

ANALISIS STABILITAS PERALIHAN SISTEM TENAGA MENGUNAKAN MODEL *POWER SYSTEM STABILIZER (PSS)* DAN *STATIC VAR COMPENSATOR (SVC)*

Lauhil Mahfudz Hayusman, Taufik Hidayat, Choirul Saleh

Abstrak: Stabilitas peralihan merupakan kemampuan suatu sistem tenaga untuk kembali pada kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan. Gangguan tersebut bisa berupa pelepasan beban, hilangnya pembangkit dan gangguan hubung singkat. Penelitian ini akan menerapkan model Power System Stabilizer (PSS)-1A berdasarkan standar IEEE 421.5-2005 yang efektif meredam osilasi akibat gangguan tersebut, dan SVC yang digunakan untuk mengontrol aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran transmisi sehingga kualitas dan kontinuitas pembangkitan dan penyaluran daya listrik dapat dijaga pada batas-batas yang diijinkan. Simulasi dilakukan dengan membandingkan hasil sebelum pemasangan PSS dan SVC, setelah pemasangan PSS tanpa SVC dan setelah pemasangan PSS dan SVC. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum pemasangan PSS dan SVC waktu peralihan sistem setelah terjadi gangguan yaitu $t = 18,2$ detik dan $t = 18,8$ detik, setelah pemasangan PSS dan SVC waktu peralihan lebih cepat yaitu $t = 13,3$ detik dan $t = 14,9$ detik

Kata kunci: stabilitas peralihan, PSS, SVC, gangguan hubung singkat

Stabilitas sistem tenaga khususnya stabilitas peralihan merupakan salah satu aspek penting dalam operasi sistem tenaga. Hal ini didasari oleh kenyataan bahwa dalam stabilitas peralihan, mesin mengalami osilasi yang besar. Jika osilasi tersebut tidak ditangani, maka akan menyebabkan pemadaman sebagian atau keseluruhan dari sistem tenaga dan dapat menyebabkan hilangnya sinkronisasi antar sistem tenaga (Kazemi dan Mahamnia, 2008).

Stabilitas peralihan mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan operasi sinkron saat terjadinya gangguan (Bisen dan Shrivastava, 2013). Gangguan tersebut dapat berupa pembebanan tiba-tiba, kehilangan pembangkit, kehilangan beban yang besar ataupun gangguan hubung singkat (Chaudhary dan Jaswal, 2014). Disamping itu ketidakstabilan sistem banyak ditimbulkan oleh penggunaan kontroler tegangan, sehingga untuk memperbaiki kondisi ini peralatan stabilizer diperlukan (Robandi, 2009). Salah satu teknik yang digunakan untuk memperbaiki regulasi tegangan dan stabilitas peralihan generator yaitu menggunakan *power system stabilizer (PSS)* (Surjan dan Garg, 2012). Selain *PSS*, penggunaan teknologi *FACTS* sangat efektif untuk meningkatkan stabilitas sistem tenaga dan meredam osilasi (Virk dan Garg, 2013).

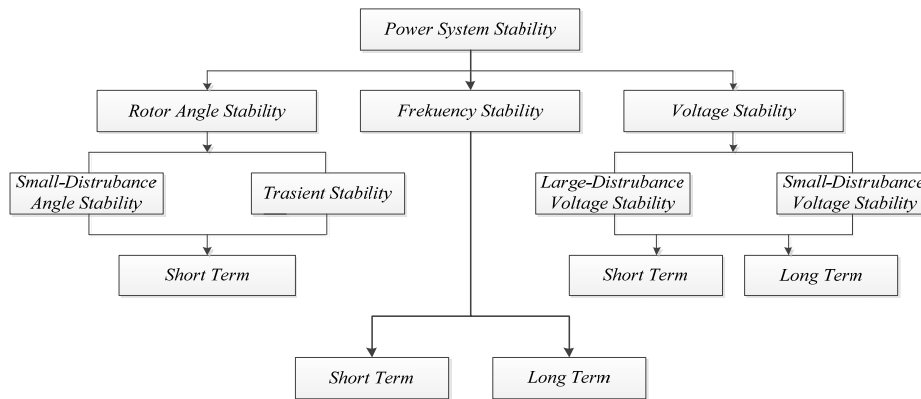
Static Var Compensator (SVC) merupakan salah satu perangkat *FACTS* yang dapat mengontrol tegangan pada bus kritis, dengan cara menginjeksikan atau menyerap daya reaktif sehingga profil tegangan sistem dapat terjaga. *SVC* juga dapat digunakan untuk meredam ayunan listrik, meningkatkan stabilitas peralihan dan mengurangi rugi-rugi dengan mengoptimalkan kontrol daya reaktif (Satvinder Singh dkk, 2013). Penelitian ini akan diimplementasikan model *PSS-1A* berdasarkan IEEE std. 412.5-2005 dan *SVC* untuk meningkatkan stabilitas peralihan pada sistem tenaga.

Stabilitas Sistem Tenaga

Stabilitas sistem tenaga secara umum dibagi dalam dua kategori utama yaitu *stabilitas steady state* dan *stabilitas transient*. *Stabilitas steady state* adalah kemampuan sistem

tenaga listrik untuk kembali ke kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan kecil, sedangkan stabilitas *transient* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan besar seperti hilangnya pembangkitan, hilangnya beban besar dan gangguan hubung singkat (Saadat, 2009).

Gambar 1 menunjukkan klasifikasi stabilitas sistem tenaga, yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan.



Gambar 1. Klasifikasi stabilitas sistem tenaga (Kundur dkk, 2004)

Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sistem tenaga yang saling berhubungan untuk tetap sinkron setelah mengalami gangguan. Hal ini tergantung kemampuan untuk menjaga atau mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik dari setiap mesin sinkron pada sistem. Ketidakstabilan yang dapat menyebabkan peningkatan sudut ayunan dalam beberapa generator menyebabkan kerugian sinkronisasi dengan generator lain.

Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan system tenaga untuk mempertahankan frekuensi stabil mengikuti *upset* sistem yang menghasilkan ketidakseimbangan yang signifikan antara generator dan beban. Hal ini tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan/mengembalikan keseimbangan antara sistem generator dan beban, dengan kehilangan beban minimal yang tidak disengaja. Ketidakstabilan yang terjadi dapat mengakibatkan dalam bentuk ayunan frekuensi yang *leading* menyebabkan *tripping* unit pembangkit atau beban.

Upset system umumnya mengakibatkan pergerakan besar frekuensi, daya arus, tegangan, dan variable system lainnya, dengan demikian tindakan proses, kontrol, dan perlindungan yang tidak dimodelkan dalam stabilitas transien konvensional atau ketidakstabilan tegangan. Proses-proses ini mungkin sangat lambat, seperti dinamika boiler, atau hanya dipicu untuk kondisi sistem yang ekstrim, seperti pengaman *tripping* generator *volt/hertz*. Dalam system tenaga besar yang saling berhubungan, situasi seperti ini adalah paling sering dikaitkan dengan ketentuan membagi system ke *islands*.

Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan di semua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi awal. Hal tersebut tergantung kemampuan sistem untuk menjaga kebutuhan beban dan ketersediaan dari sistem tenaga. Bentuk stabilitas dipengaruhi oleh karakteristik beban, kontrol terus menerus, dan kontrol diskrit diberikan pada waktu singkat. Konsep ini berguna dalam menentukan, pada waktu singkat, bagaimana

tegangan sistem akan merespon perubahan sistem yang kecil. Dengan asumsi yang tepat, persamaan sistem dapat dilinierisasi untuk analisis sehingga memungkinkan perhitungan informasi sensitivitas berharga yang berguna dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas. Bagaimanapun juga linearisasi ini tidak dapat menjelaskan efek nonlinier seperti kontrol *tap-changer* (*deadbands*, *discrete tapsteps*, dan *time delays*).

Power System Stabilizer (PSS)

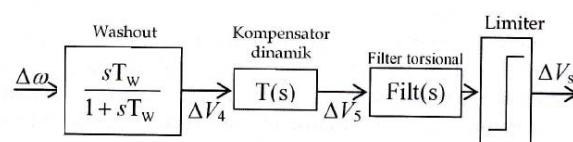
Fungsi dasar *power system stabilizer (PSS)* adalah untuk menambah redaman osilasi rotor generator dengan mengatur eksitasi menggunakan penyetabil tambahan (IEEE Std 421.5-2015). Untuk memberikan peredaman, PSS harus menghasilkan komponen torsi elektrik yang se-fasa dengan perubahan kecepatan rotor (Kundur, 1994).

Sinyal kontrol (input ke *PSS*) adalah perubahan kecepatan rotor, namun pada aplikasi praktis dapat menggunakan sinyal lain, misalnya frekuensi bus daya listrik dan akselerasi daya yang merupakan sintesis dari kombinasi sinyal daya elektrik dan mekanik. Sinyal daya mekanik dapat diperoleh dari posisi *gate* pada turbin hidrolis atau tekanan uap pada turbin uap. Meskipun demikian, sulit untuk mengukur daya mekanik. Hal itu dapat dilihat pada kenyataan bahwa jika variasi daya mekanik lambat maka sinyal yang dikirim dari daya elektrik akan mempercepat daya. Hal ini juga dapat menimbulkan masalah pada saat pembangkit cepat mengalami peningkatan. Sedangkan *PSS* digunakan untuk menurunkan tegangan. Dalam hal ini yang terjadi adalah kelambatan yang dapat membahayakan keamanan sistem. Pemilihan sinyal control untuk *PSS* dapat didasarkan pada criteria berikut:

- Sinyal harus dihasilkan dari pengukuran dan mudah disatukan.
- Noise* yang dihasilkan sinyal harus minimal. Jika tidak minimal maka dibutuhkan *filter* untuk menghilangkannya.
- PSS* harus didesain dengan baik agar terhindar dari *noise*, yang berarti kompensasi harus dijaga agar minimum untuk menghindari penguatan *noise*.

Seluruh sinyal kontrol yang menggunakan variasi kecepatan rotor, frekuensi, daya elektrik dapat digunakan secara lokal. Sinyal kecepatan diperoleh dari transduser dengan menggunakan roda gigi, atau dapat pula diperoleh dari sudut tegangan *internal* yang dapat disatukan. Sinyal frekuensi bus dapat diperoleh dari pengukuran periode menggunakan deteksi *zero cross*, dan sinyal daya dapat diperoleh dari transduser efek hall.

Diagram blok *PSS* yang banyak digunakan di industri dapat dilihat pada Gambar 2. Diagram ini terdiri dari rangkaian *washout*, kompensator dinamik, *filter torsional* dan *limiter*. Pada model ini, dengan input $\Delta\omega$ dan output ΔV_s kita mempunyai variabel keadaan baru, ΔV_4 dan ΔV_5 .



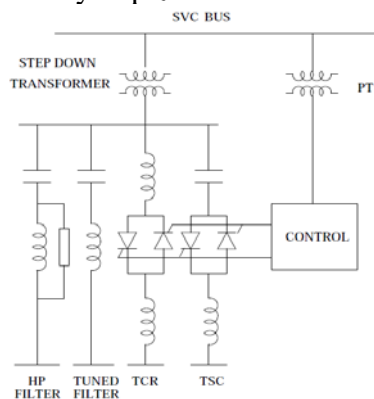
Gambar2.Diagram blokPSS (Robandi, 2009)

Static Var Compensator (SVC)

Static Var Compensator adalah sumber daya reaktif yang dapat diatur besarnya dan merupakan alat yang pengembangannya termasuk mutakhir. Generator dapat pula

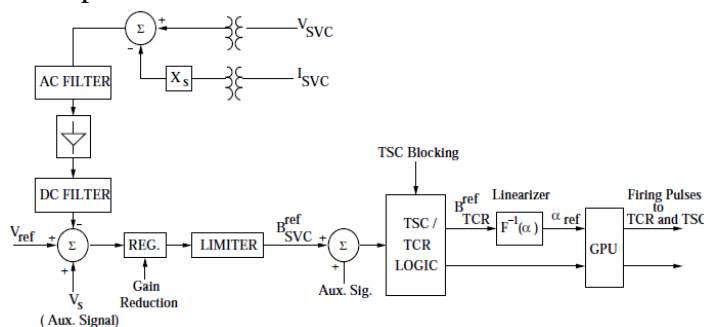
dipakai sebagai sumber daya reaktif dengan jalan mengatur arus penguat medan magnetnya. SVC banyak digunakan pada sistem tenaga untuk menjaga stabilitas tegangan dan menaikkan faktor daya (Zhong, 2012) dengan cara menginjeksikan dan menyerap daya reaktif yang dihubungkan secara paralel dengan sistem tenaga listrik (Manju & Subbiah, 2013). SVC terdiri dari TCR (*Thyristor Controlled Reactor*), TCS (*Thyristor Capacitor Switched*) dan filter yang berfungsi untuk mengatasi besarnya harmonisa yang dihasilkan oleh TCR (Dinakaran & Balasundaram, 2013).

Konfigurasi SVC jenis FC-TCR diperlihatkan pada Gambar 3. *Fixed Capacitor* bank terhubung ke sistem melalui *step down transformer*. *Rating* pada reaktor dipilih yang lebih besar dari *rating* kapasitor dengan jumlah yang diberikan maksimum *lagging vars* yang akan diserap dari sistem. Dengan mengubah *firing angle* dari *thyristor* akan mengontrol reaktor dari 90° menjadi 180° , maka sifat kompensasi akan berubah dari *lagging* ke *leading*. Kerugian dari konfigurasi ini adalah harmonik yang dihasilkan karena besarnya *partial conduction* dari reaktor dibawah kondisi operasi sinusoidal *steady-state* normal ketika SVC menyerap zero MVAR.



Gambar 3 Konfigurasi SVC jenis FC-TCR (Padiyar, 2007)

Blok diagram sistem kontrol SVC dengan *voltage regulator* dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terdapat dua sinyal masukan untuk sistem kontrol SVC, yakni sinyal tegangan (V_{SVC}) dan sinyal arus (I_{SVC}) yang diperoleh dari potensial transformer (*PT*) dan *Current transformer* (*CT*). *AC Filter* pada dasarnya merupakan *filter* yang digunakan untuk menghilangkan komponen sinyal frekuensi yang timbul pada bus SVC.

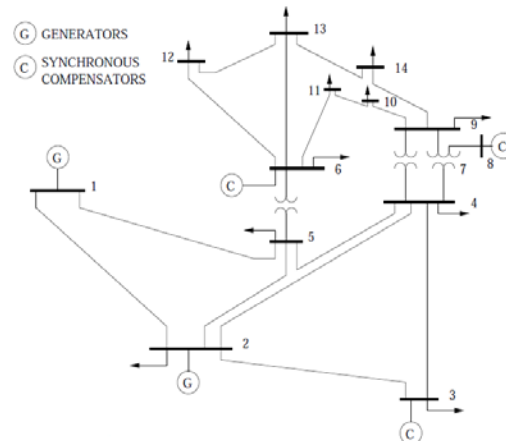


Gambar 4. Sistem kontrol SVC (Padiyar, 2007)

PEMBAHASAN

Analisis dilakukan menggunakan data standar IEEE 14-bus, yang terdiri dari 5 Generator seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Stabilitas peralihan yang terjadi disebabkan oleh gangguan hubung singkat 3 fasa di bus6, sehingga dipasang PSS pada

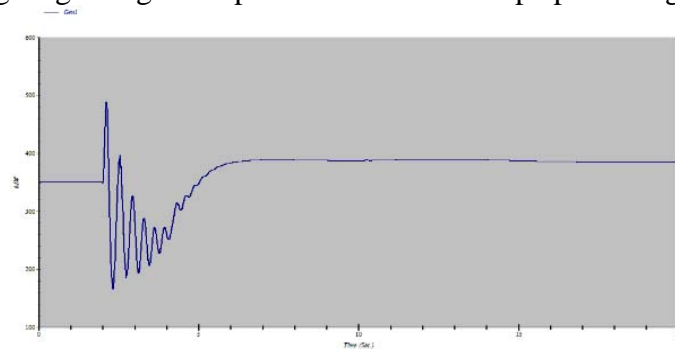
Generator-1 (G1) dan SVC pada bus2. Analisis yang dilakukan meliputi, tanpa pemasangan PSS dan SVC, pemasangan PSS dan tanpa SVC, pemasangan PSS dan SVC.



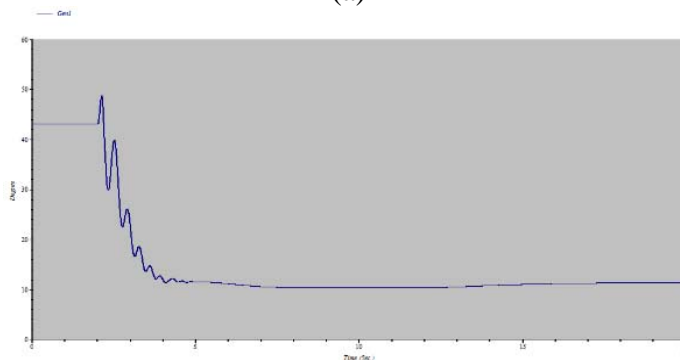
Gambar 5. Digram segaris sistem *IEEE 14 Bus*

Tanpa pemasangan PSS dan SVC

Gambar 6(a), 6(b), menunjukkan grafik daya aktif, dan sudut rotor G1 saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada waktu $t = 2$ s tanpa pemasangan PSS dan SVC.



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik daya aktif, dan sudut rotor G1 tanpa pemasangan PSS dan SVC

Dari Gambar tersebut terlihat bahwa, setelah terjadi gangguan pada $t = 2$ detik di bus-6, Generator-1 dapat kembali pada operasi sinkron dengan waktu dan nilai daya aktif, sudut rotor baru seperti yang tertuang pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu peralihan dan nilai daya aktif dan sudut rotor tanpa *PSS* dan *SVC*

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (<i>degree</i>)
Sebelum Gangguan	350	43,5
Sesudah Gangguan: Tanpa <i>PSS&SVC</i>	384,7	11,38
Waktu peralihan (detik)	18,2	18,8

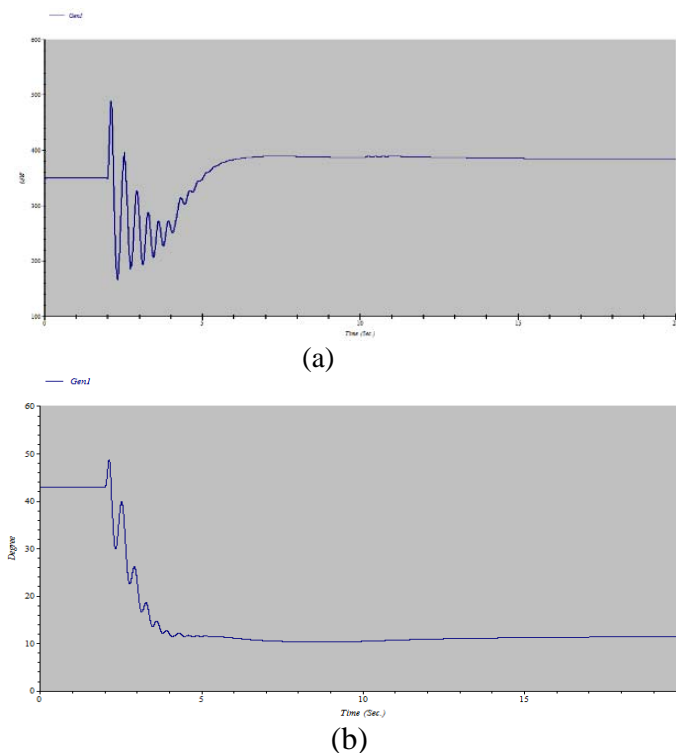
Menggunakan *PSS* dan Tanpa *SVC*

Gambar 7(a), 7(b,) menunjukkan grafik daya aktif dan sudut rotor pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada waktu $t = 2$ detik dengan pemasangan *PSS* dan tanpa *SVC*. Tabel 3 menunjukkan data *PSS-IA* berdasarkan standar IEEE 412.5-2005.

Tabel 2. Data *power system stabilizer(PSS-IA)*

K_s	$V_{S_{max}}$	$V_{S_{min}}$	T_1	T_2	T_3	T_4
3,15	0,9	-0,9	0,76	0,1	0,76	0,1

Sumber: (*IEEE* std. 412.5-2005)



Gambar 7. Grafik daya aktif, dan sudut rotor G1 dengan pemasangan *PSS* dan tanpa *SVC*

Dari gambar tersebut terlihat bahwa, setelah terjadi gangguan pada $t = 2$ detik di bus 6, Generator-1 yang dilengkapi dengan *PSS* dapat kembali pada operasi sinkron jauh lebih cepat $t = 3,2$ detik dan $t = 3,6$ detik apabila dibandingkan dengan tanpa pemasangan *PSS*. Nilai daya aktif, dan sudut rotor yang baru seperti yang tertuang pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu peralihan dan nilai daya aktif, dan sudut rotor dengan *PSS* dan tanpa *SVC*

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	350	43,5
Sesudah Gangguan: Dengan <i>PSS</i> & Tanpa <i>SVC</i>	385,2	11,3
Waktu peralihan (detik)	15	15,2

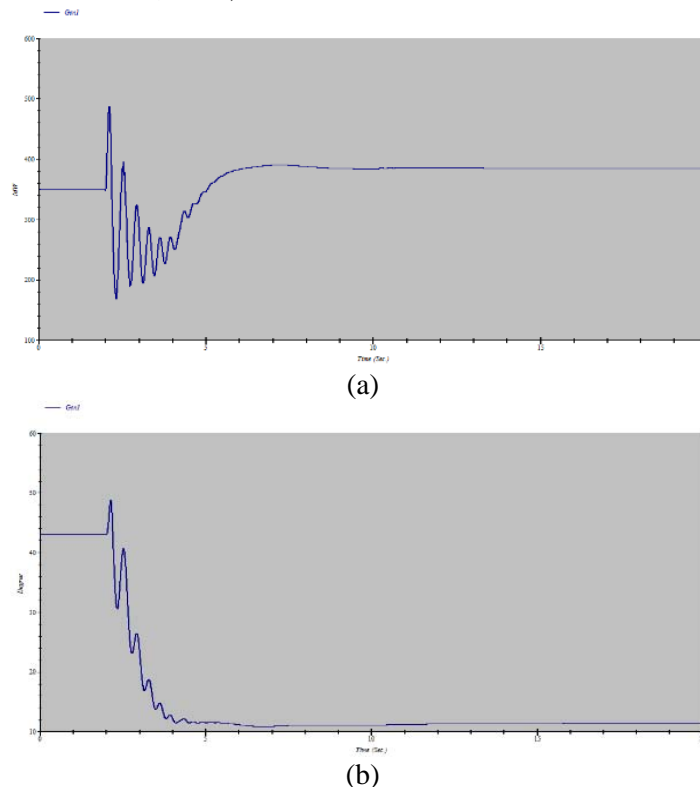
Pemasangan *PSS* dan *SVC*

Gambar 9(a), 9(b), menunjukkan grafik daya aktif, dan sudut rotor pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada waktu $t = 2$ detik dengan pemasangan *PSS* dan *SVC*. Kapasitas *SVC* yang digunakan, ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data *static var compensator (SVC)*

X_c (p.u)	X_l (p.u)	α_{min} (deg.)	α_{max} (deg.)	Slope (%)	MVA	kV
1,1708	0,4925	90	175	2	200	13,8

Sumber: (Kodsi dan Cahizares, 2003)

Gambar 8. Grafik daya aktif dan sudut rotor G1 dengan pemasangan *PSS* dan *SVC*

Dari gambar tersebut terlihat bahwa, setelah terjadi gangguan pada $t = 2$ detik di bus 6, Generator-1 yang dilengkapi dengan *PSS* dan *SVC* dapat kembali pada operasi sinkron jauh lebih cepat $t = 1,7$ detik dan $t = 0,3$ detik apabila dibandingkan dengan pemasangan *PSS*-tanpa *SVC*. Nilai daya aktif, dan sudut rotor yang baru seperti yang tertuang pada Tabel 5.

Tabel 5. Waktu peralihan dan nilai daya aktif, dan sudut rotor dengan PSS dan SVC

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (<i>degree</i>)
Sebelum Gangguan	350	43,5
Sesudah Gangguan: Dengan PSS & SVC	385,4	11,4
Waktu peralihan (detik)	13,3	14,9

Tabel 6. Waktu peralihan untuk tiga kondisi sistem

Kondisi Sistem	Waktu Peralihan (detik)	
	Daya Aktif	Sudut Rotor
Tanpa PSS dan SVC	18,2	18,8
Dengan PSS & tanpa SVC	15	15,2
Dengan PSS dan SVC	13,3	14,9

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Penggunaan model PSS-1A dan SVC dapat memperbaiki stabilitas peralihan, yang ditunjukkan dengan waktu peralihan (*transient*) yang jauh lebih cepat bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan PSS dan SVC.
2. Pada saat terjadi gangguan, waktu peralihan sebelum pemasangan PSS dan SVC selama $t = 18,2$ dan $18,8$ detik, akan tetapi setelah pemasangan PSS dan SVC waktu peralihan semakin cepat menjadi $t = 13,3$ detik dan $t = 14,9$ detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bisen, Prity dan shrivastava, Amit. 2013. *Comparison between SVC and STATCOM FACTS Devices for Power System Stability Enhancement. International Journal on Emerging Technologies.*, 4(2), pp.101-109.
- Chaudhary, Ajay dan Ram Avtar Jaswal, Avtar. Ram. 2014. *Transient Stability Improvement of Multi Machine Power System Using Static VAR compensator. International Journal of Electronic and Electrical*
- Dinakaran, C dan Balasundaram, G. 2013. *Optimum Location of Static Var Compensator (SVC). Indian Journal of Research*, 2(8).
- IEEE Std. 412.5-2005. *IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. IEEE Power Engineering Society.*
- Kazemi, A dan Mahamnia, F. 2008. *Improving of Transient Stability of Power System by Supplementary Controllers of UPFC Using Different Fault Conditions. Wseas Transactions On Power Systems.*, vol. 3, pp.547-556.
- Kodsi, Mena. K. S dan Cañizares, A. C. 2003. *Modeling and Simulation of IEEE 14 Bus System With Facts Controllers*
- Kundur, Praba. 1994. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill Inc. New York.
- Kundur dkk. 2004. *Definition and Classification of Power System Stability. IEEE Transactions On Power System*, Vol. 19, No. 2, pp. 1387-1401.
- Manju, P dan Subbiah, V. 2013. *Static Var Compensator: Effect of Fuzzy Controller. International Journal of Electrical Engineering*, 189-196.
- Padiyar, R. K. 2007. *Facts Controllers In Power Transmission And Distribution*. New Age International. India.

- Robandi, Imam. 20089. *Modern Power System Control : Desain, Analisis dan Solusi Kontrol Tenaga Listrik*. ANDI. Yogyakarta.
- Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. McGRAW-Hill International Editions.
- Singh, Satvinder, Ram, Atma, Goel, Nitin dan Kumar, Pawan. 2013. *Transient Stability Enhancement of Multi-Machine System Using FACTS Controllers,” International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT).*, vol.2, issue 2, pp.260-268.
- Surjan, Singh. Balwinder dan Garg, Ruchira. 2012. *Power System Stabilizer Controller Design for SMIB Stability Study. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT).*, vol.2, issue-1, pp.209-214.
- Virk, Singh. Pardeep dan Garg, Kumar. Vijay. 2013. *Stability Enhancement of Long Transmission Line System by Using Static Var Compensator (SVC). International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering.*, vol.2, issue 9, pp.4361-4365.
- Zhong, C. Q. 2012. *Active Capacitors: Concept and Implementation. International Electrical of Electronic engineering.*