

ISSN 1411 - 3414



**INVOTEK**

*Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*

**Vol. IX. No. 1 Februari 2008**

Diterbitkan :

**Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang**



**INVOTEK**  
(Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi)

**SUSUNAN DEWAN REDAKSI**

***Penasehat***

Rektor UNP Padang (Prof. Dr. Z. Mawardi Effendi, M.Pd.)

***Penanggung Jawab***

Dekan Fakultas Teknik UNP Padang (Drs. Ganefri, M.Pd)

***Pimpinan Redaksi***

Prof. Dr. Nizwardi Jalinus, M. Ed

***Sekretaris Redaksi***

Drs. Sukardi Umar, MT.

***Redaksi Ahli***

Prof. Dr. H. Aljufri B. Syarif, M.Sc.  
Prof. Dr. H. Jalius Jama, M.Ed.  
Prof. Dr. H. Syahron Lubis, M.Ed.  
Dr. Agamuddin, M. Ed  
Dr. Ungsi Antara Oku Marmai, M.Ed.  
Dr. Hj. Elisna  
Dr. Ir. Yulman Munaf

***Redaktur Pelaksana***

Drs. Revian Body, M.SA.  
Drs. Putra Jaya, MT.  
Drs. Muhakir, M.P.  
Dra. Lucy Fridayati, M. Kes.  
Dr. Wakhinuddin, M.Pd.

***Alamat Redaksi***

Pusat Media (MRC) Fakultas Teknik UNP Padang (25131)  
Telp. (0751) 7055644, Fax. (0751) 7055628

***Frekuensi Terbitan***

2 (dua) kali setahun (Februari dan Agustus)

***Terbit Pertama kali***

Februari 2000

**Pengantar Redaksi**

Alhamdulillah, kali ini jurnal INVOTEK (Inovasi Vokasional dan Teknologi) kembali menjumpai pembaca dengan berbagai tulisan yang aktual. Sebagaimana terbitan sebelumnya, maka terbitan Vol. IX, No. 1 – Februari 2008 ini hadir dengan seleksi tulisan yang diharapkan memuaskan pembaca. Pada penerbitan edisi ini hadir 8 (delapan) tulisan dengan topik inovasi dan aplikasi teknologi.

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati kami menunggu tulisan-tulisan selanjutnya demi tercapainya eksistensi jurnal ini.

Wassalam,

Redaksi



**INVOTEK**  
**(Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi)**

**DAFTAR ISI**

Pengantar Redaksi .....	i
Daftar Isi .....	ii
• Pengendalian Operasi Real Time dengan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) <i>Ali Basrah Pulungan &amp; Ichwan Yelvianhar</i> .	2029 – 2038
• Pengendalian Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah dengan Mengatur Tegangan Jangkar dan Tegangan Medan Menggunakan Fuzzy Logic Controller <i>Almasri</i> .....	2039 – 2058
• Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat - Riau <i>Hambali &amp; Oriza Candra</i> .....	2059 – 2082
✓ • Minimisasi Rugi Daya Aktif dengan Pemasangan UPFC pada Saluran Transmisi <i>Hansi Effendi &amp; Oriza Candra</i> .....	2083 – 2100
• Analisis Variasi Kandungan Sulfur pada Batubara di Daerah Kutai Kartanegara <i>Heri Prabowo</i> .....	2101 – 2118



- Optimalisasi Kerja Harz Jig untuk Meningkatkan Kadar Casiterite > 70 % Sn pada PPBT Unit Timah Kundur  
*Murad* ..... 2119 – 2134
- Kebakaran Atau Ledakan Gas Methan dan Debu Batubara pada Tambang Batubara Bawah Tanah  
*Rijal Abdullah* ..... 2135 – 2150
- Pengaruh Intrusi Basalt Terhadap Komposisi Kimia Batugamping Bukit Karang Putih PT Semen Padang  
*Yoszi Mingsi Anaperta & Heri Prabowo* ..... 2151 – 2162
- Biodata Penulis ..... 2163 – 2164
- Tata cara Penulisan ..... 2165 – 2166



**MINIMISASI RUGI DAYA AKTIF DENGAN PEMASANGAN  
UPFC PADA SALURAN TRANSMISI****Hansi Effendi  
Oriza Candra***Abstract*

*The power losses of transmission line in 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 the power flow control of UPFC to the transmission line. Examination was done at an electrical power system of Sumbar-Riau. Examination result show the using of UPFC on transmission line can minimize the total active power losses of transmission line by magnitute 13.46 % and 17.75 % and by magnitute voltage variation 98.88% - 100.012 %.*

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



## PENDAHULUAN

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 Controler* (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.

### Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut: 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

### 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.



### Manfaat dan Tujuan Penelitian

Tujuan dan manfaat penelitian yang dilakukan adalah :

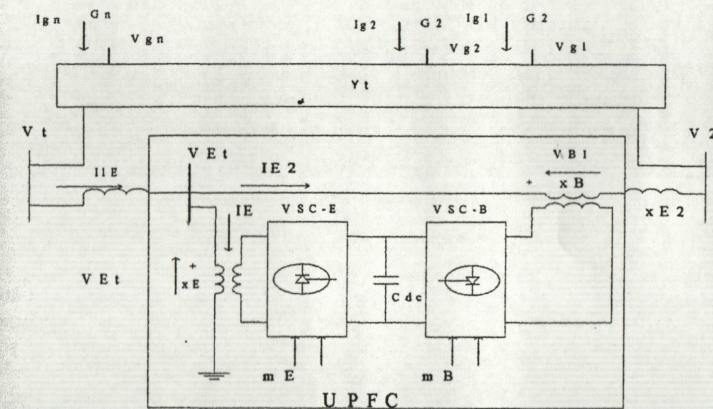
1. Akan diperoleh informasi ilmiah penggunaan UPFC untuk meminimisasi rugi daya pada saluran transmisi sistem tenaga listrik Sumbar-Riau.
2. Sebagai masukan untuk PLN Sumbar-Riau.
3. Pengaruh minimisasi rugi daya saluran transmisi terhadap rugi daya total sistem tenaga listrik sesudah pemasangan UPFC.

### KAJIAN PUSTAKA

#### 1. Model UPFC

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.



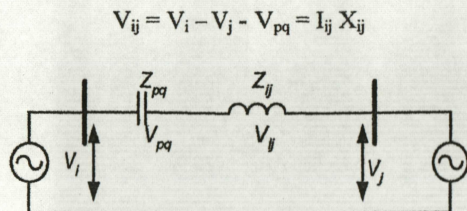
Gambar 1. UPFC yang dipasang pada sistem tenaga (Wang, IEEE-PES 30, pp 398)

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

#### 2. Prinsip Kerja UPFC

Aliran daya listrik yang lewat saluran transmisi merupakan fungsi impedansi saluran, tegangan ujung pengirim dan ujung penerima, serta sudut fase tegangan. Aliran daya akan tergantung pada tegangan saluran. Gambar 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 :





Gambar 2. Diagram satu garis saluran transmisi

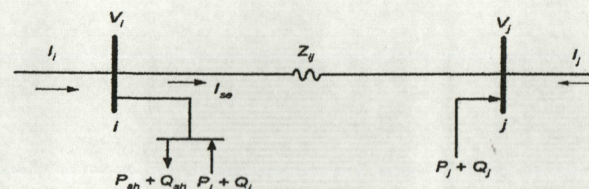
Tegangan  $V_{ij}$  saluran transmisi dapat dirubah oleh perubahan tegangan injeksi  $V_{pq}$  yang terhubung seri dengan saluran, sebagai akibat arus saluran dan aliran daya dapat berubah. Tegangan ujung pengirim  $V_i$  mendahului ujung penerima

$$\begin{aligned}
 S_{sh} &= P_{sh} + jQ_{sh} = V_i(V_i - V_{sh} / Z_{sh}) \\
 P_{sh} &= V_i^2 Y_{sh} \cos \theta_{sh} - V_i V_{sh} Y_{sh} \cos(\theta_{sh} - \delta_i + \delta_{sh}) \\
 Q_{sh} &= -V_i^2 Y_{sh} \sin \theta_{sh} + V_i V_{sh} Y_{sh} \sin(\theta_{sh} - \delta_i + \delta_{sh}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

dengan :

- $P_{sh}$  = aliran daya aktif ke sumber tegangan shunt (MW)
- $Q_{sh}$  = aliran daya reaktif ke sumber tegangan shunt (MVAR)
- $V_i$  = 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 3. Bagian seri UPFC ke dalam dua penginjeksian daya pada bus i dan bus j

Injeksi daya dari tegangan seri pada bus I adalah:

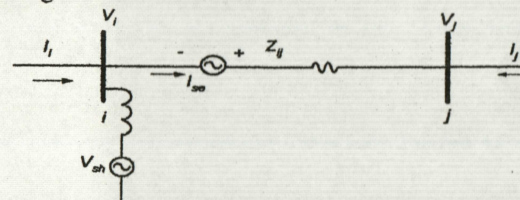
$$\begin{aligned}
 S_i &= P_i + jQ_i = V_i(-V_{pq}/Z_{ij}) \quad (2) \\
 P_i &= -V_i V_{pq} Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \quad (3) \\
 Q_i &= V_i V_{pq} Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_{pq}) \quad (4)
 \end{aligned}$$

dengan :

- $P_i$  = aliran daya aktif ke bus-i (MW)
- $Q_i$  = aliran daya reaktif bus- i (MVAR)
- $Y_{ij}$  = admitansi saluran dari busbar i dan j (pu)
- $\theta_{ij}$  = sudut fasa admintans dari busbar i dan j (derajat)

### 3. Model Injeksi daya UPFC

Pengaruh UPFC pada system daya dalam keadaan mantap dapat dianalisis dengan membuat model injeksi sebagai fungsi utama. Rangkaian ekivalen 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 paralel dengan saluran transmisi.



Gambar 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

$$V_{pq} = \text{besaran tegangan sumber seri}$$

$$\delta_{pq} = \text{sudut fasa tegangan sumber seri}$$

$$V_{sh} = \text{besaran tegangan sumber shunt}$$

$$\delta_{sh} = \text{sudut fasa tegangan sumber shunt}$$

Besaran dan sudut fasa 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 fasa 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 ekuivalen gambar 1.4, tahap awal adalah mentransformasikan sisi shunt UPFC dalam suatu penginjeksian daya pada bus  $i$  yang besarnya :

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

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

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

dengan :

$$P_i = \text{aliran daya aktif ke bus-}i \text{ (MW)}$$

$$Q_i = \text{aliran daya reaktif bus- }i \text{ (MVAR)}$$

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

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

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

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

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

dengan :

$$P_j = \text{aliran daya aktif ke bus-}j \text{ (MW)}$$

$$Q_j = \text{aliran daya reaktif bus- }i \text{ (MVAR)}$$

$$V_j = \text{besaran tegangan pada reaktif bus-}i \text{ (pu)}$$

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

Transfer daya searah UPFC yang dihasilkan sumber seri adalah :

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

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

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:

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

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

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

#### 4. Batasan Perangkat UPFC

Pemanfaatan secara penuh perangkat UPFC untuk pengendalian 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 (Pdc)
- iv. Arus shunt ( $I_{sh}$ )
- v. Besar tegangan injeksi shunt ( $V_{sh}$ )

Dalam bentuk matematis dinyatakan dengan :

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

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

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

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

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 ( $I_{se,max}$ ) merupakan arus termal saluran. Transfer daya nyata diinverter seri (Pdc) 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  $I_{se,max}$  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  $I_{se,max}$ .

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

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

dengan :

- $B_{ij}$  = susceptansi 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  $I_{se}$ .

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

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

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

dengan :

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

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

Modifikasi sudut fase tegangan injeksi seri  $\delta_{pq}$  diperoleh

dari daya aktif sumber tegangan seri  $P_{dc\text{maks}}$  yang besarnya :

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

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 fase tegangan injeksi seri pada daerah (-1,1) untuk mengurangi  $P_{dc}$ .

## METODE 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 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.

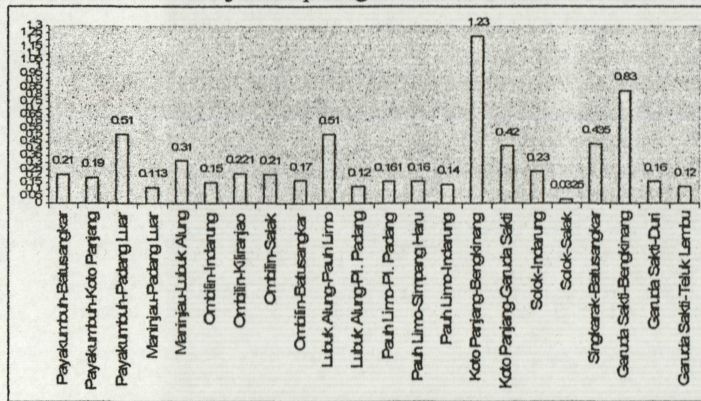


HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

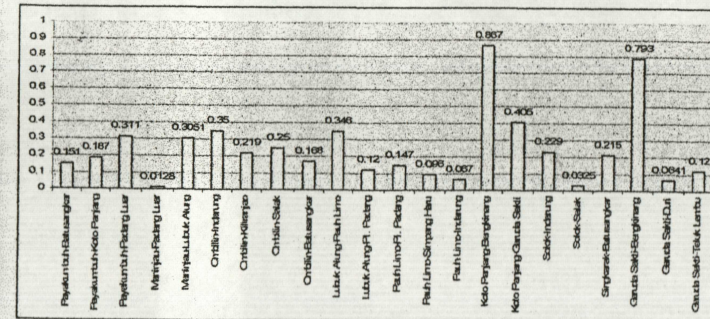
1. Hasil dan Pembahasan Penelitian

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.

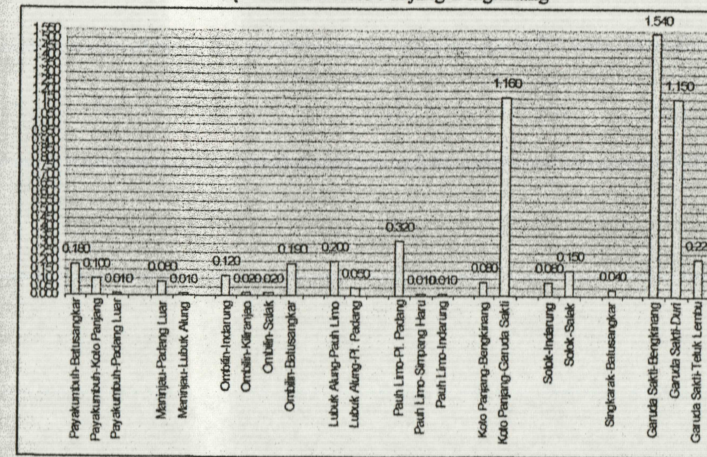
Fungsi sasaran dari penggunaan UPFC pada saluran transmisi adalah guna meminimisasi rugi-rugi daya aktif total saluran transmisi, tanpa melampaui batasan yang ditetapkan. Hasil aliran daya sistem tenaga sebelum pemasangan UPFC dan menunjukkan rugi-rugi daya aktif pada masing-masing saluran dengan total 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 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

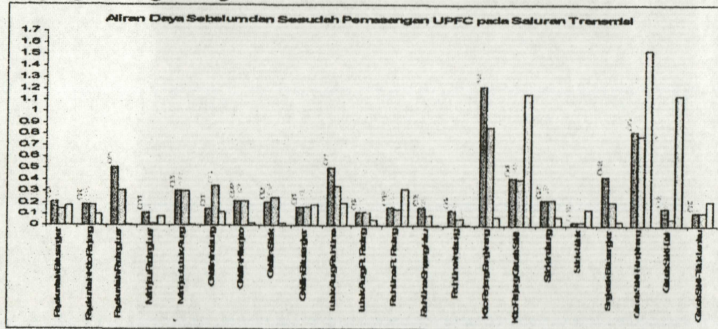


c. Grafik rugi daya saluran setelah pemasangan UPFC untuk penempatan UPFC pada saluran transmisi Maninjau-Padang Luar

Gambar 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 pemasangan UPFC pada saluran tersebut sehingga terjadi penyerapan daya aktif pada saluran Koto Panjang – Bengkinang.



Gambar 2. Grafik hasil simulasi rugi – rugi daya aktif total pada saluran transmisi, sebelum dan sesudah pemasangan UPFC

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 grafik rugi-rugi daya aktif masing-masing saluran ditunjukkan pada gambar 3 di atas.

## PENUTUP

### 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.

### Saran – saran

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

1. Guna mengoptimalkan kerja UPFC untuk meminimasi 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 Optimization*, 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.