmission line by magnitude 13.46 % and 17.75 % and by magnitude voltage variation 98.88% - 100.012 %.

**Key word** : *UPFC, power flow of Newton-Raphson methods, power flow of transmission line, total active power losses of transmission line minimisation*



## **Minimisasi Rugi Daya Aktif Dengan Pemasangan UPFC Pada Saluran Transmisi**

**Hansi Effend', Oriza Candra**  
Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Negeri Padang

### **ABSTRAK**

Rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi pada sistem tenaga listrik dapat diminimisasi dengan cara mengoptimalkan aliran daya yang melewati saluran dengan menggunakan pengendali aliran daya terpadu (UPFC). Perangkat UPFC dapat mengendalikan aliran daya melalui penyerapan daya aktif.

Penelitian ini menyelidiki pengaruh UPFC untuk mengendalikan aliran daya dan meminimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi. Model injeksi daya UPFC ke saluran transmisi dibuat dalam suatu persamaan aliran daya dan dapat digabungkan kedalam solusi aliran daya metoda Newton-Raphson.

Perangkat lunak *MATLAB-PSAT* digunakan untuk mengeksekusi pengendalian aliran daya melalui UPFC ke saluran transmisi. Pengujian dilakukan pada sistem tenaga listrik Sumbar-Riau. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan UPFC pada saluran transmisi dapat meminimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi sebesar 13,46 % dan 17,75 % dan besar variasi tegangan antar 98,88% sampai dengan 100.012 %.

**Kata kunci :** *UPFC, aliran daya metoda Newton-Raphson, aliran daya saluran transmisi, minimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi*

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Aliran daya listrik yang melewati saluran transmisi daya merupakan fungsi reaktansi saluran, besar tegangan pada ke dua ujung saluran dan sudut fasa diantara tegangan itu. Jika terjadi perubahan beban pada keadaan mantap yang diakibatkan oleh beban yang bervariasi maka akan terjadi perubahan aliran daya dan selanjutnya menghasilkan perubahan besaran dan sudut fasa tegangan pada kedua ujung saluran. Kondisi perubahan kadang kala melewati batasan tegangan yang ditetapkan sehingga menimbulkan peningkatan rugi daya pada saluran dan aliran tidak optimal.

Metoda-metoda pengaturan dan perbaikan daya untuk memperbaiki besaran tegangan pada sistem transmisi daya telah banyak dikembangkan dan diaplikasikan. Kemajuan teknologi semikonduktor seperti tiristor daya tinggi dan keterkendalian komponen, menghasilkan perangkat yang mampu mengendalikan daya dan mudah disesuaikan terhadap system transmisi daya listrik atau disebut juga sebagai perangkat FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*). Berdasar kemampuan mengendalikan daya memungkinkan dilakukan pengendalian yang dapat menyediakan suatu kendali terhadap parameter saluran transmisi daya yaitu besar tegangan, sudut fasa, dan impedansi saluran.

Optimisasi aliran daya dengan menggunakan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) atau pengendali aliran daya terpadu pada dasarnya merupakan pengoptimalan pengendalian UPFC dengan sasaran untuk mengendalikan besar tegangan bus melalui injeksi daya reaktif dengan batasan kemampuan saluran dan perangkat kendali UPFC. Pertimbangan batasan diperlukan untuk menghasilkan minimisasi rugi daya tanpa melampaui batasan termal saluran dan rating perangkat UPFC.

Penelitian kinerja UPFC untuk mengendalikan aliran daya pada saluran transmisi daya listrik dapat dianalisis dari solusi aliran daya keadaan mantap.

Penelitian ini akan menyelidiki pengendalian aliran daya oleh UPFC dengan. Batasan kemampuan saluran transmisi dan kemampuan perangkat UPFC digunakan agar pengoptimalan aliran daya saluran menghasilkan rugi daya aktif sistem yang terminimisasi tanpa melalui batas termal saluran dan rating perangkat UPFC.

Pengaruh kuat UPFC untuk meminimisasi rugi daya aktif total sistem tenaga listrik dibuktikan dengan melakukan pengujian dengan mensimulasikan pemasangan UPFC pada saluran transmisi sistem tenaga listrik Sumbar-Riau.

### **B. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut :

1. Bagaimana injeksi daya UPFC dapat merubah aliran daya saluran transmisi.
2. Bagaimana hasil minimisasi rugi daya saluran transmisi dari variasi aliran daya dapat meminimisasi rugi daya total sistem tenaga listrik dibanding sebelum pemasangan UPFC.

Penyelesaian minimisasi dilakukan dengan mensimulasikan sistem kedalam perangkat lunak PSAT-MATLAB

### **C. Pembatasan Masalah**

Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran transmisi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Jika semakin besar rugi daya aktif saluran maka akan semakin besar sudut daya yang terjadi pada sistem sehingga untuk tujuan mengurangi susut daya pada sistem, rugi daya aktif saluran harus diminimalkan. Jadi yang dititik beratkan pada penelitian ini adalah minimisasi rugi daya aktif saluran transmisi sistem tenaga listrik Sumbar-Riau dengan menggunakan pengendalian aliran daya terpadu. Minimisasi rugi daya aktif sistem dilaksanakan dengan pengoptimalan aliran daya dari variasi aliran daya yang melewati saluran dengan kendali UPFC.

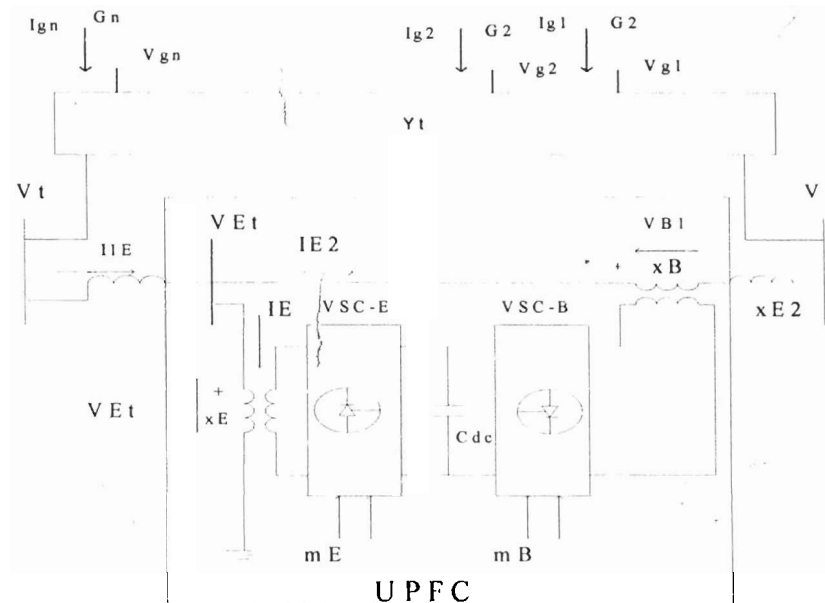
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Pendahuluan

Pengendalian aliran daya terpadu merupakan generasi terakhir dari peralatan *Flexible AC Transmission Systems (FACTS)*. Alat ini terdiri dari dua perangkat konverter yang sama, kapasitor, transformator seri, transformator paralel, dan kendali UPFC. Komponen konverter menggunakan tiristor GTO (gate turn off) daya tinggi.

Konverter 1 dihubungkan ke saluran transmisi dengan transformator terhubung paralel dengan saluran dan konverter 2 dihubungkan ke saluran transmisi dengan transformator terhubung seri dengan saluran. Kapasitor dihubungkan pada ke dua konverter sebagai sumber tegangan searah yang ditunjukkan pada gambar 1.1.



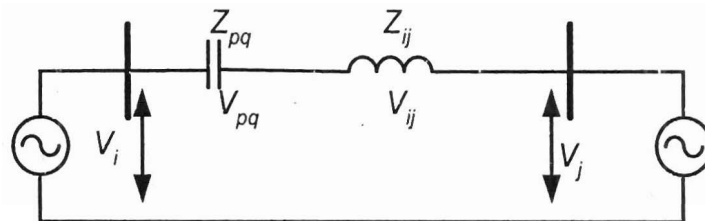
Gambar 1.1. UPFC yang dipasang pada sistem tenaga  
(Wang, IEEE-PES 30,pp 398)

Konverter 2 sebagai fungsi utama UPFC untuk menginjeksikan suatu tegangan  $V_{pq}$  dengan besaran  $V_{pq}$  dan sudut fasa  $\delta_{pq}$  terkendali melalui transformator seri yang terhubung seri dengan saluran transmisi.

## B. Prinsip Kerja UPFC

Aliran daya listrik yang lewat saluran transmisi merupakan fungsi impedansi saluran, tegangan ujung pengirim dan ujung penerima, serta sudut fasa tegangan. Aliran daya akan tergantung pada tegangan saluran. Gambar 1.2 menunjukkan diagram satu garis saluran transmisi dengan suatu reaktansi induktif  $X_{ij}$  dan tegangan injeksi seri  $V_{pq}$  dan menghubungkan sumber tegangan ujung pengirim  $V_i$  dengan tegangan ujung penerima  $V_j$  dengan besar tegangan reaktansi saluran adalah :

$$V_{ij} = V_i - V_j - V_{pq} = I_{ij} X_{ij}$$



Gambar 1.2. Diagram satu garis saluran transmisi  
Tegangan  $V_{ij}$  saluran transmisi dapat dirubah oleh perubahan tegangan injeksi  $V_{pq}$  yang terhubung seri dengan saluran, sebagai akibat arus saluran dan aliran daya dapat berubah. Tegangan ujung pengirim  $V_i$  mendahului ujung penerima

$$S_{sh} = P_{sh} + jQ_{sh} = V_i(V_i - V_{sh} / Z_{sh})$$

$$P_{sh} = V_i^2 Y_{sh} \cos \theta_{sh} - V_i V_{sh} Y_{sh} \cos(\theta_{sh} - \delta_i + \delta_{sh})$$

$$Q_{sh} = -V_i^2 Y_{sh} \sin \theta_{sh} + V_i V_{sh} Y_{sh} \sin(\theta_{sh} - \delta_i + \delta_{sh})$$

dengan :

$$P_{sh} = \text{aliran daya aktif ke sumber tegangan shunt (M'W)}$$

$$Q_{sh} = \text{aliran daya reaktif ke sumber tegangan shunt (MW)}$$

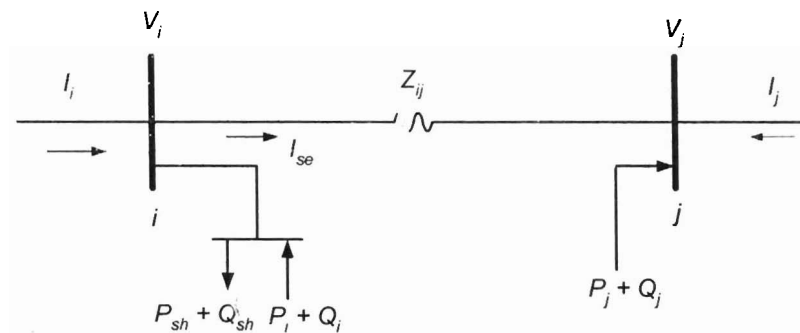
$$V_i = \text{besar tegangan pada bus i (Volt)}$$

$\delta_i$  = sudut tegangan pada bus i

$Y_{sh}$  = admitansi transformator sumber tegangan shunt

$\theta_{sh}$  = sudut fasa admitansi dari bus i ke tanah

Tahap berikutnya adalah mengkonverikan sumber tegangan seri UPFC ke dalam dua penginjeksian daya pada ke dua busbar i dan j, yang ditunjukkan oleh gambar 3 dan menghasilkan aliran daya bus i ke bus j setelah melewati sumber tegangan seri UPFC.



Gambar 1.3. Bagian seri UPFC ke dalam dua penginjeksian daya pada bus i dan bus j

Injeksi daya dari tegangan seri pada bus i adalah:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i(-V_{pq}/Z_{ij}) \dots \dots \dots 2$$

$$P_i = -V_i V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 3$$

$$Q_i = V_i V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 4$$

dengan :

$P_i$  = aliran daya aktif ke bus-i (MW)

$Q_i$  = aliran daya reaktif bus- i (MVAR)

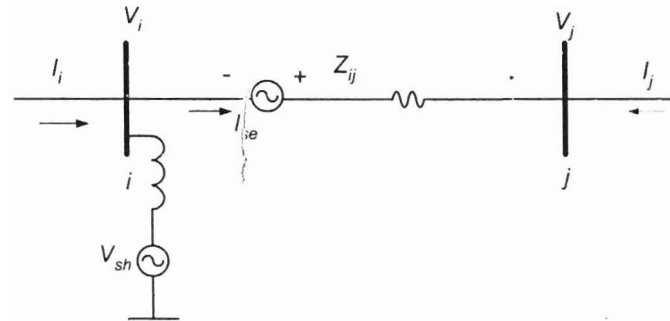
$Y_{ij}$  = admitans saluran dari busbar i dan (pu)

$\theta_{ij}$  = sudut fasa admintans dari busbar i dan (derajat)

### C. Model Injeksi daya UPFC

Pengaruh UPFC pada system daya dalam keadaan mantap dapat dianalisis dengan membuat model injeksi sebagai fungsi utama. Rangkaian ekivalem model injeksi UPFC ditunjukkan gambar 4, terdiri dari sumber tegangan seri  $V_{pq}$  yang

terhubung seri dengan saluran transmisi dan sumber tegangan paralel  $V_{sh}$  yang terhubung parallel dengan saluran transmisi.



Gambar 1.4. Rangkaian ekivalen model injeksi UPFC

Sumber tegangan seri  $V_{pq}$  dan sumber tegangan paralel  $V_{sh}$  yang menggambarkan bentuk tegangan pensaklaran dari terminal converter yang besarnya adalah :

$$V_{pq} = V_{pq} (\cos \delta_{pq} + j \sin \delta_{pq})$$

$$V_{sh} = V_{sh} (\cos \delta_{sh} + j \sin \delta_{sh})$$

dengan

$V_{pq}$  = besaran tegangan sumber seri

$\delta_{pq}$  = sudut phasa tegangan sumber seri

$V_{sh}$  = besaran tegangan sumber shunt

$\delta_{sh}$  = sudut phasa tegangan sumber shunt

Besaran dan sudut phasa tegangan seri terkendali yang terbatas pada  $V_{pq \min} \leq V_{pq} \leq V_{pq \max}$  dan  $0 \leq \delta_{pq} \leq 2\pi$ . Besar dan sudut phasa tegangan shunt terkendali dibatasi oleh  $V_{sh \min} \leq V_{sh} \leq V_{sh \max}$  dan  $0 \leq \delta_{sh} \leq 2\pi$ .

Berdasarkan rangkaian ekivalen gambar 4, tahap awal adalah mentransformasikan sisi shunt UPFC dalam suatu penginjeksian daya pada bus i yang besarnya :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i(-V_{pq}/Z_{ij}) \dots \dots \dots 5$$

$$P_i = -V_i V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 6$$

$$Q_i = V_i V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 7$$

dengan :

$P_i$  = aliran daya aktif ke bus- $i$  (MW)

$Q_i$  = aliran daya reaktif bus-  $i$  (MVAR)

$Y_{ij}$  = admitans saluran dari busbar  $i$  dan (pu)

Sedangkan penginjeksian daya yang ditransformasikan dari tegangan seri terhadap bus  $j$ ,

$$S_j = P_j + jQ_j = V_j(-V_{pq}/Z_{ij}) \dots \dots \dots 8$$

$$P_j = V_j V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 9$$

$$Q_j = -V_j V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots \dots \dots 10$$

dengan :

$P_j$  = aliran daya aktif ke bus- $j$  (MW)

$Q_j$  = aliran daya reaktif bus-  $i$  (MVAR)

$V_j$  = besaran tegangan pada reaktif bus- $i$  (pu)

$\theta_j$  = sudut fasa admintans dari busbar  $i$  dan (derajat)

Transfer daya searah UPFC yang dihasilkansumber seri adalah :

$$P_{dc} = \text{Re} \left[ V_{pq} \left( \frac{V_i + V_{pq} \left\{ -V_j \right\}}{Z_{ij}} \right) \right]$$

$$P_{dc} = V_{pq} V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_i) + V_{pq}^2 Y_{ij} \cos \theta_{ij} - V_{pq} V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_j)$$

Jika rugi-rugi daya pada UPFC diabaikan maka daya nyata pada sumber shunt sama dengan daya nyata yang dihasilkan pada sumber :

$$P_{sh} = P_{dc}$$

Daya injeksi pada bus  $i$  adalah :

$$S_{i(inj)} = S_i - P_{dc}$$

maka daya nyata yang diinjeksikan dari bus  $i$  menjadi :

$$P_{i(inj)} = S_i - P_{dc}$$

$$P_{i(inj)} = -V_i V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) + V_{pq} V_i Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) - V_{pq}^2 Y_{ij} \cos \theta_{ij} + V_{pq} V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_j)$$



dan daya reaktif :

$$Q_{i(inj)} = Q_i - Q_{sh}$$

$$Q_{i(inj)} = -V_i V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) + V_{pq}^2 V_{sh} Y_{sh} \sin \theta_{sh} - V_i V_{sh} Y_{sh} \sin(\theta_{sh} - \delta_i + \delta_{sh})$$

Daya yang diinjeksikan pada bus j adalah:

$$S_{j(inj)} = S_j \dots\dots\dots 11$$

$$P_{j(inj)} = V_j V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 12$$

$$Q_{j(inj)} = -V_j V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 13$$

#### D. Representasi UPFC untuk aliran daya

Berdasarkan dari dua penginjeksian daya ( $P_{i(inj)}, Q_{i(inj)}$ ) dan ( $P_{j(inj)}, Q_{j(inj)}$ ) suatu UPFC dapat disuguhkan sebagai pembangkit. Selanjutnya, karena daya yang diinjeksi bervariasi sesuai dengan amplitudo tegangan dan fasa busbar, elemen-elemen yang berhubungan terhadap matriks Jacobian akan dimodifikasi pada tiap iterasi. Formasi matriks Jacobian adalah,

$$J = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 14$$

Berikut elemen-elemen penambahan pada matriks Jacobian untuk injeksi UPFC pada busbar  $i$  dan  $j$  dapat diperoleh,

Elemen diagonal dan bukan diagonal J1

$$\frac{\partial P_{i(inj)}}{\partial \delta_i} = -V_i V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) + V_{pq} V_i Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_i) \dots\dots\dots 15$$

$$\frac{\partial P_{i(inj)}}{\partial \delta_j} = V_j V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 16$$

$$\frac{\partial P_{j(inj)}}{\partial \delta_i} = 0 \dots\dots\dots 17$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal J2

$$\frac{\partial P_{i(inj)}}{\partial V_i} = -V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) - V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_i) \dots\dots\dots 18$$

$$\frac{\partial P_{j(inj)}}{\partial V_j} = V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_{pq} + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 19$$

$$\frac{\partial P_{j(inj)}}{\partial V_i} = 0 \dots\dots\dots 20$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal J3

$$\frac{\partial Q_{i(inj)}}{\partial \delta_i} = -V_i V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 21$$

$$\frac{\partial Q_{i(inj)}}{\partial \delta_j} = 0 \dots\dots\dots 22$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal J4

$$\frac{\partial Q_{j(inj)}}{\partial V_j} = -V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_{pq}) \dots\dots\dots 23$$

$$\frac{\partial Q_{i(inj)}}{\partial V_j} = 0 \dots\dots\dots 24$$

### E. Persamaan Aliran Daya

Persamaan aliran daya dari modifikasi penempatan UPFC dapat digabungkan dengan program solusi aliran daya metoda Newton-Rapson. Jika penempatan UPFC terdapat diantara bus-*i* dan bus-*j*, panggabungan persamaan aliran daya menghasilkan,

$$P_l = \sum_{\substack{m=1 \\ m \in l}}^n V_l V_m Y_{lm} \cos(\theta_{lm} - \delta_l + \delta_m) \dots\dots\dots 25$$

$$Q_l = -\sum_{\substack{m=1 \\ m \in l}}^n V_l V_m Y_{lm} \sin(\theta_{lm} - \delta_l + \delta_m) \quad l = 1, 2, 3, \dots, n \text{ tetapi } l \neq i, j \dots\dots\dots 26$$

$$P_i = \sum_{\substack{m=1 \\ m \in i}}^n V_i V_m Y_{im} \cos(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) + P_{i(inj)} \dots\dots\dots 27$$

$$Q_i = -\sum_{\substack{m=1 \\ m \in i}}^n V_i V_m Y_{im} \sin(\theta_{im} - \delta_i + \delta_m) + Q_{i(inj)} \dots\dots\dots 28$$

$$P_j = \sum_{\substack{m=1 \\ m \in j}}^n V_j V_m Y_{jm} \cos(\theta_{jm} - \delta_j + \delta_m) + P_{j(inj)} \dots\dots\dots 29$$

$$Q_j = -\sum_{\substack{m=1 \\ m \in j}}^n V_j V_m Y_{jm} \sin(\theta_{jm} - \delta_j + \delta_m) + Q_{j(inj)} \dots\dots\dots 30$$

Algoritma untuk menentukan solusi persamaan aliran daya untuk tipe bus-PQ. Matriks Jacobian memberikan pelinerisasian antara perubahan kecil pada sudut fasa  $\Delta\delta$  dan besaran  $\Delta V$  dengan tegangan dengan perubahan kecil pada daya aktif  $\Delta P$  dan daya reaktif  $\Delta Q$  yang dievaluasi pada tiap iterasi.

## F. Batasan Perangkat UPFC

Pemanfaatan secara penuh perangkat UPFC untuk mengendalikan aliran daya dengan sasaran untuk mengoptimalkan aliran daya yang melewati saluran transmisi harus memerlukan batasan sebagai batas kemampuan perangkat UPFC dan batas saluran.

Terdapat sejumlah batasan yang ditentukan oleh batas perangkat yang mempengaruhi kemampuan UPFC, menurut *Song, Y.H. and Liu, J.Y. dalam Proc. IEEE-PES 30, pp 364*, ada lima batasan yang dipertimbangkan yaitu

- i. Besaran tegangan injeksi seri ( $V_{pq}$ )
- ii. Arus saluran yang lewat pembalik seri ( $I_{se}$ )
- iii. Transfer daya aktif diantara pembalik shunt dan seri ( $P_{dc}$ )
- iv. Arus shunt ( $I_{sh}$ )
- v. Besar tegangan injeksi shunt ( $V_{sh}$ )

Dalam bentuk matematis dinyatakan dengan :

$$V_{pq} \leq V_{pq(maks)}$$

$$I_{se} = \left| \frac{\overline{V}_i - \overline{V}_{pq} - \overline{V}_j}{Z_{ij}} \right| \leq I_{se(maks)}$$

$$P_{dc} = \text{Re} \left[ V_{pq} \left( \frac{\overline{V}_i + \overline{V}_{pq} - \overline{V}_j}{Z_{ij}} \right) \right] \leq P_{dc(maks)}$$

$$V_{sh} \leq V_{sh(maks)}$$

Secara umum tegangan injeksi seri ( $V_{pq}$ ) dan batasan saluran ( $I_{se}$ ) dilaksanakan dengan mengatur tahap penjadwalan P dan Q seri. Arus maksimal yang melewati inverter seri ( $I_{se.maks}$ ) merupakan arus termal saluran. Transfer daya nyata diinverter seri ( $P_{dc}$ ) merupakan suatu batas peralatan. Penambahan kemampuan dipergunakan untuk menyediakan arus reaktif yang dibutuhkan untuk menyediakan arus reaktif yang dibutuhkan untuk mengatur tegangan bus. Oleh karena itu inverter seri dibatasi dengan mengurangi tegangan bus yang dijadwalkan.

Batasan saluran UPFC di atas akan dilaksanakan pada kalkulasi aliran daya. Apabila tahap kalkulasi aliran daya dengan hasil aliran daya termasuk parameter, dengan cepat memeriksa apakah batasan ini ada yang terganggu jika

tidak, kalkulasi keluaran aliran daya dengan memuaskan menjadwalkan sasaran kendali dan parameter dalam kawasan rating perangkat. Sebaliknya, kalkulasi aliran daya akan memodifikasi parameter dan sasaran kendali yang berhubungan.

Prosedur dan cara penanganan batasan dilaksanakan dengan mengatur sasaran kendali, secara matematis dapat diuraikan.

a. Mengatur  $I_{se \text{ maks}}$  sebagai sasaran kendali :

Membuat batas gangguan arus seri saluran  $I_{se}$  untuk memodifikasi sudut fasa tegangan injeksi seri  $\delta_{pq}$ , dapat dirumuskan dari batas termal saluran  $I_{se \text{ maks}}$ .

$$\cos(\delta_{pq} - \alpha_1) \geq \frac{\cos \alpha_1}{2B_{ij}^2 V_{pq} (e_i - e_j)} \left[ (I_{se \text{ maks}})^2 - B_{ij}^2 V_{pq}^2 - B_{ij}^2 (e_i - e_j)^2 - B_{ij}^2 (f_i - f_j)^2 \right]$$

$$\alpha_1 = a. \tan \left( \frac{f_i - f_j}{e_i - e_j} \right)$$

dengan :

$B_{ij}$  = supseptansi saluran dari bus- $i$  ke bus- $j$  (pu)

$e_i$  = bagian real vector tegangan pada bus- $i$  (pu)

$e_j$  = bagian real vector tagangan pada bus- $j$  (pu)

$f_i$  = bagian imajiner vector tegangan pada bus- $i$  (pu)

$f_j$  = bagian imajiner vector tegangan pada bus- $j$  (pu)

Berdasarkan persamaan 28 dan 29, satu metoda untuk mengurangi  $I_{se}$ , dari batasnya untuk memperoleh suatu  $\delta_{pq}$  baru sementara menjaga  $V_{pq}$  konstan. Jika hanya  $\delta_{pq}$  digunakan untuk mengatur  $I_{se}$ , ini mungkin mempunyai banyak solusi yang memenuhi persamaan (28). Akan tetapi dalam situasi ini, TCSC tidak beroperasi pada  $I_{se \text{ maks}}$  dan menjadikan keunggulannya hilang. Sebagai syarat cara merubah  $\delta_{pq}$  yang mempunyai batasan kemampuan pengaturan  $I_{se}$ ,  $V_{pq}$  digunakan untuk mengatur  $I_{se}$  bersama dengan  $\delta_p$ . Oleh karena itu lebih umum rumus yang memodifikasi  $V_{pq}$  dan  $\delta_{pq}$  diperoleh seperti berikut untuk mengurangi  $I_{se}$ .

$$\cos(\delta_{pq} - \alpha_1) = C$$

$$-B_{ij}^2 V_{pq}^2 - C_{se} \left| \frac{2B_{ij}^2 V_{pq} (e_i - e_j)}{\cos \alpha_1} \right| V_{pq} + \left[ (I_{se \text{ maks}})^2 - B_{ij}^2 (e_i - e_j)^2 - B_{ij}^2 (f_i - f_j)^2 \right] = 0$$

$$-1 \leq C_{se} \leq 1$$

dengan :

$C_{se}$  = faktor pengaman sudut phasa tegangan injeksi seri pada daerah  $(-1,1)$  untuk mengurangi  $I_{se}$ .

b. Mengatur  $P_{dc \text{ maks}}$

Modifikasi sudut phasa tegangan injeksi seri  $\delta_{pq}$  diperoleh dari daya aktif sumber tegangan seri  $P_{dc, \text{maks}}$  yang besarnya :

$$P_{dc, \text{maks}} = \left| B_{ij} V_{pq} (e_i - e_j) \frac{\sin(\delta_{pq} + \alpha_2)}{\cos \alpha_2} \right|$$

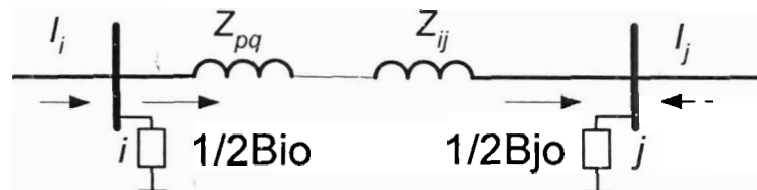
$$\text{dengan } \alpha_2 = a \cdot \tan \left( \frac{f_j - f_i}{e_i - e_j} \right)$$

$$C_{dc} = \sin(\delta_{pq} - \alpha_2)$$

$C_{dc}$  = faktor pengaman sudut phasa tegangan injeksi seri pada daerah  $(-1,1)$  untuk mengurangi  $P_{dc}$ .

### G. Formasi Admitansi bus

Pemasangan UPFC pada sistem transmisi daya mempengaruhi nilai admitansi saluran yang diakibatkan dari nilai reaktans transformator sumber tegangan seri sehingga formasi admitansi bus menjadi berubah, seperti digambarkan pada gambar 1.5.



Gambar 1.5. Formasi admintans bus dengan penempatan UPFC.

Berdasarkan simpul sistem pada gambar 5, dengan menerapkan hukum kirchoff arus dapat dihasilkan.

$$I_i = \frac{1}{2} B_{i0} V_i + (y_{ij} + y_{pq})(V_i - V_j)$$

$$I_j = \frac{1}{2} B_{j0} V_j + (y_{ij} + y_{pq})(V_j - V_i)$$

Oleh karena  $Y_{bus} = V_{bus} / I_{bus}$ , admintan bus menjadi,

$$Y_{ii} = 1/2B + y_{ij} + y_{pq}$$

$$Y_{jj} = 1/2B + y_{ij} + y_{pq}$$

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ji} - y_{pq}$$

Berdasarkan admitansi bus maka persamaan dapat disusun,

$$I_i = Y_{ii}V_i - Y_{ij}V_j$$

$$I_j = Y_{ji}V_i + Y_{jj}V_j$$

Dalam bentuk matriks menjadi :

$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ii} & Y_{ij} \\ Y_{ji} & Y_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix}$$

Jika dalam suatu sistem tenaga listrik terdapat  $n$  bus dan perangkat UPFC ditempatkan pada bus  $i$  dan bus  $j$ , maka elemen diagonal matriks admitansi bus yang merupakan jumlah admitansi yang dihubungkan kepadanya adalah,

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{m=0 \\ m \in i}}^n y_{im} \quad l \neq m \quad l = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{tetapi } l \neq i, j$$

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{m=0 \\ m \in i}}^n y_{im} + y_{ij} + y_{pq}$$

$$Y_{jj} = \sum_{\substack{m=0 \\ m \in j}}^n y_{jm} + y_{ij} + y_{pq}$$

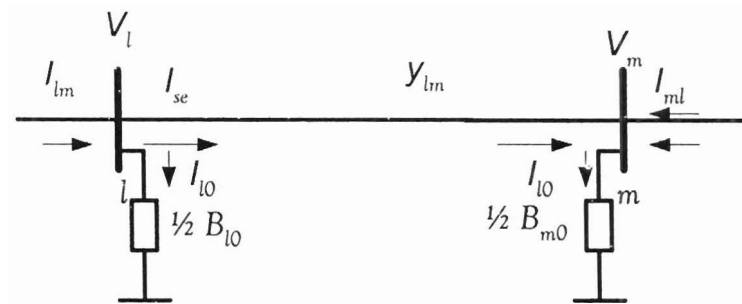
Sedangkan elemen bukan diagonal matriks admitansi bus yang merupakan negatif admintans diantara simpul atau admitansi bersama adalah,

$$Y_{lm} = Y_{ml} = -y_{lm}$$

Elemen bukan diagonal matriks admitansi bus yang mengandung perangkat UPFC dituliskan pada di atas.

## H. Rugi daya saluran

Setelah solusi aliran daya untuk mendapatkan tegangan bus, tahap berikutnya menghitung aliran saluran dan rugi saluran. Menurut Saadat (1997) rugi daya saluran dapat ditentukan berdasarkan aliran daya saluran. Menganggap hubungan saluran dua bus  $l$  dan bus  $m$ , seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 1.6. Rangkaian Saluran transmisi dengan model  $\pi$

Arus saluran diukur pada bus  $l$  dan ditentukan positif pada arah  $l \rightarrow m$ ,

$$I_{lm} = \frac{1}{2} B_{l0} V_l + y_{lm} (V_l - V_m)$$

dan untuk  $m \rightarrow l$

$$I_{ml} = \frac{1}{2} B_{l0} V_m + y_{ml} (V_m - V_l)$$

Daya kompleks saluran  $S_{lm}$  dari bus  $l$  ke bus  $m$  dan  $S_{ml}$  dari bus  $m$  ke  $l$  adalah :

$$S_{lm} = V_l I_{lm}^* \quad \text{dan} \quad S_{ml} = V_m I_{ml}^*$$

Rugi daya pada saluran  $l$  ke  $m$  merupakan penjumlahan aljabar aliran daya yang ditentukan dari,

$$S_{l,m} = S_{lm} + S_{ml}$$

Perhitungan rugi daya saluran dengan penempatan UPFC ditentukan dengan menambah sumber tegangan seri pada saluran diantara bus pengirim dan bus penerima, seperti ditunjukkan pada gambar 7.

Arus saluran dari bus- $i$  ke bus- $j$  adalah :

$$I_{ij} = \frac{1}{2} B_{i0} V_i + y_{ij} (V_i + V_{pq} - V_j)$$

Sedangkan arus saluran dari bus - j ke bus - i,

$$I_{ji} = \frac{1}{2} B_{j0} V_j + y_{ji} (V_j + V_{pq} - V_i)$$

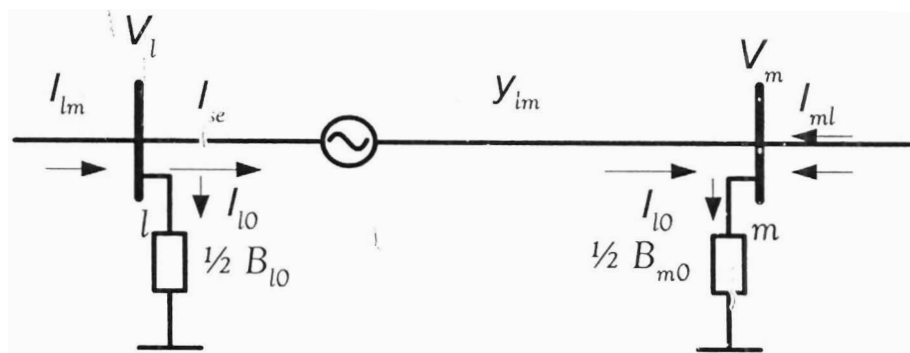
Daya kompleks saluran  $S_{ij}$  dari bus-i ke bus-j dan  $S_{ji}$  dari bus-j ke bus i adalah :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^*$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^*$$

Sedangkan rugi daya total dari keseluruhan sistem adalah jumlah seluruh rugi pada saluran,

$$S_{lji} = S_{ij} + S_{ji}$$



Gambar 1.7. Diagram satu garis saluran transmisi dengan penempatan UPFC

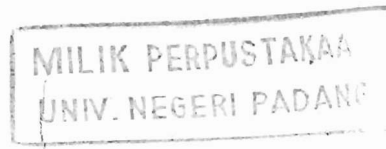


### **BAB III**

#### **Manfaat dan Tujuan Penelitian**

Tujuan dan manfaat penelitian yang dilakukan adalah :

1. Akan diperoleh informasi ilmiah penggunaan UPFC untuk meminimisasi rugi daya pada saluran transmisi sistem tenaga listrik Sumbar-Riau.
2. Sebagai masukan untuk PLN Sumbar-Riau.
3. Pengaruh minimisasi rugi daya saluran transmisi terhadap rugi daya total sistem tenaga listrik sesudah pemasangan UPFC.



## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### A. Langkah – langkah Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membuat model simulasi dengan pemasangan UPFC yang ditempatkan pada saluran transmisi. Model simulasi yang dibuat menghasilkan aliran daya sistem. Pengaruh kuat UPFC terhadap saluran transmisi sistem tenaga dibuktikan dengan melakukan simulasi sampai dihasilkan rugi daya saluran transmisi yang terminimisasi dan dibandingkan dengan rugi daya total sistem sebelum pemasangan UPFC. Pengujian dilakukan pada sistem tenaga Sumbar-Riau.

Adapun langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mencari data pembangkit, saluran transmisi dan spesifikasi UPFC.
2. Setelah didapat data di atas, kemudian membuat simulink dengan perangkat lunak *PSAT-MATLAB*.
3. Memasukan data pembangkit dan saluran transmisi.
4. Running simulasi.
5. Melihat dan menganalisa hasil komputasi hasil simulasi.
6. Memasang UPFC pada simulink PSAT-MATLAB.
7. Memasukan data UPFC.
8. Menjalankan simulasi.
9. Running simulasi.
10. Melihat dan menganalisis hasil komputasi simulasi.
11. Menganalisis hasil komputasi tanpa UPFC dan yang menggunakan UPFC.
12. Hasil komputasi selesai
13. Kesimpulan.

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Data Saluran Transmisi dan Beban

Hasil penelitian ini berupa hasil *running* simulasi dari model sistem yang ditempatkan UPFC pada saluran transmisi sistem tenaga listrik Sumbar-Riau. Sistem ini terdiri dari 24 bus, 24 saluran, 17 pusat beban dan 8 pusat pembangkit. Data pusat beban dan data saluran ditampilkan pada tabel 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1. data pusat beban

No	RUTE		P(Km)	IMPEDANSI				Y/2 (PU)
	DARI	KE		R1	JX1	R0	JX0	
1	Ombilin	Indarung	63,951	7,544	27,114	39,777	116,0690	0,01746
2	Ombilin	Salak	2,417	0,286	1,026	1,558	4,3750	0,00086
3	Salak	Solok	27,480	3,266	12,851	17,092	49,8760	0,00854
4	Solok	Indarung	34,054	4,019	14,851	19,850	62,3790	0,00930
6	Indarung	Pauh Limo	6,660	0,738	14,369	4,369	12,0213	0,00262
7	Pauh Limo	Spang Haru	7,000	0,820	2,823	4,364	12,6210	0,00239
8	Pauh Limo	LB Alung	33,700	3,975	2,968	20,961	61,1655	0,01047
9	Pauh Limo	PI Padang	20,000	2,000	14,288	11,660	36,6400	0,00273
11	PI Padang	LB Alung	13,700	1,666	8,480	7,987	25,0984	-
13	LB Alung	Singkarak	12,000	1,020	5,808	6,660	21,8760	0,00331
14	LB Alung	Maninjau	56,700	6,600	4,980	33,056	103,8744	0,01548
15	Maninjau	Pdg Luar	42,000	1,020	24,040	13,818	52,4580	0,01435
16	Pdg Luar	Payakumbuh	32,000	6,609	17,136	10,528	39,9680	0,01093
17	Payakumbuh	Btg Agam	15,000	4,950	13,056	9,955	34,6310	0,00007
18	Payakumbuh	Koto Pnjang	85,100	3,770	4,931	46,972	155,7330	0,02247
19	Ombilin	Batusangkar	32,610	2,230	35,061	10,042	40,6270	0,01095
20	Batusangkar	Payakumbuh	26,110	7,266	12,911	8,040	32,5280	0,00877
21	Bengkinang	Grd Sakti	46,800	2,775	18,860	28,407	83,9592	0,18650
22	Grd Sakti	Duri Dumai	117,00	13,800	49,140	65,403	205,5690	0,01531
23	Grd Sakti	Trk Lembu	23,000	1,540	9,269	13,984	41,2620	0,00458
24	Ombilin	Kiliranjao	154,00	3,255	2,968	20,961	61,1655	0,01047

Tabel 5.2. Data pusat beban

NO	PUSAT BEBAN	BEBAN
		MW
1	Maninjau	14,00
2	Lubuk Alung	17,50
3	Pauh Limo	23,20
4	Simpang Haru	56,60
5	PIP	18,90
6	Indarung	59,00
7	Solok	16,100
8	Salak	9,50
9	Batusangkar	7,70
10	Payakumbuh	15,80
11	Koto panjang	10,80
12	Bengkinang	12,50
13	Gaia sakti	56,70
14	Teluk lembu	45,20
15	Duri /Dumai	43,20
16	Kiliranjao	16,40
17	Padang Luar	28,10
	<b>Jumlah</b>	<b>451,20</b>

## B. Hasil dan Pembahasan Penelitian

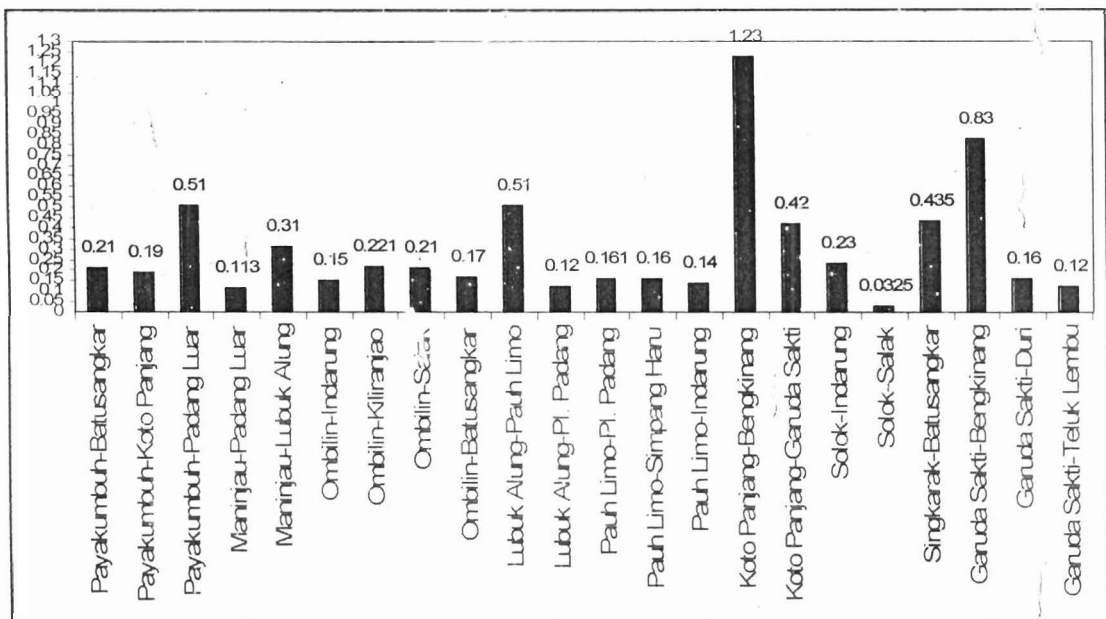
Berdasarkan penyelesaian simulasi aliran daya dengan metoda Newton-Raphson pada saat sebelum pemasangan UPFC diperoleh hasil aliran daya sebagai berikut :

Tabel 5.3. Aliran daya dan rugi daya saluran sebelum pemasangan UPFC

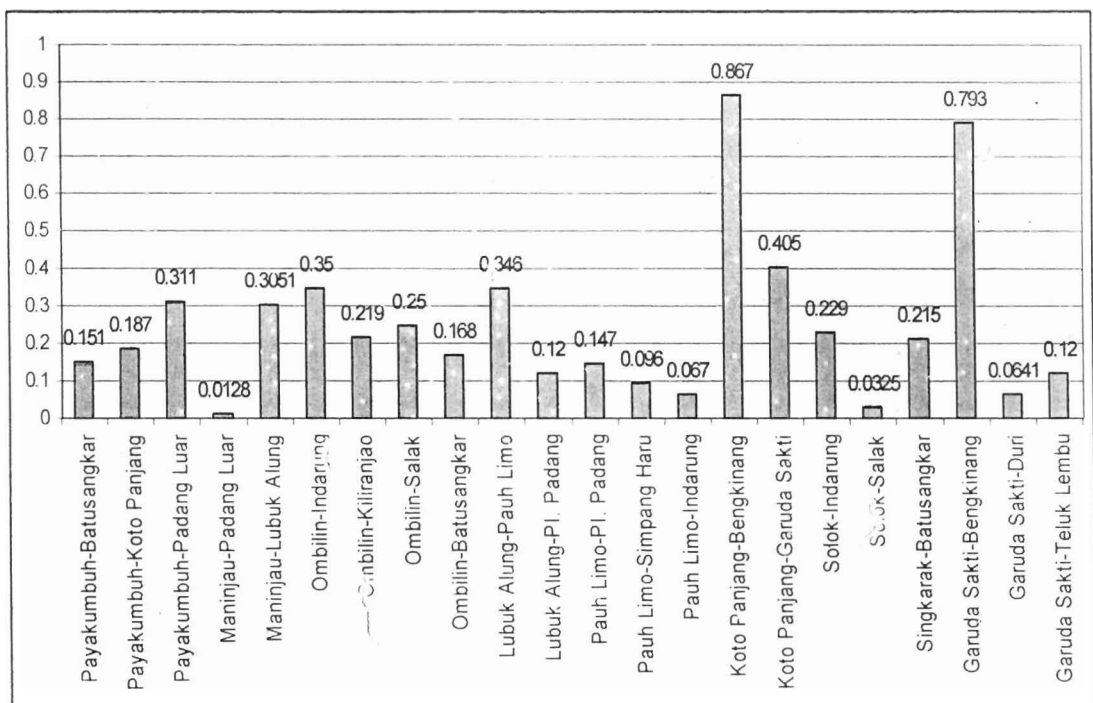
Bus		Tegangan (kV)	Aliran Daya Saluran (MW)		Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
dari	ke				
1	2	3	4		5
Payakumbuh		149.900			
	Batusangkar		-66.960	66.970	0.21
	Koto Panjang		-54.950	55.040	0.19
	Padang Luar		-4.490	4.490	0.51
Maninjau		150.003			
	Padang Luar		-32.180	32.190	0.113
	Lubuk Alung		22.210	22.200	0.31
Ombilin		150.310			
	Indarung		7.520	7.510	0.15
	Kiliranjao		-16.620	16.621	0.221
	Salak		93.160	-93.160	0.21
	Batusangkar		83.380	-83.350	0.17

1	2	3	4		5
Lubuk Alung		150.671			
	Pauh Limo		24.570	-24.560	0.51
	Pl. Padang		59.190	59.180	0.12
Pauh Limo		149.911			
	Pl. Padang		-40.321	40.321	0.161
	Simpang Haru		56.760	-56.850	0.16
	Indarung		15.810	-15.810	0.14
Koto Panjang		150.257			
	Bengkinang		147.060	-147.040	1.23
	Garuda Sakti		11.590	-11.580	0.42
Solok		150.611			
	Indarung		67.490	-67.520	0.23
	Salak		83.460	-83.430	0.0325
Singkarak		149.410			
	Batusangkar		9.175	-9.174	0.435
Garuda Sakti		149.282			
	Bengkinang		-134.330	134.460	0.83
	Duri		43.360	-43.200	0.16
	Teluk Lembu		45.32	-45.200	0.12
Total Rugi Daya					6.6325

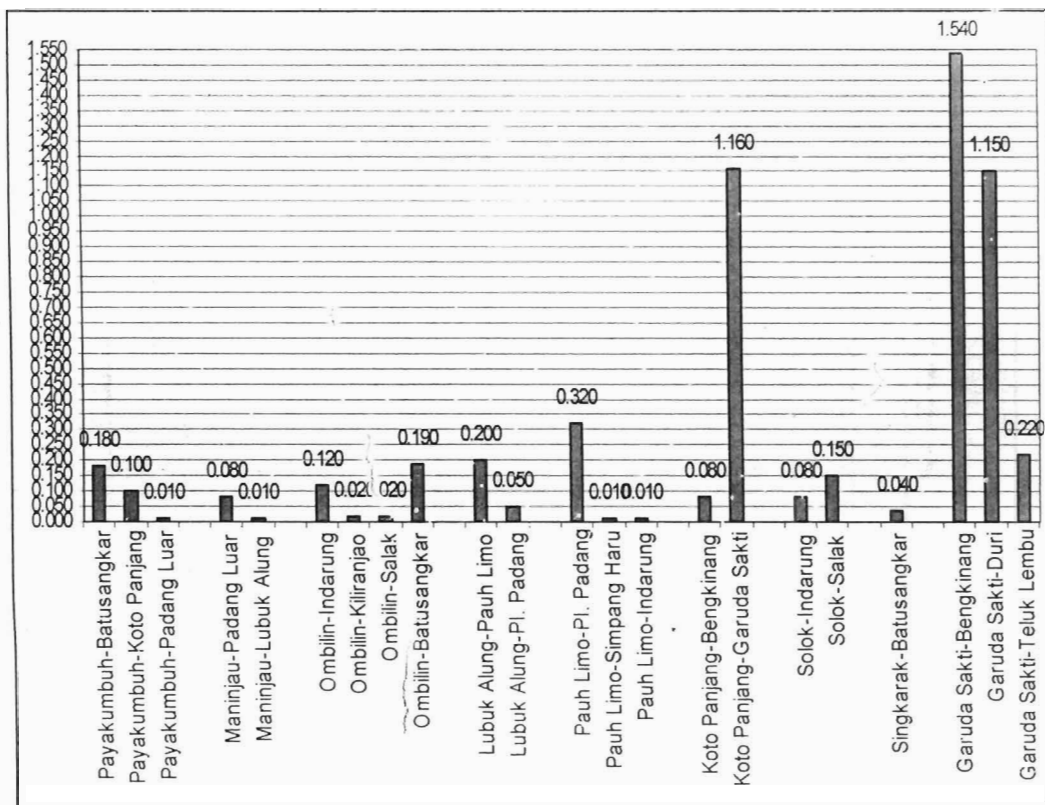
Fungsi sasaran dari penggunaan UPFC pada saluran transmisi adalah guna meminimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi, tanpa melampaui batasan yang ditetapkan. Pada tabel 5.3 menunjukkan hasil aliran daya sistem tenaga sebelum pemasangan UPFC dan menunjukkan rugi-rugi daya aktif pada masing-masing saluran dengan total rugi-rugi daya aktif sebesar 6.6325 MW dengan rugi-rugi saluran relatif besar terdapat pada saluran Koto Panjang - Bengkinang. Grafik rugi-rugi daya aktif saluran transmisi ditunjukkan pada gambar 5.1 di bawah.



a. Grafik rugi daya saluran sebelum pemasangan UPFC



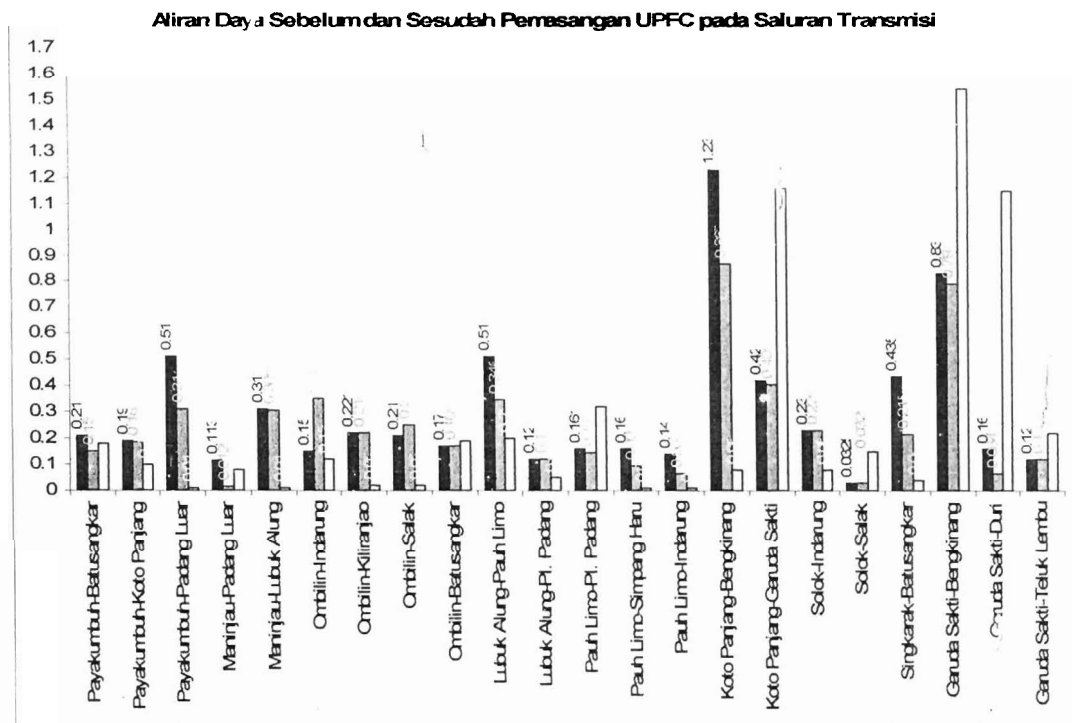
b. Grafik rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Koto Panjang-Bengkinang



c. Grafik rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Maninjau-Padang Luar

Gambar 5.1. Grafik hasil simulasi rugi – rugi daya aktif total pada saluran transmisi, sebelum dan sesudah pemasangan UPFC

Guna menekan rugi-rugi daya aktif pada saluran transmisi Koto Panjang – Bengkinang, maka dipasangkan perangkat UPFC pada saluran tersebut. Perubahan yang terjadi menunjukkan penurunan rugi-rugi pada saluran tersebut sebesar 0,363 MW atau 29.5 %. Dan rugi-rugi daya aktif total juga menunjukkan penurunan sebesar 1,177 MW hal ini disebabkan oleh adanya pemasang UPFC pada saluran tersebut sehingga terjadi penyerapan daya aktif pada saluran Koto Panjang – Bengkinang. Besar aliran daya masing – masing saluran dan grafik rugi –rugi saluran ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 5.2 di atas.



Gambar 5.2. Grafik hasil simulasi rugi – rugi daya aktif total pada saluran transmisi, sebelum dan sesudah pemasangan UPFC

Tabel 5.4. Aliran daya dan rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC Untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Koto Panjang-Bengkinang

Bus		Tegangan (kV)	Aliran Daya Saluran (MW)		Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
dari	ke				
1	2	3	4		5
Payakumbuh		149.904			
	Batusangkar		-62.908	62.919	0.151
	Koto Panjang		-54.993	55.083	0.187
	Padang Luar		-8.229	8.229	0.311
Maninjau		150.000			
	Padang Luar		-36.2302	36.2402	0.0128
	Lubuk Alung		17.8649	-17.8549	0.3051
Ombilin		150.000			
	Indarung		7.42	-7.41	0.35
	Kiliranjao		-16.402	16.412	0.219
	Salak		90.96	-90.96	0.25
	Batusangkar		85.452	-85.412	0.168



Lubuk Alung		149.972			
	Pauh Limo		24.934	-24.934	0.346
	Pl. Padang		60.47	-60.47	0.12
Pauh Limo		149.232			
	Pl. Padang		-41.574	41.584	0.147
	Simpang Haru		56.664	-56.664	0.096
	Indarung		13.543	-13.543	0.067
Koto Panjang		149.552			
	Bengkinang		141.98	-141.82	0.867
	Garuda Sakti		16.225	-16.195	0.405
Solok		149.003			
	Indarung		65.289	-65.259	0.229
	Salak		81.42	-81.39	0.0325
Singkarak		150.000			
	Batusangkar		14.070	-15.070	0.215
Garuda Sakti		149.240			
	Bengkinang		-129.237	129.357	0.793
	Duri		43.4459	-43.4359	0.0641
	Teluk Lembu		45.320	-45.200	0.120
Total Rugi Daya					5.4555

Untuk simulasi berikutnya ditempatkan UPFC pada saluran antara Maninjau dan Padang Luar. Penempatan UPFC pada saluran ini menyebabkan peningkatan rugi – rugi daya aktif saluran transmisi Maninjau - Padang Luar sebesar 0,0672 MW, namun tetap memperlihatkan penurunan rugi-rugi daya aktif total sistem tenaga Sumbar-Riau yaitu sebesar 0,8925 MW atau 13,46 %. Akan tetapi penempatan UPFC pada saluran transmisi antara Maninjau – Padang Luar berdampak pada kenaikan rugi – rugi daya aktif yang relatif besar pada saluran, Koto Panjang – Garuda Sakti, Garuda Sakti – Duri, dan antara saluran Garuda Sakti – Bengkinang. Hal ini disebabkan oleh penempatan UPFC pada saluran Maninjau – Padang Luar berakibat pada perubahan penjadwalan pembangkit sistem. Besar aliran daya dan rugi – rugi daya aktif sistem ditunjukkan pada tabel 5.5 dan grafik rugi – rugi daya aktif masing –masing saluran ditunjukkan pada gambar 5.3. di atas.

Tabel 5.5 Aliran daya dan rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC  
Untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Maninjau-Padang Luar

Bus		Tegangan (kV)	Aliran Daya Saluran (MW)		Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
dari	ke				
1	2	3	4		5
Payakumbuh		149.493			
	Batusangkar		-50.510	50.690	0.180
	Koto Panjang		-58.540	58.640	0.100
	Padang Luar		-23.930	23.93	0.010
Maninjau		149.915			
	Padang Luar		-52.030	52.110	0.080
	Lubuk Alung		1.890	-1.890	0.010
Ombilin		150.018			
	Indarung		20.310	-20.180	0.120
	Kiliranjao		-16.400	16.420	0.020
	Salak		47.860	-47.840	0.020
	Batusangkar		115.220	-115.410	0.190
Lubuk Alung		149.901			
	Pauh Limo		34.670	-34.470	0.200
	Pl. Padang		81.410	-81.370	0.050

Pauh Limo		149.092			
	Pl. Padang		-62.150	62.470	0.320
	Simpang Haru		56.610	-56.600	0.010
	Indarung		16.800	-16.810	0.010
Koto Panjang		149.099			
	Bengkinang		98.490	-98.420	0.080
	Garuda Sakti		63.250	-62.090	1.160
Solok		149.428			
	Indarung		22.100	-22.100	0.080
	Salak		38.340	-38.200	0.150
Singkarak		150.000			
	Batusangkar		56.830	-56.780	0.040
Garuda Sakti		148.332			
	Bengkinang		-84.380	85.920	1.540
	Duri		44.350	-43.200	1.150
	Teluk Lembu		45.420	-45.20	0.220
Total Rugi Daya					5.740

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil *running* simulasi aliran daya sistem tenaga listrik Sumbar-Riau tanpa pemasangan maupun dengan pemasangan UPFC pada saluran transmisi, disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan atau pemasangan UPFC pada saluran transmisi sistem tenaga listrik dapat menurunkan rugi – rugi daya aktif total sistem sebesar 13,46 % dan 17,75 %.
2. Pemasangan UPFC pada saluran transmisi perlu ditempatkan pada tempat yang sesuai sehingga tidak menimbulkan peningkatan rugi –rugi daya aktif saluran pada saluran tertentu.

### B. Saran – saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya

1. Guna mengoptimalkan kerja UPFC untuk minimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran perlu dilakukan pembatasan pada penjadwalan pembangkit..
2. Perlu adanya penelitian terhadap penggunaan UPFC dalam hal stabilitas sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bacher, R., dan Glavitsch, H., *Optimal Power Flow Algorithms*, Swiss Federal Institute of Technology, CH-8092 Zurich, Switzerland.
- Baran, B., Vallejos, J., Ramos, R., dan Fernandez, U., 2001, *Multi-objective Reactive Power Compensation*, IEEE Transaction on Power System,.....
- Canizares, C., Rosehart, W., Berizzi, A., dan Bovo, C., 2001, *Comparison of Voltage Security Constrained Optimal Power Flow Techniques*, Proc. IEEE-PES Summer Meeting, pp 1-6.
- Grainger, J.J. dan Stevenson, W. D., 1994, *Power System Analysis*, McGraw Hill, Inc, New York.
- Momoh, J.A., 2001, *Electric Power System Applications of Optomization*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Saadat, H., 1999, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- Song, Y.H. and Liu, J.Y., 1999, Steady state analysis and control, Proc. IEEE-PES 30, pp 364
- Wang, H.F., 1999. *Oscillation stability analysis and control*, Proc. IEEE-PES 30, pp 398
- Wood, A.J. dan Wollenberg, B.F., W., 1996, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, Inc, New York.

Lampiran II. Program dari Simulink PSAT MATHLAB

```
Bus.con = [
1 150 1 1;
2 150 1 1;
3 150 1 1;
4 150 1 1;
5 150 1 1;
6 150 1 1;
7 150 1 1;
8 150 1 1;
9 150 1 1;
10 150 1 1;
11 150 1 1;
12 150 1 1;
13 150 1 1;
14 150 1 1;
15 150 1 1;
16 150 1 1;
17 150 1 1;
18 150 1 1;
19 150 1 1;
20 150 1 1;
21 150 1 1];

Line.con = [
11 7 100 150 50 42 0 0.02203 0.07616 0.01435 0 0 0;
0 0;
13 20 100 150 50 0 0 0.01 0.1 0.001 0 0 0;
0 0;
6 12 100 150 50 13.7 0 0.00719 0.02582 0.001 0 0 0;
0 0;
17 4 100 150 50 0 0 0.01 0.1 0.001 0 0 0;
0 0;
9 1 100 150 50 0 0 0.01 0.1 0.001 0 0 0;
0 0;
```

17	9	100	1500	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0	0;									0
19	2	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
2	8	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
13	8	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
16	3	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
17	5	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	56.7	0	0.02974	0.10685	0.01548	0	0
11	6	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
17	2	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	12	0	0.00453	0.02213	0.00331	0	0
14	6	100	150	50	15	0	0.55753	1.23275	7e-005	0	0
0	0;	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
15	8	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	20	0	0.01048	0.03769	0.00273	0	0
16	21	100	150	50	20	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	6.66	0	0.00349	0.01255	0.00262	0	0
12	18	100	150	50	0	0	0.01	0.1	0.001	0	0
0	0;	100	150	50	33.7	0	0.01767	0.06351	0.01047	0	0
14	19	100	150	50	0	0	0.00367	0.0206	0.00239	0	0
0	0;	100	150	50	32	0	0.01678	0.05803	0.01093	0	0
18	4	100	150	50							
0	0;	100	150	50							
4	1	100	150	50							
0	0;	100	150	50							
6	18	100	150	50							
0	0;	100	150	50							
18	10	100	150	50							
0	0;	100	150	50							
7	8	100	150	50							
0	0;	100	150	50							



16	370	150	50	6	0.05	0.001	1.9	0.302	0.204	8	0.04	1.7
0.5	0.3	0.8	0.02	10	0	0	0	1	1	0.002	]	;

```
Upfc.con = [ ...
14      2      100      150      50      600      0.0143      0.0001      0.105      1      1      1      0.001
10.05    8.02    0.625      4.5    0.325      1.5    0.0001      0.101      0.002      0.095      0.025      1.5      1.87
-0.27    1.2      0.8 ];
```

```
Varname.bus = {...
'Bus GH Solok'; 'Bus GI Batusangkar'; 'Bus GI Garuda Sakti'; 'Bus GI Indarung'; 'Bus GI ...';
'Bus GI LB Alung'; 'Bus GI Padang Luar'; 'Bus GI Payakumbuh'; 'Bus GI Salak'; 'Bus GIS Simpang ...';
'Bus Maninjau'; 'Bus PIP Padang'; 'Bus PLTA Koto Panjang'; 'Bus PLTA Singkarak'; 'Bus PLTA Tanjung Alam';
'Bus PLTG/D TL Lembu'; 'Bus PLTU Ombilin'; 'Bus Pauh 5'; 'Bus2'; 'Bus3';
'Bus4'};
```