

# Stabilitas Transien pada Saluran Transmisi dengan Static VAR Compensator (SVC) dan PSS (*Power System Stabilizer*)

Zainal Abidin \*)

\*)Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Lamongan  
email : [zainalabidin@unisla.ac.id](mailto:zainalabidin@unisla.ac.id)

## Abstrak

Dalam kajian ini membahas pemodelan dari sistem transmisi yang terdiri multi mesin. Untuk menjaga stabilitas transien dan peredaman osilasi sistem digunakan SVC dan PSS. Dalam operasionalnya, sistem tenaga listrik sering mengalami gangguan hubung singkat, baik yang bersifat permanen maupun sementara. Gangguan hubung singkat tersebut dapat menyebabkan simpangan pada variabelvariabel sistem tenaga listrik, misalnya tegangan, frekuensi, dan lain-lain. Deviasi ini dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Stabilitas dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk menjaga sinkronisasi pada saat gangguan maupun setelah gangguan terjadi.

Kinerja PSS adalah memperluas batas stabilitas sistem tenaga listrik dengan memberikan peredaman osilasi rotor mesin sinkron melalui eksitasi generator. Peredaman ini diberikan oleh torsi elektrik yang diterapkan pada rotor sejalan dengan variasi kecepatan.

Dengan pemodelan Matlab/Simulink, dapat kita cermati peranan PSS dan SVC pada proses peredaman osilasi, perubahan sudut rotor dan kecepatan mesin. PSS dan SVC dapat melakukan proses peredaman dengan cepat dari gangguan ke kondisi stabil.

**Kata kunci :** SVC, PSS, Stabilitas Transient

## Abstracts

In this discussion the modeling of a transmission system consisting of multiple machine. To maintain transient stability and reduce the oscillation of the system SVC and PSS are used. In its operation, the electric power system often experiences short circuit, both permanent and temporary. The short circuit interruption can cause deviations in electric power system variables, such as voltage, frequency, and others. This deviation can affect the stability of the electric power system. Stability in an electric power system is defined as the ability of an electric power system to maintain synchronization during interruptions as well as after disruptions occur.

PSS performance is expanding the stability limits of the electric power system by providing synchronous engine rotor oscillation reduction through generator excitation. This damping is provided by the electric torque applied to the rotor in accordance with variations in speed.

With Matlab/Simulink, we can examine the role of PSS and SVC in the process of reducing oscillations, changes in rotor angle and engine speed. PSS and SVC can do the damping process quickly from disturbance to stable conditions.

**Keywords:** SVC, PSS, Transient Stability

## PENDAHULUAN

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan [3]. Sistem tenaga listrik yang

baik adalah sistem tenaga yang dapat melayani beban secara kontinyu, dimana tegangan dan arus konstan. Fluktuasi tegangan dan arus yang terjadi harus berada pada batas toleransi yang diijinkan agar peralatan listrik konsumen dapat bekerja dengan baik dan aman. Kondisi sistem yang benar-benar mantap sebenarnya tidak

pernah ada. Perubahan beban selalu terjadi pada sistem. Penyesuaian oleh pembangkit akan dilakukan melalui governor dari penggerak mula dan eksitasi generator. Perubahan kondisi sistem yang seketika,

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Secara umum permasalahan stabilitas sistem tenaga listrik terkait dengan kestabilan sudut rotor (*Rotor Angle Stability*) dan kestabilan tegangan (*Voltage Stability*). Klasifikasi ini berdasarkan rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. Kestabilan sudut rotor diklasifikasikan menjadi *Small Signal Stability* dan *Transient Stability*. *Small signal stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan-gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tak teredam, sedangkan *transient stability* dikarenakan kurang sinkronnya torsi dan diawali dengan gangguan-gangguan besar.

Kestabilan Transien adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak dalam waktu satu swing yang pertama. Dengan asumsi pengatur tegangan otomatis (AVR) dan Governor belum bekerja. Persamaan dinamik mesin sinkron dapat dibagi menjadi dua, yaitu persamaan listrik dan persamaan mekanik. Kedua persamaan tersebut dapat dikontrol untuk meningkatkan redaman osilasi sistem tenaga elektromekanik ketika terjadi gangguan. Sifat-sifat listrik dari mesin sinkron digabungkan dengan sifat mekanik (inersia atau kelembaman) melalui persamaan ayunan dari sudut rotor ( $\delta$ ) dan *output* daya listrik ( $P_e$ ). Persamaan mekanik melibatkan sistem kontrol dari pengatur turbin (*turbine governor*) yang dapat dilihat dari penyimpangan kecepatan sudut ( $\omega$ ) dan daya mekanik ( $P_m$ ).

Besar dan arah arus injeksi ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) tergabung di dalam mesin sinkron dengan transmisi AC dan sistem jaringan eksternal. Untuk mempertahankan besar tegangan terminal dari mesin sinkron, biasanya sistem eksitasi medan menggunakan *Automatic Voltage Regulator* (AVR). Sebelum tegangan terminal dibandingkan dengan tegangan referensi ( $V_{ref}$ ), maka kompensator beban

digunakan untuk mengkompensasi tingkat tegangan melalui transduser tegangan dan arus. *Power System Stabilizer* (PSS) memastikan redaman tambahan untuk sistem eksitasi. Tegangan kompensasi ini kemudian diumpankan ke sistem eksitasi. Sistem eksitasi menyediakan arus searah ke kumparan medan dari mesin sinkron. Kemudian sistem eksitasi akan mengontrol tegangan terminal dengan mengendalikan tingkat tegangan medan atau *field voltage level* (EFD) dan arus medan eksitasi.

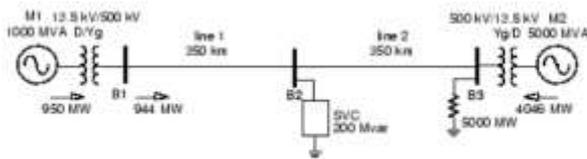
Tegangan dan arus internal dari mesin sinkron dapat diperoleh dari tegangan dan arus terminal dengan menggunakan *Park's Transformation*. Transformasi ini telah digunakan untuk mengkonversi dari kerangka jaringan referensi untuk kerangka acuan rotor yang direpresentasikan oleh sumbu *direct axes* ( $d$ ) dan *quadrature axes* ( $q$ ). Rotor dari mesin sinkron dapat direpresentasikan melalui berbagai model tergantung pada tingkat akurasi dan kompleksitas model yang dibutuhkan.

Secara umum, persamaan mesin sinkron dapat dibagi lagi menjadi tiga keadaan berdasarkan uji standar yaitu *steady-state*, *transient-state*, dan *sub-transient-states*. Torsi percepatan yang bekerja pada mesin diberikan dengan sudut rotor ( $\delta$ ) antara sumbu (*axis*)- $d$  dan sumbu (*axis*)- $q$  dalam variabel sistem jaringan yang menunjukkan persamaan mekanik rotor. Kecepatan mesin dapat dikontrol oleh setelan (*setting*) pengatur kecepatan dari turbin penggerak utama yang akan menentukan daya mekanik ( $P_m$ ) yang diperlukan untuk memenuhi kondisi operasi sinkron sistem tenaga listrik.

*Static Var Compensator* (SVC) digunakan untuk mengontrol tegangan dan daya reaktif pada terminalnya secara cepat di dalam sistem tenaga listrik. Manfaat utama dari *Static Var Compensator* (SVC) ini adalah perbaikan dari sistem stabilitas dan regulasi tegangan. Sistem pengkompensasian pada *Static VAR Compensator* (SVC) dikendalikan melalui kombinasi secara mekanis atau secara listrik terhadap kapasitor dan reaktor dari *Static VAR Compensator* (SVC) tersebut.

## METODOLOGI

Untuk mempelajari pemodelan SVC dan PSS pada jaringan sistem 500 KV digunakan pemodelan Matlab Simulink.

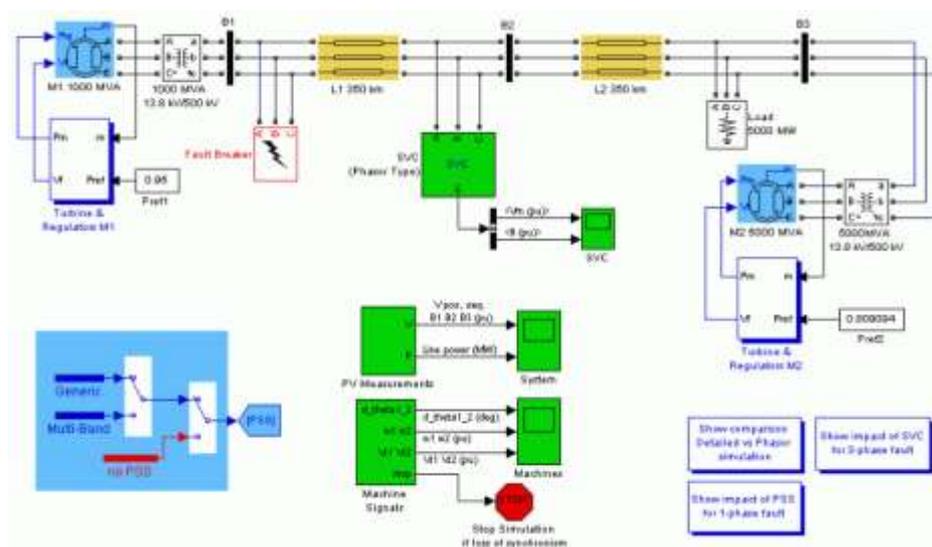


Gambar 1. Diagram segaris Sistem Jaringan 500 KV

Dari diagram segaris sistem transmisi sistem pembangkit M1 dengan daya 1000 MW dihubungkan ke pusat beban melalui jaringan transmisi 700 km, 500 kV. Pusat beban dimodelkan beban 5000 MW beban resistif.

Beban terdiri dari beban FED dengan kendali 1000 MVA dan pembangkit local 5000 MVA (M2).

Aliran beban melalui sistem M1 membangkitkan 950 MW dan M2 4046 MW. Jaringan membawa 944 MW (angka ini hampir sama dengan beban impedansi surja (SIL=977 MW). Untuk menjaga kestabilan sistem setelah gangguan, jaringan transmisi dikompensasi shunt dengan SVC 200 Mvar. SVC tidak memiliki unit POD (*power oscillation dumping*). Kedua generator dikendalikan oleh hydraulic turbine and governor (HTG), sistem eksitasi dan PSS (*power system stabilizer*)



Gambar 2. Pemodelan Transmisi 500 KV

Pada pemodelan dengan Matlab, subsistem turbin dan regulator untuk melihat implementasi HTG dan sistem eksitasi. Dua jenis stabilisator dapat dihubungkan pada sistem eksitasi: model generik menggunakan daya akselerasi ( $P_a = \text{perbedaan antara daya mekanik } (P_m) \text{ dan daya listrik keluaran } (P_{\text{output}})$ ) dan stabilizer Multiband menggunakan deviasi kecepatan ( $\Delta \omega$ ). Dua stabilisator ini adalah model library mesin powersym. Blok sakelar manual yang dikelilingi oleh zona biru memungkinkan Anda memilih jenis stabilizer yang digunakan untuk kedua mesin atau menonaktifkan PSS.

SVC adalah model fasor dari library FACTS. Buka *dialog box* dan cek data parameter daya SVC dengan rating +/- 200 Mvar. Dalam parameter kontrol, kita dapat

memilih pengaturan tegangan atau Var control. Awalnya SVC diatur dalam mode kontrol Var dengan susunan  $B_{ref} = 0$ , yang setara dengan SVC yang tidak beroperasi.

Blok Fault Breaker terhubung di bus B1. Tujuannya agar kita dapat memprogram berbagai jenis kesalahan pada sistem 500 kV dan mengamati dampak PSS dan SVC pada stabilitas sistem

Untuk memulai simulasi dalam kondisi steady state (mantap), mesin dan regulator sebelumnya telah diinisialisasi pada blok Powergui. Aliran beban disimbolkan sebagai mesin M1 (generator) yang didefinisikan sebagai bus pembangkitan PV ( $V = 13800 \text{ V}$ ,  $P = 950 \text{ MW}$ ) dan mesin M2 didefinisikan sebagai swing bus ( $V = 13800 \text{ V}$ , 0 derajat).

Setelah aliran beban ditentukan, kekuatan mekanik dan tegangan referensi untuk kedua mesin telah diperbarui secara otomatis di dua blok konstan yang terhubung pada HTG dan input sistem eksitasi:  $P_{ref1} = 0,95$  pu (950 MW),  $V_{ref1} = 1,0$  pu ;  $P_{ref2} = 0,8091$  pu (4046 MW),  $V_{ref2} = 1,0$  pu.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

• **Gangguan Satu Phase – PSS tanpa SVC**  
Pastikan bahwa PSS ( tipe Generik Pa) dan gangguan phase 6 siklus diprogram pada blok *fault breaker* (cek di Phase A, setting gangguan pada  $t=0.1$  s dan *cleared* at  $t=0.2$  s).

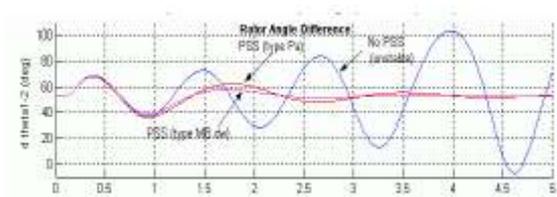
Mulailah simulasi dan pantau hasilnya di tool scope. Untuk tipe ini gangguan sistem dalam kestabilan tanpa SVC. Setelah gangguan berakhir (*clearing*), osilasi 0,6 Hz secara cepat dapat diredam.

Mode osilasi adalah osilasi antar area pada area sistem tenaga yang luas. Obsevasi pertama pada ruang lingkup Mesin menunjukkan perbedaan sudut rotor  $d\theta_{1_2}$  antara dua mesin. Transfer daya maksimum sudut mencapai  $90^\circ$ . Sinyal ini merupakan indikasi stabilitas sistem yang baik. Jika  $d\theta_{1_2}$  melebihi 90 derajat untuk periode waktu yang terlalu lama, mesin-mesin akan kehilangan sinkronisasi dan sistem menjadi tidak stabil. Jejak kedua menunjukkan kecepatan mesin. Perhatikan bahwa kecepatan 1 mesin meningkat selama gangguan karena selama periode itu daya listriknya lebih rendah dari daya mekaniknya.

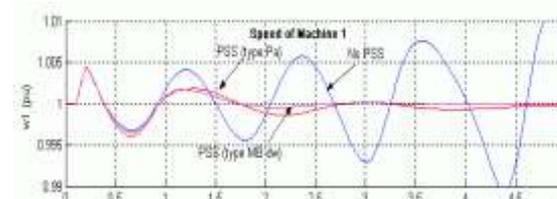
Dengan mensimulasikan selama periode waktu yang lama (50 detik), Anda juga akan melihat bahwa kecepatan mesin berosilasi bersama pada frekuensi rendah (0,025 Hz) setelah pemecahan masalah. Kedua PSS (tipe Pa) berhasil mengurangi mode 0,6 Hz tetapi tidak efisien untuk meredam mode 0,025 Hz. Jika Anda memilih Multi-Band PSS, Anda akan melihat bahwa jenis stabilizer ini berhasil meredam mode 0,6 Hz dan mode 0,025 Hz.

Uji ulang dengan dua PSS tidak berfungsi. Mulai ulang simulasi. Perhatikan bahwa sistem tidak stabil tanpa PSS. Kita dapat membandingkan hasil dengan dan tanpa PSS dengan mengklik dua kali pada blok biru di sisi kanan berlabel "Tampilkan dampak PSS untuk gangguan 1-fase." Bentuk gelombang yang ditampilkan dapat dilihat pada gambar berikut :

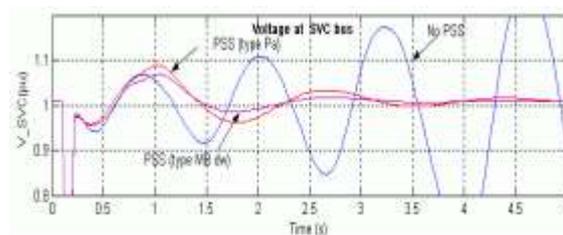
**Pengaruh PSS pada gangguan 1 fase**



**Gambar 3. Perbedaan sudut rotor dengan PSS dan tanpa PSS**



**Gambar 4. Kecepatan Mesin dengan PSS dan tanpa PSS**



**Gambar 5. Tegangan pada bus SVC tanpa PSS dan Menggunakan PSS**

Dari simulasi gangguan pada gambar 3 sistem 1 fase dengan dan tanpa PSS dapat dilihat bahwa tanpa menggunakan PSS pada sudut rotor terjadi osilasi frekuensi yang besar pada sistem dengan waktu yang lama, dengan mengaplikasikan PSS terjadi peredaman kurang dari 2 detik dan mengalami kondisi stabil. Pada gambar 4, kecepatan mesin tanpa PSS mengalami osilasi dengan waktu yang lama, setelah dipasang PSS mengalami peredaman pada waktu 1,5 detik dan dalam kondisi steady state pada 2.5 detik. Pada gambar 5 tegangan SVC bus mengalami osilasi dengan waktu yang lama, setelah dipasang PSS mengalami peredaman kurang dari 2 detik dan kemudian kondisi stabil.

• **Gangguan Tiga Fase (Pengaruh Penggunaan SVC dan PSS)**

Sekarang kita terapkan gangguan 3 fase dan mengamati pengaruh SVC dalam menstabilkan jaringan selama jaringan selama kontingensi kompleks.

Langkah pertama, memasang dua PSS (tipe Pa Generik). Memprogram ulang blok *Fault Breaker* untuk menerapkan gangguan 3-

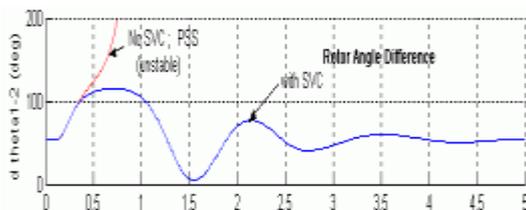
fase-ke-tanah. Verifikasi bahwa SVC dalam mode kerentanan tetap dengan  $B_{ref}=0$ .

Kita mulai simulasi. Dengan melihat sinyal  $d\_theta1\_2$ , Kita harus mengamati bahwa kedua mesin dengan cepat mengalami ketidak sinkronan setelah *clearing error*. Agar tidak melakuka simulasi yang tidak perlu, blok Stop Simulink® digunakan untuk menghentikan simulasi ketika perbedaan sudut mencapai  $3 \times 360$  derajat.

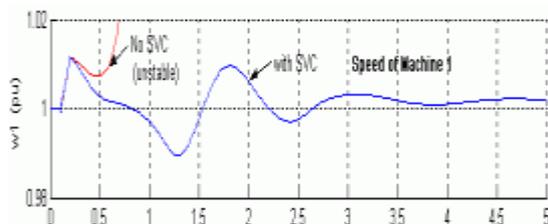
Sekarang buka menu blok SVC dan ubah mode operasi SVC ke tegangan regulasi (*voltage regulation*). SVC akan mencoba untuk mendukung tegangan dengan menginjeksi daya reaktif pada saluran ketika tegangan lebih rendah dari tegangan referensi (1,009 pu). Tegangan referensi SVC yang dipilih sesuai dengan tegangan bus dengan SVC tidak berfungsi. Dalam kondisi mantap, SVC akan mengambang dan menunggu kompensasi tegangan ketika tegangan berangkat dari titik setel referensi.

Nyalakan kembali simulasi dan amati bahwa sistem sekarang stabil dengan gangguan 3-fase. Anda dapat membandingkan hasil dengan dan tanpa SVC dengan mengklik dua kali pada blok biru berlabel "Tampilkan dampak SVC untuk kesalahan 3-fase." Bentuk gelombang yang ditampilkan di bawah ini :

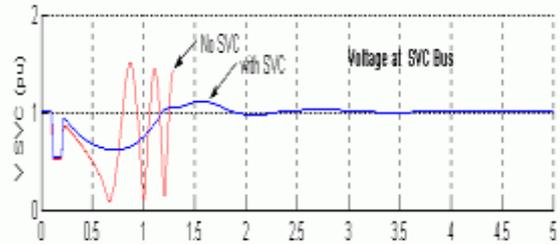
**Pengaruh SVC pada gangguan 3 fase :**



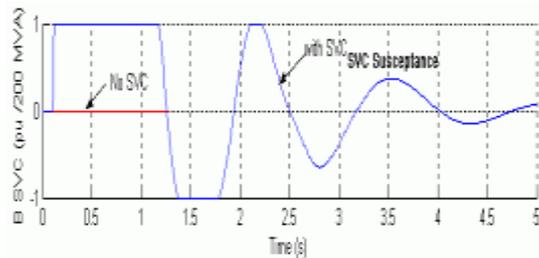
**Gambar 6. Perbedaan Sudut rotor Tanpa SVC dan dengan SVC**



**Gambar 7. Perbedaan Kecepatan pada mesin dengan SVC dan tanpa SVC**



**Gambar 8. Grafik Tegangan pada SVC bus menggunakan SVC dan tanpa SVC**



**Gambar 9. Diagram Suseptansi SVC mesin dengan SVC dan tanpa SVC**

**PENUTUP**

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  $t > 5$  detik, akan tetapi setelah pemasangan *PSS* dan *SVC* waktu peralihan semakin cepat menjadi  $t = 2$  detik dan  $t = 2.5$  untuk melakukan usaha redaman menuju kondisi stabil.

**REFERENSI**

Bandal, V., Bandyopadhyay, B., & Kulkarni, A.M. (2006). Design of Power System Stabilizer using Power Rate Reaching Law based Sliding Mode Control Technique, IEEE Xplore.

Bevrani, H., & Hiyama, T. (2006). Stability and Voltage Regulation Enhancement Using an Optimal Gain Vector, *Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Canada. 6pp. doi: 10.1109/PES.2006.1708999.

Chetty, M. (2002). A Fuzzy Logic Based Discrete Mode Power System Stabilizer, *Asian Journal of Control*, 4, 3, 327-332.

- Grainger, J.J., & Stevenson, W.D.Jr. (1994). Power System Analysis, Singapore: McGraw-Hill.
- Mithulananthan, N., & Cafiizares, C.A. (2004). Effect of Static Load Models on Hopf Bifurcation Point and Critical Modes of Power Systems, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, 9, 4, 69-76.
- Ram, B., & Vishwakarma, D.N. (1995). Power System Protection and Switchgear, New Delhi: McGraw-Hill.
- Robandi, I. & Kharisma, B. (2008). Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1, 682-689.
- Saadat, H. (1999). Power System Analysis, Singapore: McGraw-Hill.
- Stevenson, W.D, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Diterjemahkan oleh Kamal Idris, Erlangga, Jakarta, 1996
- Zainal Abidin, Kemal Farouq Mauladi , *Characteristic of Static Var Compensator with Simulation Matlab* . 11th ADRI International Proceeding and Call Paper. 2017