

**Simulasi Dinamika dan Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik dengan  
Menggunakan *Power System Stabilizer (PSS)*  
(Aplikasi pada Sistem 11 Bus IEEE)**

**Liliana**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau*

[lili@enreach.or.id](mailto:lili@enreach.or.id)

**Abstrak**

Untuk menjaga kestabilan sebuah sistem, maka perlu diupayakan mesin-mesin sinkron berada pada kondisi sinkronnya. Kestabilan sistem pada mesin sinkron dapat ditingkatkan dengan menggunakan perangkat kontrol PSS. Makalah ini membahas kestabilan tegangan saat unjuk kerja sistem dalam kondisi normal dan gangguan tanpa dan dengan peralatan kontrol tersebut. Studi kasus yang diambil adalah sistem 11 bus standar IEEE pada software EDSA (electrical Distribution and Transmission System Analysis) dan disimulasikan langsung. Dari hasil simulasi program menunjukkan penggunaan PSS yang digunakan pada sistem 11 bus tidak terlalu berpengaruh terhadap kestabilan dinamik walaupun unjuk perbaikan sistem sudah mulai meningkat dibandingkan sebelum pemasangan PSS, pengaruh yang paling besar dalam penggunaan PSS pada sistem 11 bus ini terdapat pada bus 01 saat kondisi normal besar arus 2616.44 A, setelah terjadi gangguan menjadi 8404.51 A, juga bus 05 mengalami kenaikan dari 128.42 A menjadi 377.77 A, dengan penggunaan PSS osilasi dapat diredam, pada bus 01 overshoot tegangan sebesar 1.1 PU dapat diredam pada settling time 9 detik pada tegangan 1 PU, dan pada bus 05 overshoot tegangan sebesar 9 PU dapat diredam pada settling time 9.8 detik pada tegangan 8.8 PU.

*Kata Kunci : Kestabilan sistem, mesin sinkron, AVR, Governor, PSS*

**Abstract**

*To maintain the stability of a system then needs to be synchronous machines are on condition of sinkronnya. Stability of synchronous machine system can be improved by using the device control PSS.*

*in this study which will look at is the stability of the power, frequency, and voltage stability when system performance under normal conditions and without interruption and with the control equipment. Case studies are taken is a system of 11 bus IEEE software on EDSA (electrical Distribution and Transmission Systems Analysis) and simulated directly.*

*From the results of the simulation program shows the use of the PSS system used on 11 buses not too influential to dynamical stability despite its performance improvement systems have started to rise compared to before the installation of PSS, the greatest influence in the use of PSS on system 11 bus there on bus 01 when normal conditions of flow 2616.44 A, after going into A 8404.51 disorder, also bus 05 increased from 128.42 377.77 A became A, with the use of the PSS oscillations can be muted, on bus 01 for voltage overshoot 1.1 PU can be muted on settling time 9 seconds in the voltage 1 PU, and on a bus voltage overshoot 05 of 9 PU can be muted on settling time 9.8 seconds at voltage 8.8 PU.*

*Kata Kunci : System Stability, synchronous machines, PSS*

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang**

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang paling penting untuk menunjang kehidupan manusia saat ini. Dalam kebutuhan sehari-hari, baik rumah tangga maupun dalam bisnis, manusia memerlukan tenaga listrik. Secara umum dapat dikatakan bahwa energi listrik merupakan salah satu prasyarat kehidupan manusia, dan perkembangan kehidupan manusia memerlukan tambahan penyediaan energi listrik. Orang sering menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi seiring dengan pertumbuhan kemampuan penyediaan energi listrik.

Pusat-pusat pembangkit listrik menyalurkan tenaga listrik yang besarnya sesuai dengan kebutuhan beban pada saat itu. Jika beban bertambah maka pembangkit harus dapat memproduksi tenaga listrik sesuai kebutuhan listrik yang baru, dan jika beban berkurang maka pembangkit harus mengurangi jumlah produksi energi listrik yang dibangkitkan. Oleh karena itu dalam pembangkitan dan penyaluran energi listrik diperlukan sebuah pengatur beban yang berfungsi memantau kondisi pengoperasian sistem baik sistem penyaluran agar terjadi keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan kebutuhan beban. Pengaturan beban adalah pengaturan pembagian beban di antara unit pembangkit dan unit penyalur.

Sistem tenaga listrik terdiri atas sumber dan beban yang letaknya berjauhan dan meliputi daerah yang sangat luas serta pengiriman dayanya ke pusat-pusat beban dilakukan melalui jaringan transmisi dengan kapasitas yang terbatas. Pengoperasian yang demikian akan menyebabkan keadaan mantapnya dapat terganggu atau akan menimbulkan peredaman osilasi elektromekanik yang kurang baik dan kondisi yang paling buruk adalah sistem tenaga menjadi gagal.

Ketidakstabilan sistem dapat didefinisikan sebagai sifat dari sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan normal

serta kembali ke keadaan semula bila semua keadaan telah menjadi normal. Ketidakstabilan tenaga tersebut pada dasarnya berkaitan dengan osilasi sudut rotor (Supardi.A, 2002).

Meskipun kestabilan sebuah sistem dapat dilihat secara menyeluruh dan meluas, tetapi untuk analisis sebuah sistem, kestabilan sistem dapat dibagi menjadi tiga (3) kategori (Stevenson,1990) :

#### 1. Kestabilan mantap (*Steady State Stability*)

Kestabilan steady state adalah kemampuan sistem tenaga untuk mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan setelah sistem mengalami gangguan kecil. Analisis kestabilan *steady state* pada sistem tenaga dapat disebut sebagai kestabilan sinyal kecil (*small signal stability*). Kestabilan *steady state* merupakan sebuah fungsi dari kondisi operasi.

#### 2. Kestabilan dinamik (*Dynamic Stability*)

Kestabilan dinamik adalah keadaan sebenarnya gangguan - gangguan (*disturbances*) pada sistem tenaga terjadi terus menerus karena beban itu sendiri berubah terus menerus dan juga karena perubahan perputaran turbin tetapi perubahan ini biasanya kecil, sehingga tidak sampai menyebabkan sistem kehilangan keserempakannya.

#### 3. Kestabilan peralihan (*Transient Stability*)

Kestabilan peralihan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mencapai kondisi stabil operasi baru yang dapat diterima setelah mengalami gangguan besar. Analisis kestabilan *transient* menggunakan pendekatan model non linier. Kestabilan *transient* pada sistem tenaga adalah respon keluaran yang mencapai kondisi operasi *steady state* yang diizinkan dan sistem yang dapat kembali ke posisi semula pada saat sistem mengalami gangguan. Kestabilan *transient* merupakan fungsi dari kondisi operasi dan gangguan.

Untuk menjaga kestabilan sebuah sistem, maka perlu diupayakan mesin-mesin sinkron berada pada kondisi

sinkronnya, Anderson (2003) mengemukakan dari sudut pandang sistem tenaga listrik eksitasi harus mendukung peningkatan pengendalian tegangan yang efektif bagi stabilitas sistem. Ia harus mampu merespon dengan cepat terhadap suatu gangguan tingkat stabilitas sementara dan stabilitas sinyal yang lemah.

Problem operasional yang dihadapi pada kasus tertentu membutuhkan analisis detail dari sifat dinamik sistem tenaga dan pembangunan *controller* yang cocok untuk mengatasi masalah. Machowsky (1997) mengemukakan usaha untuk meningkatkan stabilitas sistem tenaga dapat ditingkatkan dengan menggunakan *Power System Stabilizer* (PSS) yaitu suatu peralatan kendali tambahan terhadap *Automatic Voltage Regulator* (AVR).

Makalah ini membahas kestabilan mesin sinkron khususnya mesin jamak dengan menggunakan perangkat kontrol PSS, dimana akan dilihat unjuk kerja sistem dalam kondisi normal dan gangguan tanpa dan dengan peralatan kontrol tersebut.

**Tinjauan Pustaka**

**Model Sistem Tenaga Listrik Multimesin**

Kesahihan analisis studi kestabilan dinamik (kestabilan di daerah di sekitar titik kerja) jaringan tenaga listrik yang meliputi respon dinamik sistem tergantung pada kesahihan model pemodelan sistem tersebut (Kundur, 1993). Sistem multimesin adalah gabungan dari beberapa pembangkit (bisa terdiri dari mesin terkopling atau mesin tunggal) yang tersambung secara interkoneksi (Robandi, 2006).

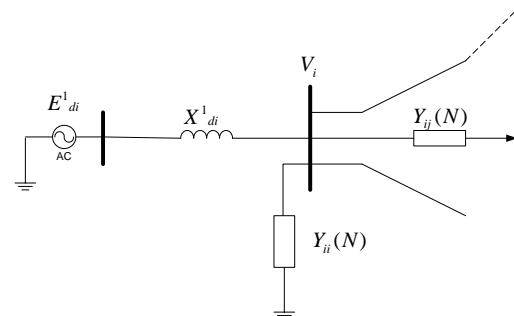
Pada kasus ini semua pembangkit yang tersambung secara interkoneksi diasumsikan terdiri dari beberapa mesin (terkopling) dalam masing-masing unit pembangkit yang memiliki daya dan karakteristik yang sama. Dengan demikian ayunan dari salah satu mesin pada unit pembangkit tidak saling mempengaruhi mesin yang lain dalam unit pembangkit tersebut. Mesin-mesin dalam satu unit pembangkit akan beraksi bersama-sama

secara serempak untuk menanggulangi pengaruh ayunan dari unit pembangkit lain.

**Model Linier Sistem**

Model sistem Linier jaring tenaga listrik multimesin berbasis pada pemodelan Park dengan asumsi tahanan resistor diabaikan, kondisi sistem dianggap seimbang, kejenuhan inti generator diabaikan, dan beban dianggap sebagai beban statik (Robandi, 2006).

Di sini disuguhkan model jaringan multimesin dengan jumlah mesin yang terkoneksi sebanyak n dan dengan terminal penghubung mesin ke-I seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Sistem Tenaga Listrik

$Y_{ij}(N)$  adalah elemen matriks admitansi jarring ke-ij,  $E_{qi}^1$  adalah tegangan generator ke-I pada sumbu q (quadrature),  $V_i$  adalah tegangan pada bus ke-I,  $Y_{ij}(N)$  adalah admitansi saluran ke tanah pada sisi bus ke-I, dan  $x_{di}$  adalah reaktansi transient sumbu d (direct) generator ke-I.

Persamaan tegangan bus generator ke-I dari gambar adalah;

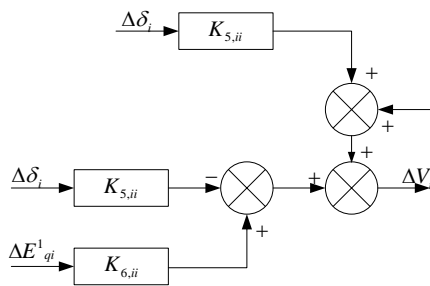
$$\Delta V_i = K_{5,ii} \Delta \delta_i + K_{6,ii} \Delta E_{qi} - \sum_{i \neq j} K_{5,ij} \Delta \delta_j + \sum_{i \neq j} K_{6,ij} \Delta E_{qj}^1 \tag{1}$$

$\Delta E_{qi}^1$  : perubahan tegangan *transient* pada mesin ke-i

$\Delta E_{qi}^1$  : perubahan tegangan *transient* pada

mesin ke-j  
 $\Delta\delta_i$  : perubahan besar sudut antara sumbu q mesin ke-i dengan sumbu referensi sumbu d  
 $\Delta\delta_j$  : perubahan besar sudut antara sumbu q mesin ke-j dengan sumbu referensi sumbu d

Dalam bentuk diagram blok persamaan (1) dapat dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Blok Mekanik untuk Mesin ke-i (Robandi, 2006)

$$K_{5,ii} = \sum_{j \neq i} K_{5,ij} \quad (2)$$

$$K_{6,ii} = \cos\sigma_i - x_{di}y_{ii}\sin(B_{ii} - \sigma_i) \quad (3)$$

$$K_{5,ij} = E_{qi}^i x'_{di} Y_{ij} \cos(B_{ij} + \delta_{ij} - \sigma_i) \quad (4)$$

dimana,

$\beta_{ii}$  : sudut admitansi antara mesin ke-i

$\sigma_i$  : besar sudut antara  $E_{qi}$  dengan  $V_i$

$y_{ii}$  : harga magnitude antara mesin ke-i

$\beta_{ij}$  : sudut admitansi antara mesin ke-i dan ke-j

$$\sigma_{ij} = \delta_i - \delta_j \quad (5)$$

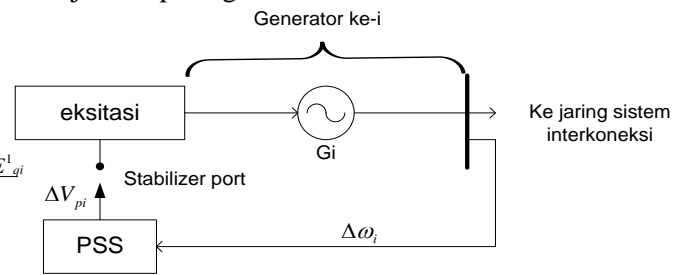
$$K_{6,ij} = x'_{di} Y_{ij} \sin(B_{ij} + \delta_{ij} - \sigma_i) \quad (6)$$

**Power System Stabilizer (PSS)**

Kestabilan sistem dinamik dalam sistem daya listrik ditentukan oleh kemampuan berbagai komponen pembangkit dalam pemberian transfer respon terhadap perubahan beban yang terjadi. Perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspon dengan baik oleh generator sehingga dapat dipengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respons yang kurang baik dapat

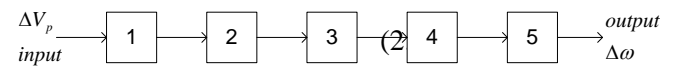
menimbulkan osilasi frekuensi dalam periode yang lama. Hal itu akan mengakibatkan pengurangan kekuatan transfer daya yang dapat diatasi menggunakan peralatan tambahan yang disebut *Power System Stabilizer (PSS)*.

Implementasi sebuah PSS pada sistem daya yang disalurkan melalui  $\Delta V_p$  ke port stabilizer adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Sebuah Sistem PSS pada Generator ke-i

Model PSS terdiri dari beberapa blok seperti disajikan pada gambar 4



Gambar 4. Komponen PSS

Berikut penjelasan fungsi masing-masing blok pada gambar 4 :

1. *Transduser* berfungsi mengubah sinyal input menjadi tegangan.
2. Rangkaian *fase lag/lead* berfungsi memberikan *fase* sesuai yang diinginkan
3. *Amplifier* berfungsi memperkuat sinyal sampai pada level yang ditentukan
4. Rangkaian *Washout* berfungsi memberikan kondisi secara kontinu pada *out stabilizer*.
5. *Limiter* berfungsi menghindari sinyal stabilizer dari perubahan tegangan yang tajam dan tetap mempertahankan pengatur tegangan pada kondisi yang baik selama terjadi gangguan

Secara umum fungsi alih dari PSS dapat digambarkan dalam bentuk model linear seperti yang dijabarkan dalam persamaan

$$\Delta V_{pi}(s) = K_{STAB} \frac{s\tau_\omega}{1+s\tau_\omega} \left[ \frac{(1+s\tau_A)(1+s\tau_B)}{(1+s\tau_C)(1+s\tau_D)} \right]$$

$$\Delta\omega_i(s) \quad (7)$$

### Tujuan Penelitian

Dengan penambahan peralatan kontrol PSS diharapkan kestabilan sudut daya, kestabilan frekuensi, dan kestabilan tegangan pada sistem multimesin lebih terjaga.

### Batasan Masalah

Ruang lingkup dalam tulisan ini adalah:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah 11 bus standar IEEE
2. Perangkat kontrol yang digunakan PSS
3. Program aliran daya yang digunakan adalah EDSA

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Penelitian

Pada tulisan ini dibutuhkan bahan-bahan diantaranya;

1. Referensi berupa buku teks, artikel-artikel ilmiah yang menyangkut masalah Kestabilan sistem dinamik
2. Data sistem 11 Bus IEEE yaitu parameter saluran, generator, exiter, dan data beban.

### Alat Penelitian

Pada tulisan ini digunakan alat

- a. Perangkat keras komputer Laptop dengan spesifikasi sebagai berikut :
  - Processor Intel Celeron
  - Memori (RAM) 512 MB;
  - Printer HP Canon 1200 series
- b. Perangkat lunak EDSA

### Metode Penelitian

Perkembangan komputer yang pesat akhirnya membawa era baru di bidang kelistrikan. Perhitungan analisis sistem tenaga listrik yang pada awalnya dikerjakan secara manual sekarang mulai dikerjakan dengan bantuan program aplikasi komputer. Perhitungan yang melibatkan sistem besar dengan cara manual tentu tidak efektif. Hal ini juga tidak terlepas dari perkembangan metode perkembangan metode perhitungan dalam bidang kelistrikan.

EDSA sebagai salah satu program aplikasi komputer di bidang ketenagalistrikan terbukti mampu melakukan analisis –analisis

yang penting untuk mengetahui profil (9,37) sesuai skenario yang diinginkan.

Makalah ini menyajikan hasil eksekusi dengan program EDSA, studi kasus yang dilakukan pada sistem 11 bus standar IEEE. *Transient* EDSA yang terdiri dari 3 buah Bus Bar, 3 buah Beban konstan (KVA), 6 buah *feeder*, 2 buah generator, 3 buah transformator dan 1 buah grid dengan memberikan gangguan berupa pemutusan generator 02.

Setelah itu dilihat pengaruh pemutusan tersebut terhadap sistem, dengan melakukan simulasi aliran daya saat sebelum diberi gangguan dan setelah diberi gangguan yang berguna untuk memverifikasi sistem mana saja yang terganggu, simulasi *transient* dilakukan tanpa dan dengan PSS. Hasil simulasi dianalisis untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan PSS dalam meningkatkan kestabilan sistem

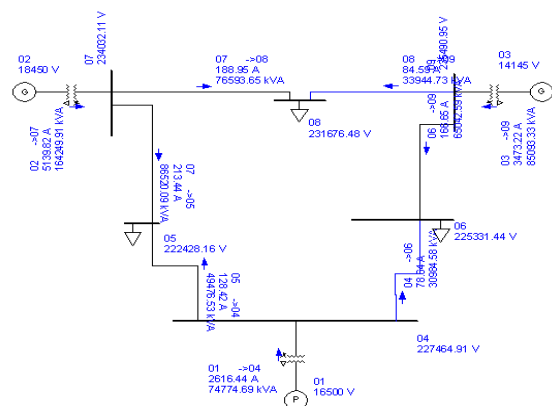
Dalam simulasi, sistem dengan kontrol governor dan AVR tetap digunakan untuk keadaan sebelum dan sesudah penggunaan PSS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### a. Kondisi Normal

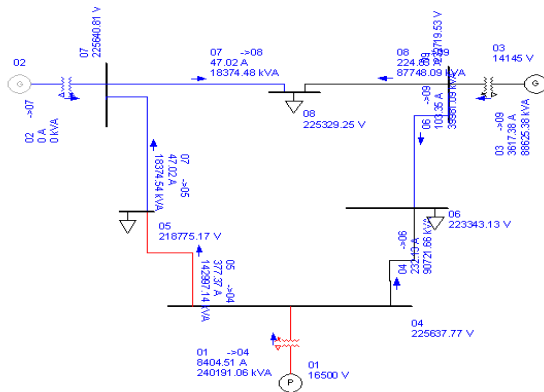
Aliran Daya setelah dijalankan dengan EDSA



Gambar 5. Sistem dalam Kondisi Normal

Dari analisa aliran daya pada gambar 5 di atas dapat dilihat sistem dalam keadaan stabil dimana tidak terdapat gangguan pada bus.

#### b. Setelah diberi Gangguan

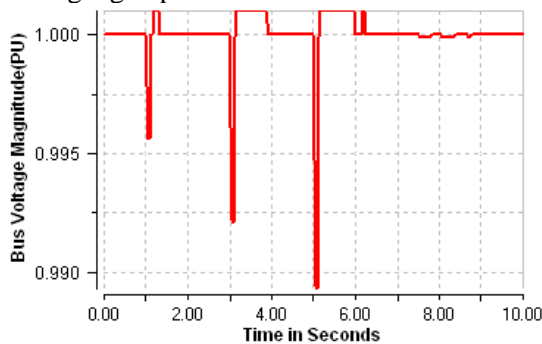


Gambar 6. Kondisi Sistem 11 Bus Saat diberi Gangguan

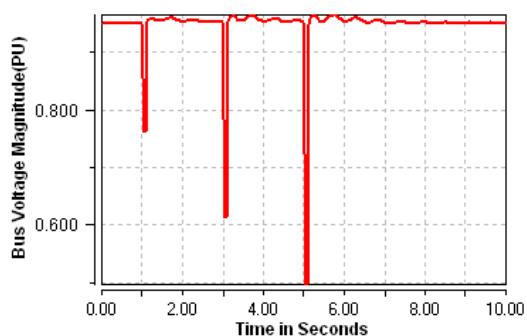
Setelah diberi gangguan berupa pemutusan generator 02 terjadi peningkatan arus yang cukup signifikan pada bus 01 sebesar 2616.44 Ampere menjadi 8404.51 dan pada bus 05 juga terjadi kenaikan arus yang cukup besar dari 128.42 A menjadi 377.77 A.

**Pembahasan**

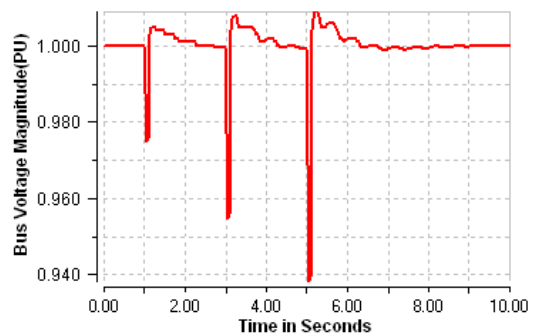
**a. Tegangan pada Bus**



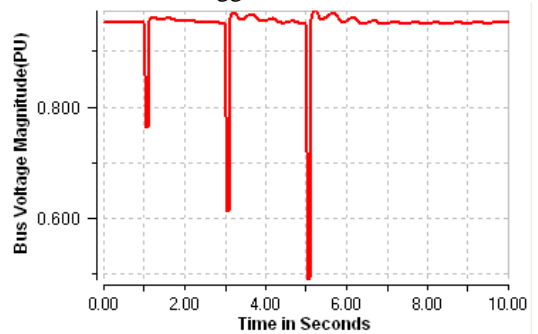
Gambar 7. Tegangan pada Bus 01 sebelum menggunakan PSS



Gambar 8. Tegangan pada Bus 05 sebelum menggunakan PSS



Gambar 9. Tegangan pada Bus 01 setelah menggunakan PSS



Gambar 10 Tegangan pada Bus 05 setelah menggunakan PSS

Dari Gambar 7 dan Gambar 9, PSS meredam *overshoot* tegangan sebesar 1.1 PU mencapai ke keadaan mantap pada waktu 9 detik dengan nilai tegangan 1 PU . Peredaman osilasi pada bus 1 cukup besar, dari analisa aliran daya dapat dilihat akibat pelepasan Generator 02 menyebabkan bus 01 menjadi terganggu dengan kenaikan arus yang cukup tinggi.

Dari Gambar 8 dan Gambar 10, PSS meredam *overshoot* tegangan 9 PU dan mencapai ke keadaan mantap (*Steady State*) pada waktu 9.6 detik dengan besar tegangan 8.8 PU.

**Kesimpulan**

1. Model sistem tenaga listrik dengan aplikasi *Power System Stabilizer* (PSS) dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas dinamik multimesin.
2. Penerapan *Power System Stabilizer* (PSS) mampu menurunkan *overshoot* dan *settling time*, sehingga kinerja sistem menjadi lebih baik.
3. Penggunaan PSS yang digunakan pada sistem 11 bus pada tulisan ini tidak terlalu

berpengaruh terhadap kestabilan dinamik walaupun unjuk perbaikan sistem sudah mulai meningkat dibandingkan sebelum pemasangan PSS.

4. Pengaruh yang paling besar dalam penggunaan PSS pada sistem 11 bus ini terdapat pada bus 01 dan bus 05, dimana pada bus ini mengalami gangguan yang cukup besar yaitu berupa kenaikan arus yang cukup signifikan, dengan penggunaan PSS mengakibatkan peredaman osilasi, *overshoot* dan *settling time* pada bus ini sehingga kestabilan sistem lebih terjaga.
5. Pada bus 01 *overshoot* tegangan sebesar 1.1 PU dapat diredam pada *settling time* 9 detik pada tegangan 1 PU, dan pada bus 05 *overshoot* tegangan sebesar 9 PU dapat diredam pada *settling time* 9.8 detik pada tegangan 8.8 PU.

#### Saran

Makalah ini dapat dikembangkan dengan penambahan generator pada sistem

dan dilihat pengaruhnya terhadap kestabilan sistem tersebut.

#### Daftar Pustaka

Kundur, P, 1993, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc, New York.

Machowsky, Bialek, Bumby, 1997, Power system Dynamic and Stability, John Willey and Sons, New York.

Robandi, I, 2006, Desain Sistem Tenaga Modern, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

Supardi.A, 2002, Simulasi Dinamika dan Stabilitas Sistem Tenaga Listrik dengan Menggunakan *Thyristor Controlled Braking Resistor*", Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

William D. Stevention, 1982, Element of Power system Analysis, MCGraw-Hill International Book Company, New York.

Anderson, Fouad, 2003, Power System Control and Stability, IEEE Press.