

Pengaruh Penempatan Unified Power Flow Controller Terhadap Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Lesnanto Multa Putranto

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi, FT UGM
Yogyakarta, Indonesia
lesnanto@ugm.ac.id

Sasongko Pramono Hadi

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi, FT UGM
Yogyakarta, Indonesia
sasongko@te.ugm.ac.id

Restu Prima Aridani

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi, FT UGM
Yogyakarta, Indonesia
restuprima_te09@mail.ugm.ac.id

Abstract — Permintaan kebutuhan listrik kian meningkat pesat, konsekuensi dari hal ini adalah adanya ancaman terhadap kestabilan sistem yang salah satunya adalah kestabilan tegangan. *Flexible Alternating Current Transmission System* (FACTS) adalah peralatan elektronik solid state yang mampu mengatur transmisi daya listrik secara fleksibel yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada penelitian ini akan di uji pengaruh penempatan *Unified Power Flow Controller* (UPFC), sebagai salah satu dari jenis FACTS, terhadap kestabilan tegangan sistem tenaga listrik dengan menggunakan rangkaian sistem standar IEEE 14. Kestabilan tegangan diamati dengan menggunakan bantuan kurva PV yang dapat menunjukkan nilai karakteristik tegangan terhadap pembebanan daya aktif untuk setiap bus, dengan. Nilai tegangan sistem pada saat mencapai titik *Maximum Loading Point* (MLP) digunakan untuk memilih bus atau saluran terkritik sebagai lokasi penempatan UPFC. Efek pemasangan UPFC terhadap besarnya nilai pembangkitan dan losses juga diamati pada berbagai nilai pembebanan yang bervariasi. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan UPFC pada saluran terkritik dapat meningkatkan kestabilan tegangan dengan indikasi nilai MLP yang semakin besar, dan menyebabkan losses berkurang, besar pembangkitan semakin kecil sehingga membuat sistem semakin efisien.

Keywords— kestabilan tegangan, FACTS, UPFC, MLP

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini permintaan kebutuhan listrik kian meningkat pesat, hal ini menuntut dibangunnya unit pembangkit baru dan sistem transmisi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus berkembang. Namun untuk membangun jalur transmisi baru untuk saat ini menjadi sangatlah sulit yang disebabkan karena faktor ekonomi dan lingkungan [1]. Konsekuensi dari hal ini adalah ancaman kehilangan stabilitas sistem. Salah satu diantaranya adalah stabilitas tegangan. Ketidakstabilan tegangan menyebabkan tegangan sistem kolaps, yang membuat sistem tegangan menurun. Stabilitas sistem tenaga harus dipertahankan setiap saat. Oleh karena itu, dalam rangka untuk mengoperasikan sistem tenaga listrik secara efektif, tanpa pengurangan sistem keamanan dan kualitas pasokan, maka diperlukan sebuah strategi kontrol baru untuk dilaksanakan.

Pada akhir tahun 1980, *Electric Power Research Institute* (EPRI) memperkenalkan pendekatan baru untuk memecahkan masalah dalam merancang, mengendalikan dan

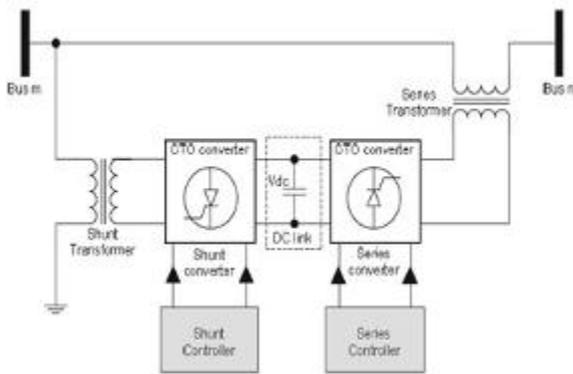
mengoperasikan sistem tenaga. Konsep yang diajukan dikenal sebagai FACTS. Pada dasarnya FACTS adalah kumpulan peralatan yang dibuat dari komponen elektronik solid state untuk pengaturan atau pengendalian transmisi daya listrik secara fleksibel [2]. Keuntungan penggunaan FACTS adalah waktu reaksinya yang berkecepatan tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi dari peralatan kendali mekanik.

Konsep FACTS pertama diperkenalkan oleh N.G. Hingorani pada 19 April, 1988. Sejak saat itu berbagai jenis pengendali FACTS telah direkomendasikan. Pengendali FACTS berbasis pada sumber tegangan konverter, yang meliputi *Static Var compensator* (SVC), *Static Synchronous Compensator* (STATCOM), *Thyristor Controlled Series Compensator* (TCSC), *Static Synchronous Series Compensators* (SSSC) dan *Unified Power Flow Controller* (UPFC). Diantara jenis FACTS di atas UPFC merupakan perangkat yang paling serbaguna dan efisien yang diperkenalkan pada tahun 1991 [3].

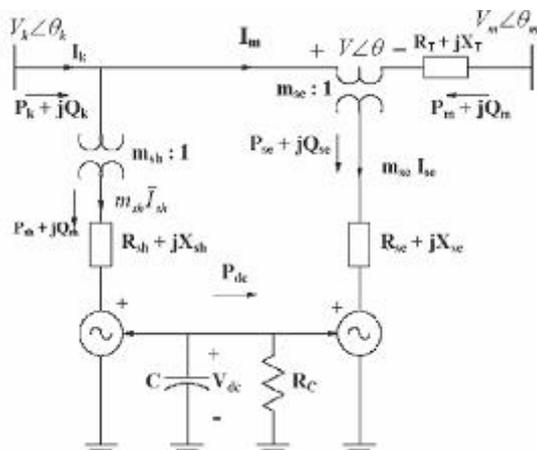
Dalam penelitian ini akan disimulasikan mengenai pengaruh penempatan UPFC terhadap kestabilan tegangan sistem tenaga listrik. Salah satu indikator kestabilan sistem tenaga listrik adalah dengan melihat kurva PV yang dapat diperoleh dengan metode *continuation power flow* (CPF) [4].

II. UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER

UPFC merupakan peralatan FACTS terkini yang telah diimplementasikan dalam sistem tenaga. UPFC menggabungkan antara STATCOM dan SSSC, sehingga UPFC memiliki keunggulan dari STATCOM dan SSSC. Diantara peralatan FACTS, UPFC merupakan peralatan serbaguna, dikarenakan dapat mengontrol tegangan suatu bus dan aliran daya untuk operasi sistem yang optimal. Sifat serbaguna ini dikarenakan terdapat dua *switching converter* yang terdapat pada UPFC. Dua *converter* tersebut dihubungkan menggunakan *DC link*. *Series inverter* 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 dapat menyediakan daya aktif ke *series transformer*. Sedangkan fungsi dari *series inverter* berkaitan dengan pengaturan tegangan. Skema dasar UPFC diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Dasar UPFC



Gambar 2. Model UPFC

Model UPFC ditunjukkan pada Gambar 2, Berdasarkan gambar tersebut ada beberapa parameter yang dapat diatur untuk menjaga level tegangan dan aliran daya sistem [5], yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_k &= P_{sh} + \sum (\bar{V}_k \bar{I}_k^*) \\
 Q_k &= Q_{sh} + \sum (\bar{V}_k \bar{I}_k^*) \\
 P_n &= -\sum (\bar{V}_n \bar{I}_n^*) \\
 Q_n &= -\sum (\bar{V}_n \bar{I}_n^*)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Daya P_{sh} dan Q_{sh} yang diserap bagian kompensasi paralel adalah:

$$\begin{aligned}
 P_{sh} &= V_k^2 G_{sh} - K_{sh} V_{dc} V_k G_{sh} \cos(\theta_k - \alpha) \\
 &\quad - K_{sh} V_{dc} V_k B_{sh} \sin(\theta_k - \alpha)
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{sh} &= V_k^2 B_{sh} - K_{sh} V_{dc} V_k B_{sh} \cos(\theta_k - \alpha) \\
 &\quad - K_{sh} V_{dc} V_k G_{sh} \sin(\theta_k - \alpha)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Rangkaian DC memiliki persamaan diferensial berikut:

$$V_{dc} = \frac{P_{sh}}{C V_{dc}} + \frac{\sum |\bar{V}_m^*|}{C V_{dc}} = \frac{V_{dc}}{R_c C} - \frac{R_{sh} (P_{sh}^2 + Q_{sh}^2)}{C V_{dc} V_k^2} - \frac{R_{se} I_m^2}{C V_{dc}} \tag{4}$$

Dimana:

$$K_{sh} = \sqrt{\frac{3}{8m_{sh}}} \tag{5}$$

Maka Arus I_m dan tegangan V karena kompensasi seri:

$$I_m = \frac{(1 - \alpha_1)(\bar{V}_m - \bar{V}_n) - \alpha_2 \bar{V}_1}{R_T + jX_T} \tag{6}$$

$$V = \alpha_1 (\bar{V}_m - \bar{V}_n) + \alpha_2 \bar{V}_1 \tag{7}$$

III. STABILITAS TEGANGAN

Stabilitas tegangan adalah kemampuan suatu sistem tenaga untuk mempertahankan level tegangan pada kondisi normal dan kondisi setelah mengalami gangguan. Definisi ini memberikan gambaran tentang kekokohan sistem tenaga listrik yang dinilai berdasarkan kemampuan menjaga keseimbangan antara permintaan beban dan daya listrik yang dihasilkan. Sistem ini bisa menjadi tidak stabil karena penambahan permintaan secara terus menerus yang akan menyebabkan penurunan tegangan yang tak terkontrol.

A. Kurva PV

Analisis stabilitas tegangan dengan menggunakan kurva PV atau *nose curve* ini adalah untuk melihat pada kondisi beban total berapa (MW) tegangan sistem mengalami *collapse*. Artinya kemampuan sistem dalam menyalurkan daya aktif telah melebihi kemampuan sistem itu sendiri. Bentuk kurva PV merupakan representasi dari bus beban, sedangkan pada bus swing dan bus generator tidak berlaku karena pada bus tersebut terdapat generator sehingga nilai tegangannya tetap untuk perubahan beban tertentu.

Kurva PV atau *nose curve* merepresentasikan variasi tegangan yang berkaitan dengan variasi beban aktif. Kurva PV ini diperoleh dari serangkaian solusi aliran daya untuk tingkat beban berbeda yang terdistribusi secara merata dengan menjaga faktor daya tetap. Daya aktif yang dibangkitkan sebanding dengan rating generator atau berdasarkan faktor permintaan beban dari konsumen. Komponen P dan Q dari setiap beban tergantung dari tegangan bus sesuai dengan model yang dipilih. Penentuan titik kritis untuk peningkatan beban yang diberikan sangat penting karena dapat menyebabkan runtuhnya tegangan sistem.

IV. METODE PENELITIAN

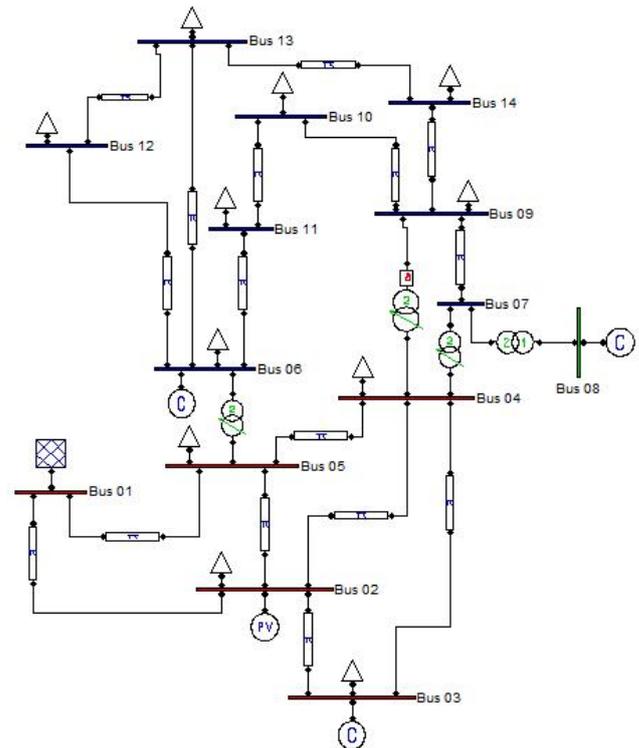
Secara garis besar, penelitian dilakukan seperti pada diagram alir Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah rangkaian standar IEEE 14 bus seperti pada Gambar 4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) versi 2.1.8. yang dikembangkan oleh Federico Milano [6].

Kestabilan tegangan diamati dengan menggunakan bantuan kurva PV yang dapat menunjukkan nilai kondisi tegangan disetiap kondisi operasi melalui simulasi CPF. Nilai tegangan sistem pada saat mencapai MLP digunakan untuk memilih bus atau saluran terkritis sebagai lokasi penempatan UPFC. Kemudian dilakukan perubahan variasi beban. Selain itu besarnya nilai pembangkitan dan *losses* juga diamati untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah dipasang UPFC.



Gambar 4. Sistem IEEE 14 Bus

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Base case study

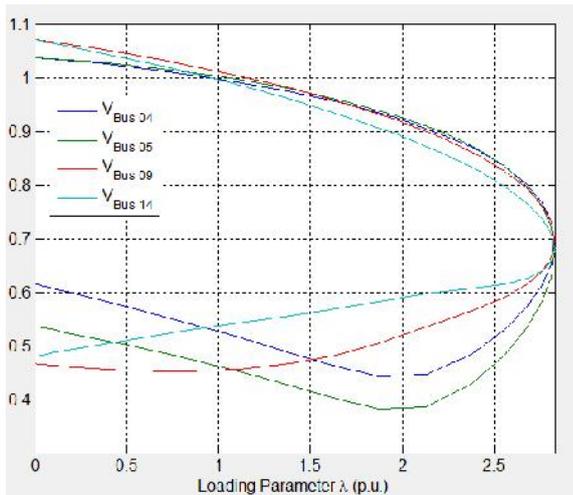
Analisis stabilitas tegangan dilakukan dengan diawali titik awal operasi stabil kemudian beban ditingkatkan sesuai dengan faktor hingga titik linear aliran daya diperoleh. Beban didefinisikan dengan persamaan:

$$P_L = P_{LO} (1 +)$$

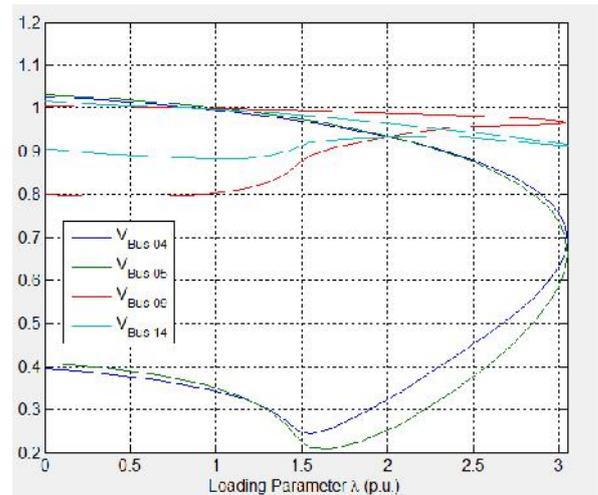
$$Q_L = Q_{LO} (1 +) \tag{8}$$

Dimana P_{LO} dan Q_{LO} merupakan daya aktif dan daya reaktif beban dasar, sedangkan P_L dan Q_L merupakan daya aktif dan daya reaktif beban di bus L untuk titik operasi tertentu yang didefinisikan oleh .

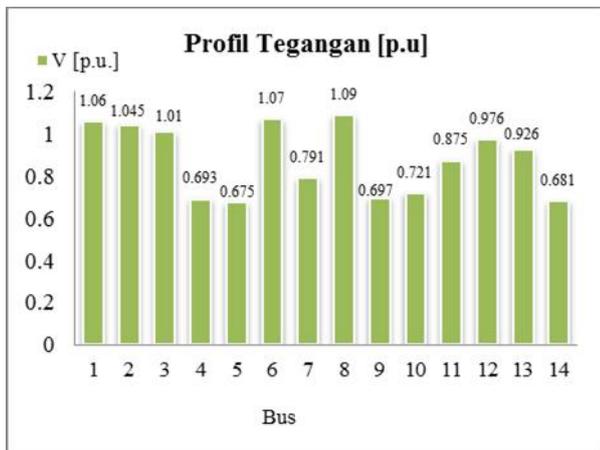
Dari hasil simulasi CPF pada gambar 5 didapatkan bahwa bus 4, 5, 9, 14 merupakan empat bus terkritis. Berdasarkan kurva PV tersebut bus 14 merupakan bus yang paling rentan. Sedangkan berdasarkan magnitudo tegangan seperti pada Gambar 6 Bus 5 memiliki nilai terkecil sebesar 0,675 p.u pada saat parameter pembebanan maksimum (MLP). Dari kondisi tersebut maka akan dipasang UPFC pada saluran 14 – 9 dan saluran 5 – 4 dan dilihat diposisi mana penempatan UPFC menghasilkan nilai MLP terbesar. Semakin besar nilai MLP artinya sistem semakin tahan terhadap ketidakstabilan tegangan.



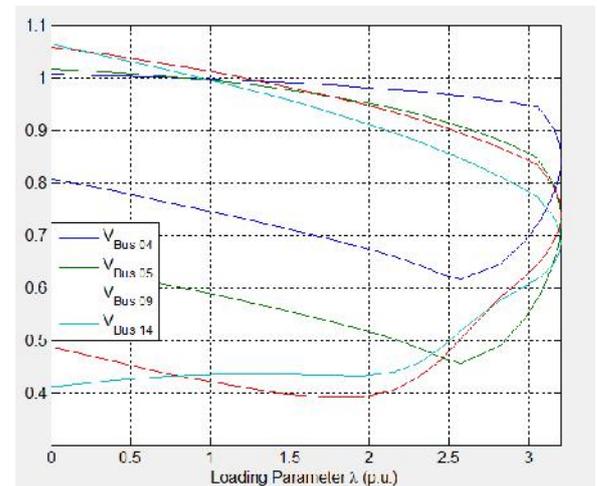
Gambar 5. Kurva PV Base Case Study



Gambar 7. Kurva PV UPFC 14 – 9



Gambar 6. Profil Tegangan Base Case Study



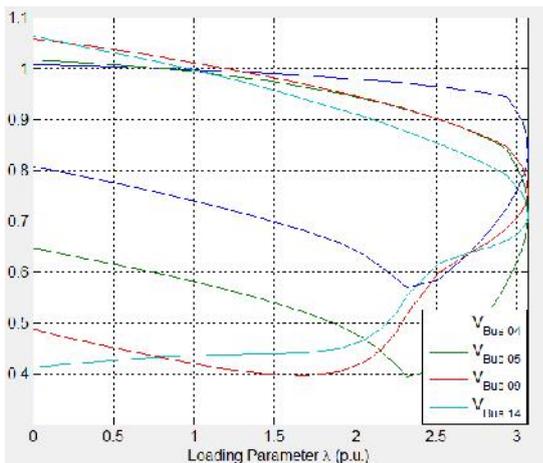
Gambar 8. Kurva PV UPFC 5 – 4

B. Perbandingan Pemasangan UPFC pada saluran 14 – 9 dan 5 – 4

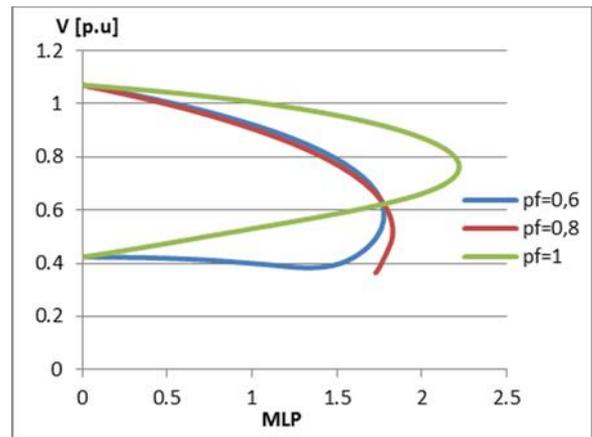
Dari hasil simulasi ketika UPFC ditempatkan diantara saluran 14 – 9 nilai MLP 3,0487, sedangkan pada saluran 5 – 4 nilai MLP 3,205 seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Hal tersebut menunjukkan bahwa penempatan UPFC harus memperhatikan dua faktor yaitu magnitude tegangan saat mencapai titik operasi maksimum dan kurva PV terkritis. Pemasangan UPFC di saluran 5 – 4 jauh lebih baik, parameter pembebanannya naik sebesar 0,3764 (11,74 %) jika dipasang pada saluran 14 – 9.

C. Penambahan beban pada bus 5

Dilakukan variasi pembebanan dengan menaikkan beban di bus 5 sebesar 0,2 p.u dari nilai semula untuk mengetahui apakah kestabilan tegangan masih terjaga jika terjadi kenaikan beban di titik kritis dengan melihat perbandingan nilai MLP saat sistem belum dipasang UPFC. Setelah dilakukan simulasi ternyata dihasilkan nilai MLP sebesar 3,068 seperti terlihat pada Gambar 9. Hal ini menunjukkan sistem masih mampu menjaga kestabilan tegangan.



Gambar 9. Kurva PV Dengan Penambahan Beban



Gambar 10. Kurva PV Bus 10

D. Besar Pembangkitan dan Losses

Pemasangan UPFC juga mempunyai efek terhadap besar pembangkitan dan losses yang terjadi pada jaringan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. PERBANDINGAN BESAR PEMBANGKITAN DAN LOSSES

Total Beban (p.u)	Base Case	UPFC 5 – 4
Daya Aktif	3,626	3,626
Daya reaktif	1,1396	1,1396
Total Pembangkitan (p.u)		
Daya Aktif	3,920523	3,807476
Daya Reaktif	2,055359	1,678814
Losses (p.u)		
Daya Aktif	0,294523	0,181476
Daya Reaktif	0,915759	0,539214

*Basis MVA = 100 MVA

Dari tabel diatas dengan total beban tetap, pemasangan UPFC yang ditempatkan di saluran 4 – 5 ini menyebabkan losses sistem berkurang, dimana losses daya aktif berkurang sebesar 0,113044 p.u (38%), sedangkan losses daya reaktif berkurang sebesar 0,376546 p.u (41%) . Dengan berkurangnya losses maka dengan asumsi total beban yang tetap maka besar pembangkitan yang perlu dibangkitkan akan menjadi semakin kecil, hal ini akan berakibat pada penghematan biaya pada bahan bakar, selanjutnya akan berdampak pada semakin efisien atau murah biaya pembangkitan yang diperlukan.

E. Pengaruh Faktor Daya Beban pada Kurva PV

Faktor daya beban merupakan kombinasi dari beban daya aktif dan daya reaktif sistem. Untuk melihat pengaruhnya pada kurva PV maka dilakukan simulasi berbagai nilai faktor daya yaitu 0,6; 0,8; dan 1 di bus 10. Dari Gambar 10 ditunjukkan bahwa semakin besar faktor daya beban maka akan menghasilkan kurva PV yang lebih tahan terhadap ketidakstabilan tegangan sistem yang diindikasikan dengan nilai MLP yang semakin besar. Berturut-turut nilai MLP nya adalah 1,776 untuk faktor daya 0,6; 1,8254 untuk faktor daya 0,8; dan 2,2211 untuk faktor daya 1.

VI. KESIMPULAN

Penempatan UPFC pada jaringan sistem IEEE 14 bus dapat meningkatkan kestabilan tegangan yang diindikasikan oleh nilai MLP yang semakin besar. Penempatan UPFC mampu menjaga kestabilan tegangan terhadap variasi kenaikan beban pada saluran yang sudah kritis sekalipun dengan cara membandingkan nilai MLP setelah dipasang UPFC lebih besar atau sama dengan nilai MLP sebelum dipasang UPFC. Selain itu juga Penempatan UPFC mampu menjadikan profil tegangan sistem semakin baik, mengurangi losses daya aktif dan reaktif yang selanjutnya akan berdampak pada semakin murah atau efisiennya biaya pembangkitan yang diperlukan.

REFERENSI

- [1] Arthit Sode, Nadarajah Mithulananthan, "Static Voltage Stability Margin Enhancement Using STATCOM, TCSC and SSSC", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China*, 2005.
- [2] Zhang Xiao-Ping, Bikash Pal, and Christian Rehtanz, "FACTS-Devices and Applications," in *Flexible AC Transmission Systems : Modelling and Control* , First Edition ed. New York: Springer, 2006, p. 2.
- [3] Arup Ratan Bhowmik, Champa Nandi, "Implementation of Unified Power Flow Controller (UPFC) for Power Quality Improvement in IEEE 14-Bus System", *Int. J. Comp. Tech. Appl., Vol 2 (6)*, Nov-Dec 2011.
- [4] Nimit Boonpirom, Kitti Paitoonwattanakij, "Static Voltage Stability Enhancement Using FACTS", *Power Engineering Conference, The 7 th International*. Page (s): 711 – 715 Vol. 2, IPEC 2005.
- [5] M. Ahmadi, M. Alinezhad, H. Lesani, N. Talebi, "Comparison of SVC, STATCOM, TCSC, and UPFC Controllers for Static Voltage Stability Evaluated by Continuation Power Flow Method", *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, 2008.
- [6] Federico Milano, "Power System Analysis Toolbox," Version 1.3.4, Software and Documentation, July 14, 2005.
- [7] Mehرداد Ahmadi, Hamidi Lesani, "Effect of STATCOM, TCSC, SSSC, and UPFC on static voltage stability", *springer Verlag Electr Eng* 93:33-42, 2011.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan