

# ANALISIS PENGGUNAAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) DALAM PERBAIKAN STABILITAS TRANSIEN GENERATOR SINKRON

Indra Adi Permana<sup>1</sup>, I Nengah Suweden<sup>2</sup>, Wayan Arta Wijaya<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : [indra.ap@gmail.com](mailto:indra.ap@gmail.com)<sup>1</sup>, [suweden@ee.unud.ac.id](mailto:suweden@ee.unud.ac.id)<sup>2</sup>, [artawijaya@ee.unud.ac.id](mailto:artawijaya@ee.unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Analisis penggunaan power system stabilizer (PSS) pada sistem single machine infinite bus (SMIB) telah dilakukan dalam kondisi sistem mengalami gangguan pada input step mekanik sebesar 0,05 p.u. Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan PSS pada dua pemodelan yang berbeda berdasarkan sistem kontrol lead-lag dan kontrol PID. Kemudian dibandingkan pemodelan sistem yang menggunakan PSS dengan yang tidak menggunakan PSS dari performa sudut rotor dan frekuensinya. Hasil yang didapat setelah menjalankan simulasi menunjukkan bahwa perbaikan yang dilakukan oleh lead-lag PSS dalam meredam overshoot dan settling time pada respon sudut rotor dari nilai 0,18 p.u menjadi 0,125 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 5,1 detik. Pada respon frekuensi dari nilai 0,0014 p.u menjadi 0,00082 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 2,2 detik. Perbaikan yang dilakukan oleh PID power system stabilizer (PIDPSS) dalam meredam overshoot dan settling time pada respon sudut rotor dari nilai 0,18 p.u menjadi 0,105 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 4,6 detik. Sedangkan pada respon frekuensi dari nilai 0,0014 p.u menjadi 0,00079 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 1,6 detik.

**Kata Kunci :** Power System Stabilizer, kestabilan, SMIB, PID

## 1. PENDAHULUAN

Pada perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik, kestabilan sistem merupakan hal yang sangat penting. Suatu sistem dapat dikatakan stabil jika daya yang dihasilkan untuk mempertahankan mesin dalam keadaan sinkron cukup untuk mengatasi gangguan. Dalam keadaan operasi yang stabil dari suatu sistem tenaga listrik, terdapat keseimbangan antara daya input mekanis pada *prime mover* generator dengan daya output listrik (beban listrik) pada sistem. Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Gangguan besar pada sistem tenaga listrik akan berdampak pada operasi sinkron.

Kebutuhan energi listrik yang meningkat tidak diikuti dengan bertambahnya unit pembangkit merupakan salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya keandalan sistem tenaga. Hal ini dikarenakan pembangkit yang ada harus dipaksa beroperasi melebihi batasnya sehingga akan mudah kehilangan kestabilan ketika mengalami gangguan [1]. Gangguan ini akan menghasilkan osilasi dan bisa menyebabkan generator kehilangan sinkronisasinya dan berakibat sistem menjadi tidak stabil [1]. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah piranti yang mampu menstabilkan kembali sistem pembangkit agar dapat

beroperasi secara optimal, piranti tersebut dikenal dengan *power system stabilizer* (PSS).

Pada penelitian akan disimulasikan pengaruh pemasangan *power system stabilizer* (PSS) pada sistem *single machine infinite bus* (SMIB) pada saat terjadi gangguan dan membandingkan antara sistem yang menggunakan PSS dengan yang tidak menggunakan PSS berdasarkan performa sudut rotor dan frekuensinya. Dalam menyelesaikan penelitian digunakan *Simulink* MATLAB.

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik atau bagian komponennya untuk mempertahankan sinkronisasi dan keseimbangan sistem tersebut. Masalah kestabilan biasanya diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat alami dan *magnitude* gangguan, yaitu [2] :

- Stabilitas *steady state* adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil.
- Stabilitas transien adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga mempertahankan

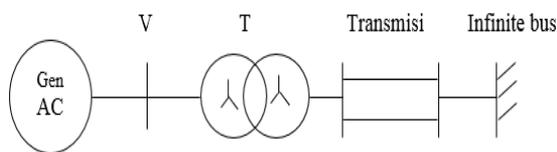
sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak selama sekitar satu *swing* (ayunan yang pertama) dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) dan *governor* belum bekerja.

- c. Stabilitas dinamik terjadi bila setelah *swing* pertama (periode stabilitas transien) sistem belum mampu mempertahankan sinkronisasi sampai sistem mencapai keadaan seimbang yang baru.

**2.2 Single Machine Infinite Bus (SMIB)**

*Single machine infinite bus* (mesin tunggal bus tak terhingga) adalah sebuah mesin yang menyalurkan daya ke bus tidak terhingga. Dikatakan tak terhingga karena jarak antar mesin dengan beban dianggap sangat jauh melalui saluran transmisi dengan ikatan variabel yang tidak kuat sehingga tegangan bus yang tidak terhingga dapat diasumsikan sebagai harga yang tidak terusik (konstan) [2].

Dapat dilihat pada gambar 1, sistem ini merupakan sebuah generator yang dipresentasikan oleh mesin tunggal (*single machine*) untuk mewakili sebuah pembangkit tenaga listrik yang terdiri dari beberapa generator. Generator G dihubungkan dengan ganda saluran melalui transformator T. Saluran transmisi dihubungkan dengan bus tidak terhingga melalui impedansi ekivalen  $Z_t$ . Bus tidak terhingga dipresentasikan dengan sebuah bus dengan sumber tegangan tetap. Magnitude frekuensi dan fase tegangan diasumsikan tidak berubah dengan perubahan beban (*output* generator). SMIB merupakan sebuah mesin yang terhubung melalui saluran transmisi dengan beban yang berjarak sangat jauh sehingga ikatan yang terjadi sangat lemah [2].



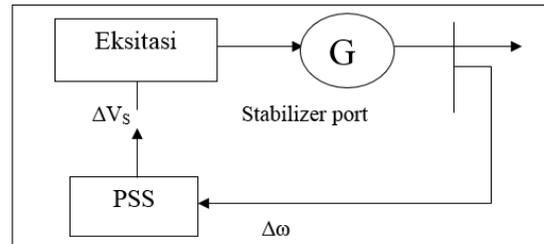
Gambar 1 Sistem SMIB

**2.3 Power System Stabilizer (PSS)**

PSS merupakan peralatan yang menghasilkan sinyal kontrol untuk diumpankan pada sistem eksitasi. Tujuan utama dari instalasi *power system stabilizer* atau PSS adalah untuk memperkuat *damping-torque* atau torsi redaman sehingga transfer energi dapat ditingkatkan. Torsi redaman perlu diperkuat manakala energi yang transmisikan melemah pada kondisi beban berat.

Namun pada pendekatan yang lebih baru, sinyal kontrol *output* PSS mampu menambah batas kestabilan dengan mengatur eksitasi generator untuk memberi redaman terhadap osilasi rotor mesin sinkron yang apabila tidak ditanggulangi maka akan dapat membatasi kemampuan transfer daya [2].

Implementasi sebuah PSS pada sistem daya yang disambungkan melalui  $\Delta V_p$  ke *port stabilizer* seperti pada gambar 2 [1] :

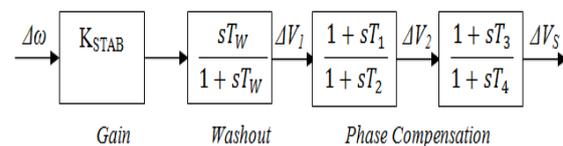


Gambar 2 Sistem PSS Pada Generator

PSS akan menghasilkan sinyal *output* ( $\Delta V_s$ ) untuk mengendalikan besar arus eksitasi apabila ada perubahan kecepatan sudut rotor ( $\Delta \omega$ ). PSS memiliki beberapa komponen antara lain [2]:

1. *Transducer* berfungsi mengubah sinyal input menjadi tegangan.
2. Rangkaian fase *Lag/Lead* berfungsi memberikan fase sesuai dengan yang kita inginkan.
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.

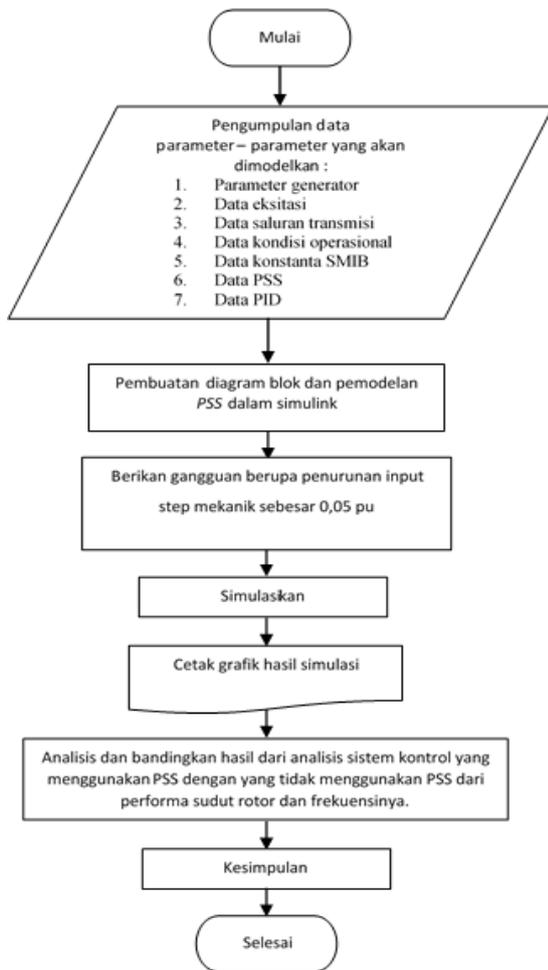
Diagram blok dari PSS dapat dilihat pada gambar 3 [2]:



Gambar 3 Conventional Lead-Lag PSS

**3. METODE PENELITIAN**

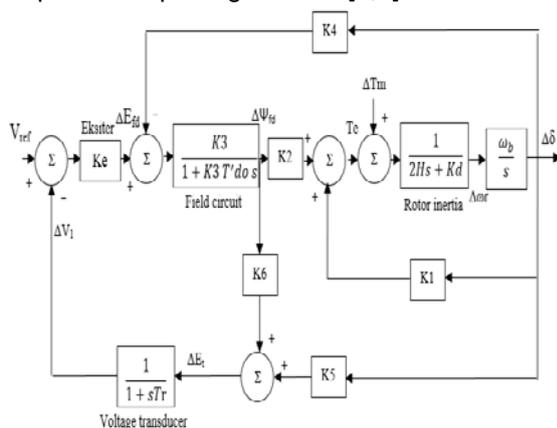
Analisis data pada penelitian ini disusun berdasarkan metode kepustakaan dengan menganalisis teori yang ada dari beberapa buku dan makalah maupun jurnal, sehingga alur analisis dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Alur Analisis

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model *single machine infinite bus* (SMIB) yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada gambar 5 [3,4].



Gambar 5 Model Blok Diagram SMIB

Performa sistem disimulasikan dengan memberikan gangguan dinamik berupa input step sebesar 0.05 pu yang dilakukan dalam kondisi K5 bernilai positif.

#### 4.1 Data dan Parameter Generator

Data dan parameter yang digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat di tabel 1 [3,4]. Semua data adalah dalam satuan p.u kecuali data t (waktu) yaitu dalam satuan detik.

Tabel 1 Data dan Parameter Generator

Besaran	Nilai	Definisi
<b>Parameter Generator</b>		
H	3,5	Inertia mesin
K <sub>d</sub>	0	Koefisien redaman generator
T' <sub>do</sub>	8	Konstanta waktu rangkaian hubung buka generator
X <sub>d</sub>	1,81	Reaktansi sinkron generator <i>d-axis</i>
X' <sub>d</sub>	0,3	Reaktansi transien generator <i>d-axis</i>
X <sub>q</sub>	1,76	Reaktansi sinkron generator <i>q-axis</i>
X <sub>t</sub>	0	Reaktansi transformator
ω <sub>o</sub>	314	Kecepatan rotor
<b>Data Eksitasi</b>		
K <sub>E</sub>	200	Gain <i>regulator</i>
T <sub>R</sub>	0,02	Konstanta waktu <i>regulator</i>
<b>Data Saluran Transmisi</b>		
X <sub>e</sub>	0,65	Reaktansi saluran transmisi
R <sub>e</sub>	0	Tahanan saluran transmisi
<b>Data Kondisi Operasional</b>		
P	0,9	Suplai daya aktif generator
Q	0,3	Suplai daya reaktif generator
E <sub>t</sub>	1	Tegangan terminal generator
f	50	Frekuensi sistem
<b>Data Konstanta SMIB</b>		
K <sub>1</sub>	0,7636	Perubahan torsi elektrik untuk perubahan kecil sudut rotor pada fluks sumbu d konstan
K <sub>2</sub>	0,8644	Perubahan torsi elektrik untuk perubahan kecil fluks sumbu d pada sudut rotor konstan
K <sub>3</sub>	0,3231	Faktor impedansi yang dibawa ke perhitungan efek beban dari impedansi eksternal
K <sub>4</sub>	1,4189	Efek demagnetisasi perubahan sudut rotor
K <sub>5</sub>	0,1463	Perubahan tegangan terminal ΔVt untuk perubahan kecil dari sudut rotor pada fluks sumbu d konstan
K <sub>6</sub>	0,4167	Perubahan tegangan terminal ΔVt untuk perubahan kecil dari fluks sumbu d pada sudut rotor konstan
<b>Data PSS</b>		
K <sub>STAB</sub>	16	Konstanta PSS
T <sub>w</sub>	2	Konstanta waktu yang dipilih pada

		rangkaian washout
$T_1$	0,078	Konstanta waktu yang dipilih pada kompensator dinamik
$T_2$	0,026	Konstanta waktu yang dipilih pada kompensator dinamik
<b>Data PID</b>		
$K_P$	1	Konstanta <i>gain proportional</i>
$K_I$	1	Konstanta <i>gain integral</i>
$K_D$	0	Konstanta <i>gain derivative</i>

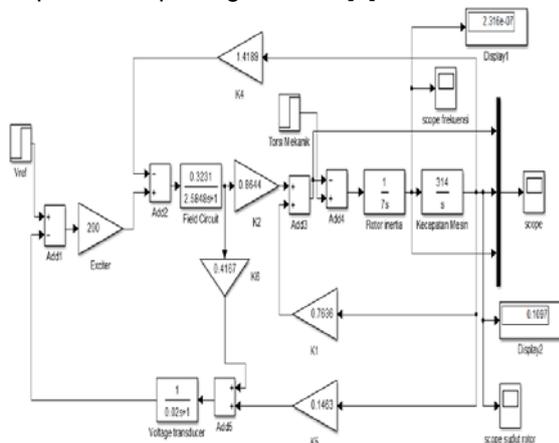
#### 4.2 Simulasi Single Machine Infinite Bus (SMIB)

Untuk dapat mengetahui performa sistem, pemodelan simulasi *single machine infinite bus* (SMIB) dilakukan dalam 3 kondisi yaitu :

1. Pemodelan simulasi *single machine infinite bus* (SMIB) tanpa menggunakan *power system stabilizer* (PSS).
2. Pemodelan simulasi *single machine infinite bus* (SMIB) menggunakan *power system stabilizer* (PSS).
3. Pemodelan simulasi *single machine infinite bus* (SMIB) menggunakan PID *power system stabilizer* (PIDPSS).

##### 4.2.1 Pemodelan Simulasi SMIB Tanpa PSS

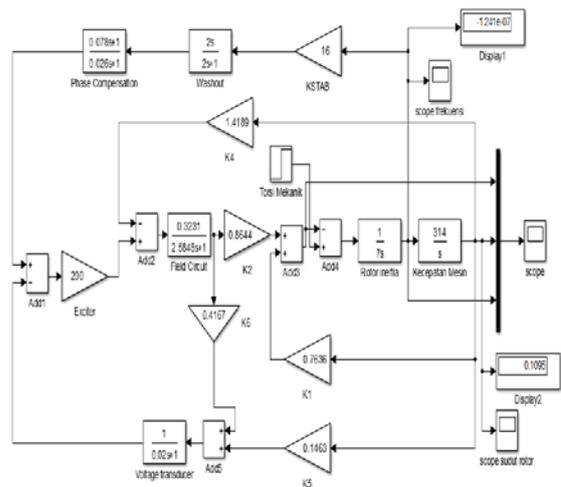
Pemodelan *single machine infinite bus* tanpa menggunakan *power system stabilizer* (PSS) dapat dilihat pada gambar blok diagram pada gambar 5. Pada pemodelan ini hanya mengandalkan sistem eksitasi dalam menstabilkan performa generator. Simulasi dilakukan dengan memberikan gangguan berupa perubahan *input* mekanik pada sistem sebesar 0,05 pu. Bentuk simulink matlab dari blok diagram pemodelan *single machine infinite bus* (SMIB) tanpa menggunakan PSS yang sudah dimasukkan nilai variabel input dapat dilihat pada gambar 6 [3].



Gambar 6 Model Simulink SMIB Tanpa PSS

##### 4.2.2 Pemodelan Simulasi SMIB Menggunakan PSS

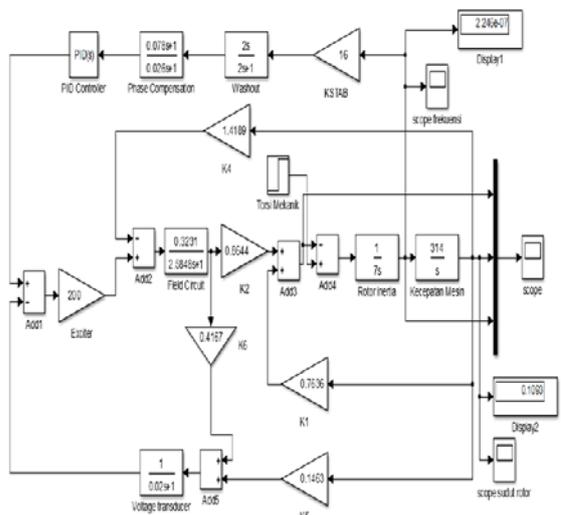
Pemodelan *single machine infinite bus* menggunakan *power system stabilizer* (PSS) didapatkan dengan memodifikasi model simulink pada gambar 6 yaitu dengan menambahkan blok *power system stabilizer* (PSS) pada rangkaian. Blok PSS merupakan sebuah sistem yang di dalamnya terdapat subsistem yang terdiri dari *gain*, rangkaian *washout* dan *phase compensation*. Setelah dirangkai maka akan menghasilkan model simulink seperti pada gambar 7 [3].



Gambar 7 Model Simulink SMIB Dengan PSS

##### 4.2.3 Pemodelan Simulasi SMIB Menggunakan PIDPSS

Pemodelan *single machine infinite bus* menggunakan PID *power system stabilizer* (PIDPSS) didapatkan dengan memodifikasi model simulink pada gambar 7 yaitu dengan menambahkan blok PID pada rangkaian sehingga menghasilkan model simulink seperti pada gambar 8 [5].

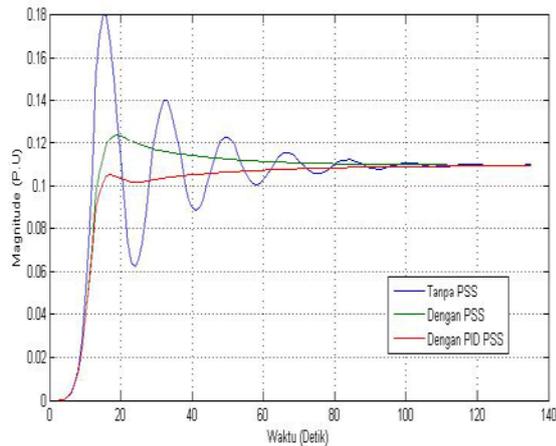


Gambar 8 Model Simulink SMIB Dengan PIDPSS

### 4.3 Perbandingan Model Simulasi SMIB Keseluruhan

#### 4.3.1 Simulasi Perbandingan Respon Posisi Sudut Rotor

Hasil simulasi posisi sudut rotor dari keseluruhan model *single machine infinite bus* (SMIB) keseluruhan baik yang menggunakan *power system stabilizer* (PSS) maupun dengan yang tidak menggunakan *power system stabilizer* (PSS) dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan Respon Sudut Rotor SMIB Keseluruhan

Dari hasil simulasi keseluruhan dapat dilihat bahwa respon sistem terhadap gangguan yang diasumsikan berupa perubahan *input step* mekanik sebesar 0.05 pu saat nilai K5 positif. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa posisi sudut rotor pada *single machine infinite bus* tanpa *power system stabilizer* mencapai titik puncak (*peak time*) pada saat 0.72 detik sebesar 0.18 p.u. Posisi sudut rotor mencapai keadaan stabil pada saat 8.2 detik. Secara terperinci respon posisi sudut rotor terhadap waktu ditunjukkan pada tabel 2.

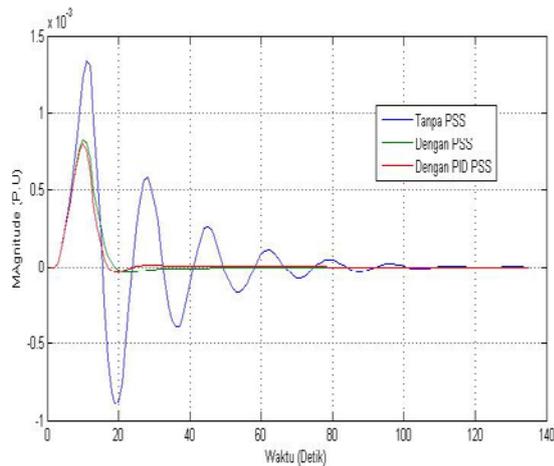
Tabel 2 Perbandingan Hasil Simulasi Respon Sudut Rotor SMIB Keseluruhan

Single Machine Infinite Bus	Peak Time (Waktu Puncak)	Maksimum Sudut Rotor (p.u)	Settling Time (Waktu Stabil)	Posisi Stabil (p.u)
Tanpa PSS	0.72 detik	0.18	8.2 detik	0.11
PSS	0.9 detik	0.125	5.1 detik	0.11
PID PSS	0.8 detik	0.105	4.6 detik	0.11

Dengan penambahan *power system stabilizer* konvensional dan PID *power system stabilizer* yang diaplikasikan pada *single machine infinite bus*, terjadi peredaman osilasi sudut rotor yang signifikan pada output posisi sudut rotor. *Power system stabilizer* konvensional memiliki nilai posisi sudut rotor maksimum yang sudah teredam paling tinggi diantara ke dua pemodelan, yaitu sebesar 0.125 p.u dari nilai awal 0.18 p.u dan posisi sudut rotor mencapai titik stabil pada waktu 5.1 detik dari waktu sebelumnya 8.2 detik. Nilai posisi sudut rotor maksimum yang lebih rendah didapatkan dari PID *power system stabilizer* yang mencapai nilai 0.105 p.u dan posisi sudut rotor mencapai titik stabil pada waktu 4.6 detik. Ini menunjukkan bahwa PID *power system stabilizer* memiliki kinerja yang lebih baik dalam meredam osilasi sudut rotor, karena semakin rendah nilai posisi sudut rotor yang dihasilkan dan semakin cepat waktu sistem mencapai titik stabil maka itu menunjukkan bahwa kinerja sistem pembangkitan tersebut lebih baik dalam mengatasi gangguan yang akan berdampak pada operasi sinkron.

#### 4.3.2 Simulasi Perbandingan Respon Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi sistem dari keseluruhan model *single machine infinite bus* (SMIB) keseluruhan baik yang menggunakan *power system stabilizer* (PSS) maupun dengan yang tidak menggunakan *power system stabilizer* (PSS) dapat dilihat pada gambar 10. Dari hasil simulasi keseluruhan dapat dilihat bahwa respon sistem terhadap gangguan yang diasumsikan berupa perubahan *input step* mekanik sebesar 0.05 pu saat nilai K5 positif. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa frekuensi sistem pada *single machine infinite bus* tanpa *power system stabilizer* mencapai titik puncak (*peak time*) pada saat 0.29 detik sebesar 0.0014 p.u. Frekuensi sistem mencapai keadaan stabil pada saat 8 detik.



**Gambar 10 Perbandingan Respon Frekuensi SMIB Keseluruhan**

Secara terperinci respon frekuensi sistem terhadap waktu ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3 Perbandingan Hasil Simulasi Respon Frekuensi SMIB Keseluruhan**

Single Machine Infinite Bus	Peak Time (Waktu Puncak)	Maksimum Frekuensi (p.u)	Settling Time (Waktu Stabil)	Posisi Stabil (p.u)
Tanpa PSS	0.29 detik	0.0014	8 detik	0
PSS	0.2 detik	0.00082	2.2 detik	0
PID PSS	0.2 detik	0.00079	1.6 detik	0

Dengan penambahan *power system stabilizer* konvensional dan *PID power system stabilizer* yang diaplikasikan pada *single machine infinite bus*, terjadi peredaman osilasi frekuensi sistem yang signifikan pada output frekuensi. *Power system stabilizer* konvensional memiliki nilai frekuensi maksimum yang sudah teredam paling tinggi diantara ke dua pemodelan, yaitu sebesar 0.00082 p.u dari nilai awal 0.0014 p.u dan frekuensi sistem mencapai titik stabil pada waktu 2.2 detik dari waktu sebelumnya 8 detik. Nilai frekuensi maksimum yang lebih rendah didapatkan dari *PID power system stabilizer* yang mencapai nilai 0.00079 p.u dan frekuensi sistem mencapai titik stabil pada waktu 1.6 detik. Ini menunjukkan bahwa *PID power system stabilizer* juga mampu meredam osilasi frekuensi lebih baik dari *power system stabilizer* konvensional. Frekuensi yang stabil sangatlah penting dalam pembangkitan karena jika frekuensi stabil maka generator akan mampu menghasilkan tegangan yang stabil pula.

## 5. Simpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pemasangan *power system stabilizer* (PSS) pada *single machine infinite bus* (SMIB) mampu menurunkan *over shoot* (nilai puncak maksimum) dan *settling time* (waktu stabil) sistem pada respon sudut rotor dari nilai 0,18 p.u menjadi 0,125 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 5,1 detik, sedangkan pada respon frekuensi dari nilai 0,0014 p.u menjadi 0,00082 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 2,2 detik.
2. Perbaikan yang dilakukan oleh *PID power system stabilizer* (PIDPSS) dalam meredam *over shoot* dan *settling time* pada respon sudut rotor dari nilai 0,18 p.u menjadi 0,105 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 4,6 detik, sedangkan pada respon frekuensi dari nilai 0,0014 p.u menjadi 0,00079 p.u dan mencapai kondisi stabil pada waktu 1,6 detik.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Jibril Yamlecha, Hermawan, dan Susatyo Handoko. *Perbandingan Desain Optimal Power System Stabilizer (PSS) Menggunakan PSO (Particle Swarm Optimization) dan GA (Genetic Algorithm) pada Single Line Infinite Bus (SMIB)*. Transient, 2012, Vol.1 : 2302-9927.
- [2] Imam Robandi. *Modern Power System Control*. Yogyakarta: Penerbit Andi. 2009.
- [3] Manish Kuswaha, Mrs. Ranjeeta Khare. *Dynamic Stability Enhancement of Power System using Fuzzy Logic Based Power System Stabilizer*. International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013.
- [4] Neeraj Gupta and Sanjay K. Jain. *Comparative Analysis of Fuzzy Power System Stabilizer Using Different Membership Function*. International Journal of Computer and Electrical Engineering, 2010, Vol. 2 : 1793-8163.
- [5] Balwinder Singh Surjan, Ruchira Garg. *Power System Stabilizer Controller Design for SMIB Stability Study*. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 2012, Vol.2: 2249-8958.