

DAMPAK PEMASANGAN PERALATAN FACTS TERHADAP STABILITAS TEGANGAN PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Zainal Abidin^{*)}, Sasongko Pramono Hadi^{*)}, and Sarjiya^{*)}

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

^{*)}E-mail : phosporus007@gmail.com, sasongko@te.ugm.ac.id, sarjiya@te.ugm.ac.id

Abstrak

Ketidakstabilan tegangan merupakan fenomena dalam sistem tenaga listrik yang dapat menyebabkan voltage collapse pada sistem. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menjaga kestabilan adalah dengan memasang peralatan FACTS pada sistem. Penelitian ini bertujuan membandingkan tiga jenis FACTS yaitu SVC, TCSC dan UPFC dalam meningkatkan kestabilan tegangan. Penempatan peralatan FACTS dilakukan berdasarkan analisis menggunakan PV-curve, line stability indices yang terdiri dari L_{mn} , fast voltage stability index (FVSI), dan voltage collapse proximity index (VCPI) untuk menentukan bus dengan tegangan terkritik sebagai kandidat lokasi pemasangan peralatan FACTS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan SVC memperbaiki loading parameter sebesar 0,0797 pu (2,82%) dan tegangan kritis sebesar 0,276 pu (40,53%). Sementara penempatan TCSC mampu menaikkan loading parameter sebesar 0,0151 pu (0,5%) dan tegangan kritis sebesar 0,0354 pu (5,2%). Sedangkan UPFC mampu menaikkan loading parameter sebesar 0,2212 pu (7,82%) dan tegangan kritis sebesar 0,2354 pu (34,57%).

Kata kunci: stabilitas tegangan, FACTS, CPF, line stability indices

Abstract

Voltage instability is a phenomenon in electric power systems that can lead to voltage collapse in the system. FACTS devices are used to maintain the stability. This study aims to compare the effects of three types of FACTS devices SVC, TCSC and UPFC for improving voltage stability. Placement of FACTS devices based on the analysis performed using the PV-curve, line stability indices consisting of L_{mn} , fast voltage stability index (FVSI), and voltage collapse proximity index (VCPI) to determine the most critical bus voltage. FACTS equipment installed on buses that have a most critical voltage. Simulation results show that SVC installation can improve loading parameters of 0,0797 pu (2,82%) and critical voltage of 0.276 pu (40,53%). While the placement of TCSC able to improve the loading parameters of 0.0151 pu (0,5%) critical voltage of 0.0354 pu (5,2%). Whereas UPFC is able to improve the loading parameters of 0,2212 pu (7,82%) and critical voltage of 0,2354 pu (34,57%).

Keywords: voltage stability, FACTS, CPF, line stability indices

1. Pendahuluan

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan aspek penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga. Sistem tenaga listrik harus dioperasikan dengan tujuan mempertahankan daya saluran dan tegangan pada setiap bus berada pada batas operasinya. Perubahan daya reaktif menyebabkan ketidakstabilan tegangan pada sistem seperti ketidakstabilan tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Rugi-rugi daya semakin besar ketika sistem beroperasi pada beban maksimum. Dalam kondisi ini, sistem dapat distabilkan dengan mengurangi daya reaktif beban atau menyediakan sumber daya reaktif seperti bank kapasitor atau peralatan *flexible AC transmission systems* (FACTS). Peralatan FACTS memiliki beberapa

kemampuan antara lain meningkatkan fleksibilitas operasi, kestabilan sistem kelistrikan, dan pemanfaatan jaringan eksisting yang sudah ada [1].

Perangkat FACTS yang umum digunakan antara lain *thyristor controlled series compensator* (TCSC), *static VAR compensator* (SVC), *static compensator* (STATCOM), dan *unified power flow controller* (UPFC). Peralatan FACTS yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan stabilitas tegangan statis yaitu SVC dan TCSC [2]. Sedangkan UPFC dan STATCOM mampu meningkatkan loading parameter dan injeksi MVar [3]. Hal ini yang mendasari dipilihnya SVC, TCSC dan UPFC dalam penelitian ini. Perangkat FACTS telah banyak digunakan untuk stabilitas tegangan dan kompensasi daya reaktif mengendalikan aliran daya dan meningkatkan

kestabilan dinamis. Pentingnya pemasangan peralatan FACTS pada sistem tenaga listrik, karena peralatan FACTS mampu meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik, meningkatkan kualitas daya, menurunkan *losses* pada sistem, dan meningkatkan *loading parameter* sistem [4]-[10].

Dalam rangka mengoptimalkan dan memperoleh manfaat terbaik dari penggunaan perangkat FACTS, perlu untuk mempertimbangkan tiga hal utama sebagai berikut: 1) jenis pengendali FACTS yang harus digunakan, 2) *setting* dari pengendali FACTS, dan 3) lokasi terbaik dari FACTS pengendali dalam sistem transmisi. Sejumlah algoritma telah dirancang untuk mengatasi ketiga masalah ini seperti penggunaan metode *artificial intelligence* [11]-[15]. Namun, belum banyak penelitian yang menggunakan *line stability indices* sebagai indikator untuk menentukan tingkat kestabilan steady state sebuah sistem tenaga listrik. Penelitian ini membandingkan dampak pemasangan SVC, TCSC dan UPFD terhadap stabilitas tegangan sistem berdasarkan *line stability indices*.

2. Metode

2.1. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan merupakan kemampuan sistem tenaga listrik dalam mempertahankan keadaan tunak tegangan di setiap bus baik pada saat terjadi gangguan ataupun setelah gangguan. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi karena adanya gangguan, peningkatan permintaan beban atau perubahan pada sistem yang menyebabkan jatuh tegangan yang tidak dapat dikendalikan. Ketidakstabilan tegangan merupakan fenomena lokal yang dapat mengakibatkan lepasnya beban secara tiba-tiba atau lepasnya salah satu saluran transmisi akibat rele proteksi yang bekerja sebagai respon ketidakstabilan sistem [16].

Paper ini melakukan analisis terhadap stabilitas tegangan, peningkatan profil tegangan dengan menggunakan peralatan FACTS. Pengujian kestabilan tegangan dilakukan melalui simulasi *continuous power flow* (CPF) untuk melihat profil kurva P-V dan menghitung indeks stabilitas tegangan dengan menggunakan metode L_{mn} , FVSI dan VCPI. Peralatan FACTS yang digunakan yaitu TCSC, SVC dan UPFC. Analisis stabilitas tegangan dilakukan melalui skenario sistem tanpa peralatan FACTS dan sistem dengan peralatan FACTS.

2.2. Line Stability Indices

2.2.1. Kurva P-V

Kurva P-V merupakan metode yang paling sering digunakan untuk memprediksi stabilitas tegangan. Metode ini digunakan untuk menentukan batas pembebanan sistem tenaga listrik. Beban sistem secara bertahap meningkat yang mengakibatkan tegangan menurun. Margin antara titik *voltage collapse* dan titik operasi saat ini digunakan sebagai kriteria stabilitas tegangan. Kurva

P-V dapat diperoleh menggunakan persamaan (1) dan menghasilkan bentuk kurva seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 [17].

$$V = \left(\left(\frac{E^2}{2} \right) - QX \pm \sqrt{\left(\left(\frac{E^2}{4} - P^2X - E^2QX \right) \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

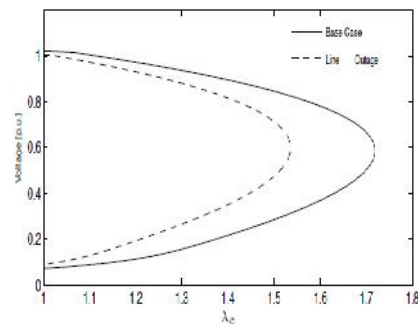
Dimana:

- E^2 = tegangan terminal
- P = daya aktif
- Q = daya reaktif
- X = reaktansi saluran

2.2.2. Line Stability Index L_{mn}

L_{mn} ditentukan berdasarkan konsep transmisi daya saluran tunggal, dimana diskriminan persamaan kuadratik tegangan diatur lebih dari atau sama dengan nol untuk menjaga stabilitas. Jika diskriminan kurang dari nol, maka akar dari persamaan menjadi imajiner yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Indeks L_{mn} dapat ditentukan menggunakan persamaan (2).

$$L_{mn} = \frac{4XQ_j}{(V_i \sin(\theta - \delta))^2} \quad (2)$$



Gambar 1. Kurva P-V

Dimana:

- Q_j = daya reaktif pada ujung terima
- X = reaktansi saluran
- V_i = tegangan pada ujung kirim
- θ = sudut impedansi saluran
- δ = selisih sudut antara tegangan kirim dan terima

Nilai L_{mn} mendekati 1 mengindikasikan bahwa saluran mendekati ambang batas kestabilan, sehingga nilai L_{mn} dipertahankan untuk kurang dari 1 [17].

2.2.3. Fast Voltage Stability Index (FVSI)

Indeks FVSI diturunkan berdasarkan aliran daya yang mengalir pada sebuah saluran transmisi. Adapun indeks stabilitas FVSI dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$FVSI_{ij} = \frac{4Z^2Q_j}{V_i^2X} \quad (3)$$

Dimana:

- Z = impedansi saluran
- Q_j = daya reaktif pada ujung terima
- V_i = tegangan pada ujung kirim
- X = reaktansi saluran

Nilai FVSI yang dievaluasi mendekati 1 menunjukkan bahwa saluran tertentu menuju ke ketidakstabilan yang dapat menyebabkan *voltage collapse* sistem keseluruhan. Untuk mempertahankan kestabilan sistem maka nilai FVSI diharapkan kurang dari 1 [17][18].

2.2.4. Voltage Collapse Proximity Index(VCPI)

Indeks VCPI melakukan investigasi terhadap setiap saluran pada sistem tenaga listrik berdasarkan konsep transfer daya maksimum pada suatu saluran transmisi. Indeks VCPI dapat dihitung menggunakan persamaan (4) dan (5).

$$VCPI(1) = \frac{P_R}{P_{Rmaks}} \tag{4}$$

$$VCPI(2) = \frac{Q_R}{Q_{Rmaks}} \tag{5}$$

Dengan,

$$P_{Rmaks} = \frac{V_s^2 \cos \delta}{(Z_s 4 \cos^2(\theta - \delta)/2)} \tag{6}$$

$$Q_{Rmaks} = \frac{V_s^2 \sin \delta}{(Z_s 4 \cos^2(\theta - \delta)/2)} \tag{7}$$

Dimana:

- P_R = daya aktif pada ujung terima
- Q_R = daya reaktif pada ujung terima
- $P_{R(maks)}$ = daya aktif maksimum yang dapat disalurkan
- $Q_{R(maks)}$ = daya reaktif maksimum yang dapat disalurkan

Nilai P_R dan Q_R didapatkan dari analisis aliran daya konvensional. Dengan meningkatnya daya yang mengalir pada saluran transmisi, nilai VCPI(1) dan VCPI(2) juga meningkat secara perlahan. Ketika nilainya mencapai 1 maka akan terjadi *voltage collapse*. Oleh karena itu, indeks VCPI bervariasi dari 0 (kondisi tanpa beban) hingga 1 (*voltage collapse*) [17].

2.3. Peralatan FACTS

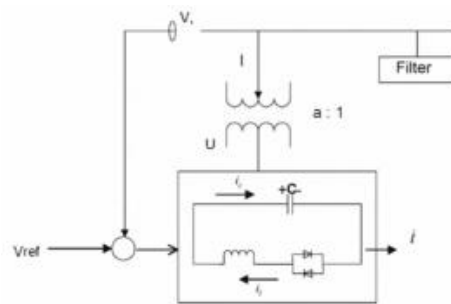
2.3.1. Konfigurasi SVC

SVC merupakan salah satu perangkat FACTS yang banyak digunakan dan terpasang paralel terhadap bus. SVC memiliki kemampuan untuk menghasilkan atau menyerap daya reaktif. SVC dapat dioperasikan pada kompensasi induktif dan kapasitif. Struktur dasar dari SVC ditunjukkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan bahwa model dari SVC diwakili oleh reaktor terkendali dan kapasitor tetap. Melalui koordinasi yang cocok dari kapasitor dan reaktor, bus daya reaktif yang diinjeksikan atau diserap oleh SVC dapat terus bervariasi untuk mengontrol tegangan atau untuk mempertahankan aliran daya yang diinginkan dalam jaringan transmisi baik melalui operasi normal atau dalam kondisi gangguan.

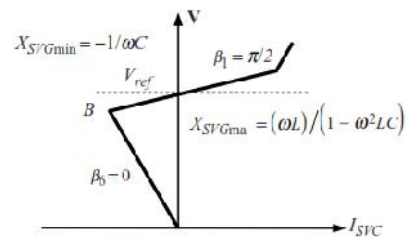
Untuk analisis *steady state*, SVC direpresentasikan sebagai suseptansi. Karakteristik steady state SVC pada Gambar 3 menunjukkan bahwa ada batas atas dan bawah untuk suseptansi SVC[1][19].

2.3.2. Konfigurasi TCSC

TCSC adalah salah satu jenis peralatan FACTS yang dipasang secara seri terhadap saluran transmisi. TCSC dapat mengendalikan aliran daya dan meningkatkan stabilitas sistem tenaga dengan cara mengendalikan impedansi saluran transmisi. Beberapa manfaat dari pemasangan TCSC pada saluran transmisi adalah meningkatkan stabilitas sistem, meningkatkan kapasitas transmisi daya, dan mengurangi rugi-rugi daya. Struktur dasar dari TCSC ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa Kompensasi seri merupakan konsep dasar TCSC. Sebuah kapasitor dipasang secara seri terhadap saluran transmisi dan sebuah induktor serta *bidirectional thyristor* yang terpasang secara paralel terhadap kapasitor tersebut. Sementara kurva karakteristik TCSC ditunjukkan pada Gambar 5 [1][19].



Gambar 2. Model dasar SVC

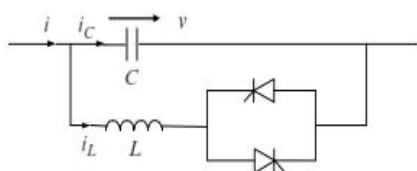


Gambar 3. Karakteristik steady-state V-I pada SVC

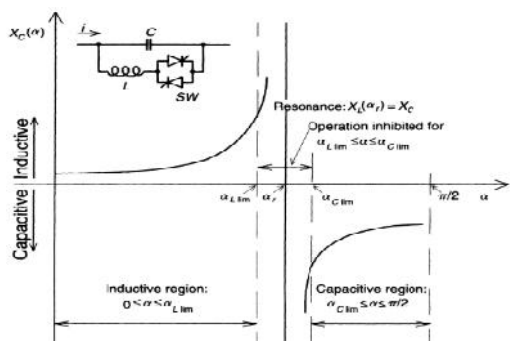
2.3.3. Konfigurasi UPFC

UPFC merupakan peralatan FACTS 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*

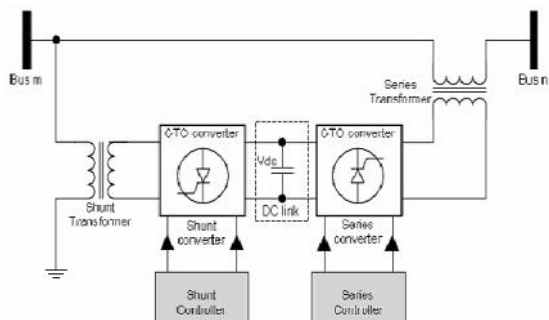
dikopel dengan bus yang ingin dikontrol melalui *shunt transformer*. *Shunt inverter* dapat menghasilkan maupun menyerap dayareaktif dan dapat menyediakan daya aktif ke *seriestransformer*. Sedangkan fungsi dari *series inverter* berkaitan dengan pengaturan tegangan. Skema dasar blok UPFC dapat dilihat pada Gambar 6 dan diagram fasor pemasangan UPFC pada saluran transmisi ditunjukkan oleh Gambar 7 [1][19].



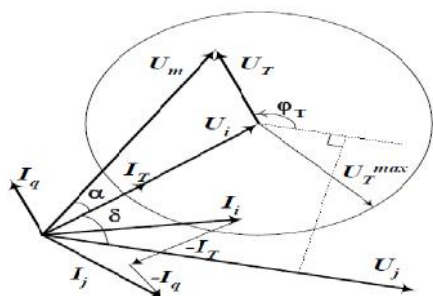
Gambar 4. Model dasar TCSC



Gambar 5. Kurva karakteristik hubungan impedansi dan sudut penyalakan TCSC



Gambar 6. Struktur Dasar UPFC



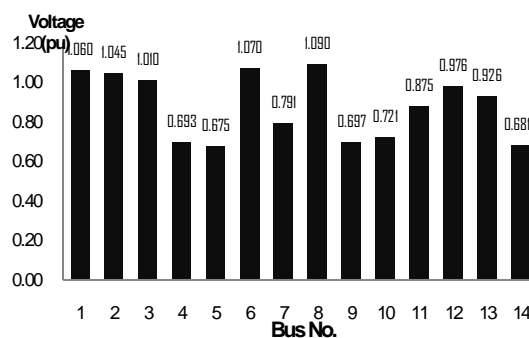
Gambar 7. Diagram fasor pemasangan UPFC pada saluran transmisi

3. Hasil dan Analisa

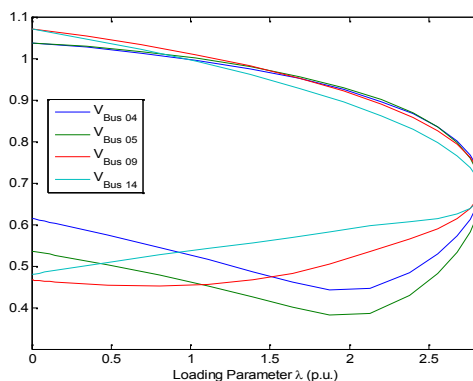
Paper ini menggunakan sistem tenaga listrik standar IEEE 14 bus yang terdiri dari 14 bus, 3 generator dan 16 saluran transmisi. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PSAT 2.1.8 berbasis MATLAB [20]. Analisis kestabilan dilakukan dengan mengamati kurva PV yang dihasilkan dari simulasi *continuation power flow* (CPF) terhadap sistem uji. Selanjutnya menganalisis indeks kestabilan pada saluran transmisi menggunakan metode L_{mn} , FVSI dan VCPI. Pemasangan peralatan FACTS pada sistem mempertimbangkan hasil analisis terhadap kurva PV dan indeks kestabilan yang memiliki nilai dengan rentang 0 sampai dengan 1. Pada bus yang memiliki indeks kestabilan mendekati atau sama dengan 1 mengindikasikan bahwa sistem bergerak ke arah *unstable condition* yang dapat mengakibatkan *voltage collapse*.

3.1. Kondisi Sistem Tanpa FACTS

Pada pengujian *base case* profil tegangan didapatkan melalui analisis CPF terhadap sistem uji IEEE 14 bus yang ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8 terdapat 4 bus yang memiliki tegangan terendah berturut-turut bus 4 sebesar 0.693 pu, bus 5 sebesar 0.675, bus 9 sebesar 0.697 dan bus 14 sebesar 0.681. Sedangkan kurva PV untuk 4 bus terkritis ditunjukkan pada Gambar 9 dengan *maximum loading parameter* untuk setiap bus sebesar 2.8286.



Gambar 8. Profil Tegangan Bus Tanpa Perangkat FACTS



Gambar 9. Kurva PV pada kondisi sistem tanpa FACTS

3.2. Line Stability Indices

Indek kestabilan L_{mn} , FVSI dan VCPI dihitung dengan mengasumsikan bahwa besarnya daya aktif dan reaktif yang mengalir pada suatu saluran transmisi adalah konstan. Indeks kestabilan digunakan untuk menentukan bus terkritis berdasarkan pada *maximum loading parameter* sistem.

Tabel 1. Indeks kestabilan sistem tanpa peralatan facts [17]

Beban (pu)	Line	L_{mn}	FVSI	VCPI(1)	VCPI(2)
$Q_{10}=0.948$	9-10	0.5238	0.5405	0.495	0.495
	10-11	0.5213	0.5346	0.4947	0.4947
$Q_{11}=0.855$	6-11	0.7723	0.8272	0.7311	0.7311
	10-11	0.6265	0.6673	0.5969	0.5969
$Q_{14}=0.728$	9-14	0.8475	0.8994	0.8184	0.8184
	13-14	0.801	0.8493	0.7668	0.7668

Profil tegangan yang ditunjukkan pada Gambar 8, tegangan pada bus 5 dan 14 berturut-turut 0.675 pu dan 0.681 pu mengindikasikan bus terkritis pada sistem. Hal ini diperkuat oleh Gambar 9 yang menunjukkan bahwa kondisi kritis dialami oleh bus 14 dimana nilai tegangan setelah melewati titik kritis menurun dengan cepat. Sedangkan Tabel 1 menunjukkan bahwa bus 14 menjadi kandidat terkuat sebagai bus terkritis yang ditunjukkan dengan nilai beberapa indeks kestabilan mendekati 1. Berdasarkan analisis tersebut dapat ditentukan bahwa kandidat lokasi peralatan FACTS dapat dipasang pada saluran antara bus 13-14 atau 9-14. Dengan mempertimbangkan nilai tegangan pada bus 9 lebih rendah daripada bus 13, maka peralatan FACTS dipasang pada saluran transmisi antara bus 9-14.

3.3. Pemasangan SVC pada bus 14

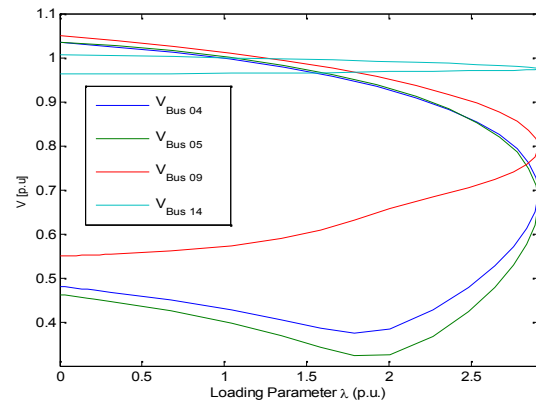
Berdasarkan hasil analisis kurva PV dan indeks kestabilan saluran, bus 14 merupakan bus terkritis sehingga pemasangan optimal SVC ditempatkan di bus 14. Pemasangan SVC pada bus 14 telah menaikkan nilai tegangan kritis di bus 14 dari 0.681 pu menjadi 0.957 pu dengan kenaikan sebesar 0.276 pu atau 40.53%. Profil tegangan setelah pemasangan SVC ditunjukkan pada Gambar 10. Selain itu, pemasangan SVC juga berdampak pada peningkatan loading parameter pada saluran 9-14 dari 2.8286 pu menjadi 2.9083 pu atau naik sebesar 2.82%. Kurva PV setelah pemasangan SVC ditunjukkan pada Gambar 11.

3.4. Pemasangan TCSC pada saluran 9-14

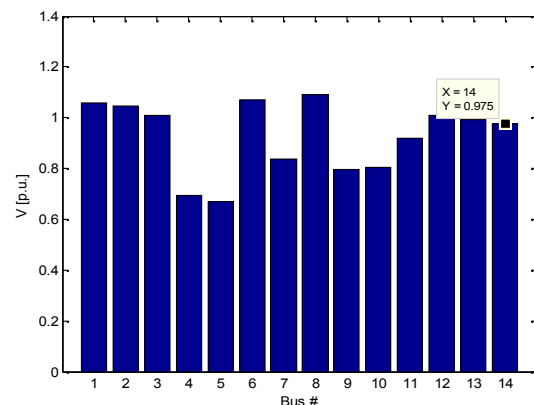
Berdasarkan hasil analisis kurva PV dan perhitungan indeks kestabilan saluran, pemasangan optimal untuk TCSC dapat dilakukan pada saluran yang berhubungan dengan bus 14, yaitu saluran 13-14 atau 9-14, tetapi melihat profil tegangan di bus 9 yang kurang dari tegangan di bus 13 maka TCSC dipasang pada saluran 9-

14. Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi sistem setelah dipasang TCSC yang dapat menaikkan *loading parameter* sistem dari 2.8286 pu menjadi 2.8437 pu atau naik sebesar 0.5%, meskipun nilainya lebih kecil dari pemasangan SVC pada sistem.

Selain itu, pemasangan TCSC juga menaikkan profil tegangan kritis pada bus 14 sebesar 5.2% dari 0.681 pu menjadi 0.7164 pu. Profil tegangan setelah pemasangan TCSC ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 10. Kurva PV dengan pemasangan SVC pada bus 9

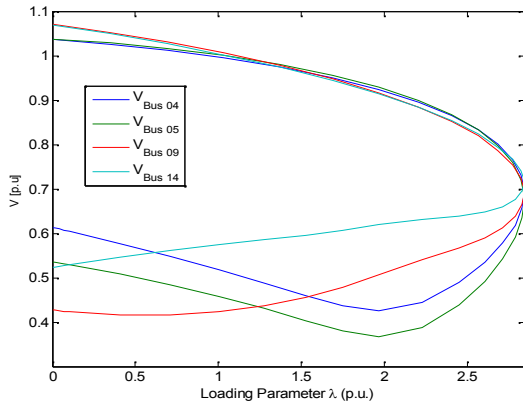


Gambar 11. Profil tegangan setelah pemasangan SVC pada bus 14

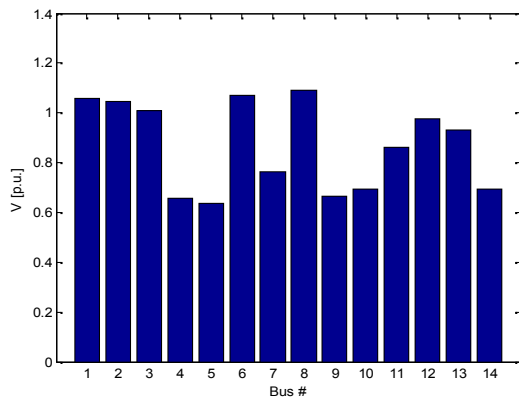
3.5. Pemasangan UPFC pada saluran 9-14

Berdasarkan hasil analisis kurva PV dan indeks kestabilan saluran didapatkan bahwa pemasangan optimal UPFC pada saluran 9-14. Setelah dilakukan pemasangan UPFC terjadi peningkatan loading parameter sistem dari 2.8286 menjadi 3.0498 atau naik sebesar 7.82%. sementara untuk profil tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, tegangan perbaikan profil tegangan pada bus 14 dari 0.681 pu menjadi 0.9164 pu atau naik sebesar 34.57%. Perbaikan tegangan tidak hanya terjadi pada bus 14, namun juga di bus 9 dari 0.697 pu menjadi 0.9687 pu

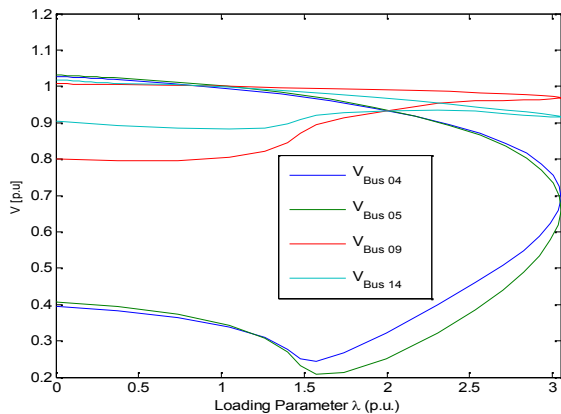
atau naik sebesar 38.98%. Pemasangan UPFC memberikan hasil terbaik dibandingkan pemasangan SVC dan TCSC pada simulasi sebelumnya. Hasil simulasi pemasangan UPFC ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.



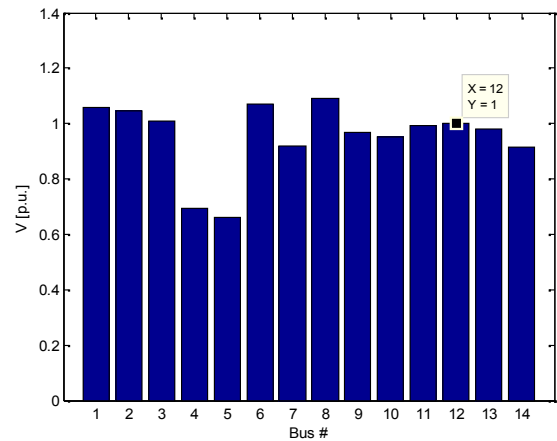
Gambar 12. Kurva PV setelah pemasangan TCSC pada saluran 9-14



Gambar 13. Profil Tegangan setelah pemasangan TCSC pada bus 9-14



Gambar 14. Kurva PV setelah pemasangan UPFC pada saluran 9-14



Gambar 15. Profil Tegangan setelah pemasangan UPFC pada bus 9-14

4. Kesimpulan

Penempatan peralatan FACTS yang terdiri dari SVC, TCSC dan UPFC pada sistem standar IEEE 14 bus mampu meningkatkan kestabilan sistem yang dilihat dari *loading parameter* dan *magnitude* tegangan. Dengan bantuan Kurva PV dan penerapan metode L_{mn} , FVSI dan VCPI, lokasi penempatan peralatan FACTS dapat ditentukan dengan mengamati bus yang mengalami tegangan terkritik secara optimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan SVC memperbaiki loading parameter sebesar 0,0797 pu (2.82%) dan tegangan kritis sebesar 0,276 pu (40.53%). Sementara penempatan TCSC mampu menaikkan loading parameter sebesar 0,0151 pu (0.5%) dan tegangan kritis sebesar 0,0354 pu (5.2%). Nilai tegangan yang dihasilkan oleh SVC lebih baik daripada TCSC karena adanya reaktansi saluran pada komponen TCSC. Sedangkan UPFC mampu meningkatkan kestabilan sistem lebih baik daripada SVC dan TCSC. Pemasangan UPFC mampu menaikkan loading parameter sebesar 0,2212 pu (7.82%) dan tegangan kritis sebesar 0,2354 pu (34.57%)

Referensi

- [1]. N.G. Hingorani, L. Gyugyi, "Understanding FACTS: Concept and Technology of FACTS", New York: John-Wiley and Sons, 2000.
- [2]. R. Benabid, M. Boudour, M.A. Abido, "Optimal Location and Setting of SVC and TCSC Devices using Non-dominated Sorting Particle Swarm Optimization", Electric Power Systems Research, vol. 79, 2009, pp. 1668-1677.
- [3]. A.R. Jordehi, M. Joorabian, "Optimal Placement of Multi-Type FACTS Devices in Power Systems Using Evolution Strategies", IEEE, International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2011.
- [4]. S. Biansongnern, S. Chusanapiputt, S. Phoomvuthisarn, "Optimal SVC and TCSC Placement for minimization transmission losses", International conference on power system technology, 2006, pp 1-5.

- [5]. Thomas. P.C., et al, "Placement of STATCOM in a Wind Integrated Power System for Improving The Loadability", International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013, pp 110-114.
- [6]. Anju Gupta, P.R. Sharma, "Optimal Placement of FACTS Devices for Voltage Stability Using Line Indicator", IEEE, 2012.
- [7]. S. Musunuri, G. Dehvani, "Comparison of STATCOM, SVC, TCSC, and SSSC Performance in Steady State Voltage Stability Improvement", North American Power Symposium (NAPS), 2010, pp 1-7.
- [8]. G.N. Kumar, M.S. Kalawathi, "Reactive Power Compensation for Large Disturbance Voltage Stability using FACTS Controllers", IEEE, 2011, pp 164-167.
- [9]. M.A. Kamarposhti, 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 and Energy Conference, 2008.
- [10]. 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.
- [11]. [Khandani, S. Soleymani, b. mozafari, "Optimal Placement of SVC To Improve Voltage Profile Using Hybrid Genetics Algorithm And Sequential Quadratic Programming", conference on electrical power distribution network (EPDC), 2011, pp 1-6
- [12]. K. Sundareswaran, B. Hariharan, F.P. Parasseri, "Optimal Placement of SVC using PSO", international conference on power, control and embedded systems (ICPCES) 2010, pp 1-4.
- [13]. D. Mondal, A. Chakrabarti, A. Sengupta, "Optimal Placement and Parameter Setting of SVC and TCSC using PSO to Mitigate Small Signal Stability Problem", Electrical Power and Energy Systems, vol. 42, 2012, pp. 334-340.
- [14]. H.C. Leung, D. Dah-Chuan, "Particle Swarm Optimization for OPF with Consideration of FACTS devices", IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2011, pp.2406 – 2410.
- [15]. M. Mohammadi, N. Parhizgar, Z. Dehghani, "UPFC Controller Design for Power System Stabilization with Fuzzy-PI Based Genetic Algorithm", Journal of Basic and Applied Scientific Research, vol. 1, no. 10, 2011, pp. 1575-1584
- [16]. Prabha Kundur, "Power System Stability and Control", New York: McGraw-Hill Inc, 1994.
- [17]. Claudio Reis, F.P. Maciel Barbosa, "A Comparison of Voltage Stability Indices", IEEE MELECON, 2006, pp 1007-1010.
- [18]. Saleh. A.G., B.C. Kok, "Voltage Stability Assessment for Distributed Generation in Islanded Microgrid System", Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2014, pp 22-27.
- [19]. Xi Fan Wang, Yonghua Song, Malcolm Irving, "Modern Power System Analysis", UK: Springer, 2008.
- [20]. Federico Milano, "Power System Analysis Toolbox," Version 2.18, Software and Documentation, July 14, 2005.