

## Meningkatkan Kestabilan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan PSS Berbasis Fuzzy PD Dan Fuzzy PI

Agustinus Rubbak Manai<sup>1</sup>, Tamaji<sup>2</sup>  
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Widya Kartika  
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1, Surabaya 60113  
Email: rustastin@gmail.com

### ABSTRAK

Stabilitas sistem pembangkit tenaga listrik yang dilakukan dengan pemasangan *power system stabilizer* (PSS) yang diterapkan pada generator. Perubahan beban dan gangguan kecil yang terjadi dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem pembangkit tenaga listrik, hal ini dapat menyebabkan kualitas daya listrik menurun secara signifikan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan sebuah kontroler tambahan yang dinamakan dengan PSS (*Power System Stabilizer*). PSS digunakan untuk meredam osilasi elektro mekanik dalam sistem tenaga listrik. Pemodelan sistem kontrol PSS berbasis fuzzy PD dan fuzzy PI dalam bentuk SMIB (*Single Machine Infinite Bus*). Dimana kestabilan yang dimaksud yaitu kemampuan sistem untuk dapat mempertahankan kondisi sinkron ketika terjadi gangguan. Fungsi dasar PSS yaitu menambah batas kestabilan sistem untuk memberi redaman pada sistem tenaga listrik model SMIB. Kemampuan sistem tenaga listrik dengan pemasangan PSS untuk meredam osilasi lebih optimal dibandingkan tanpa pemasangan PSS.

**Kata Kunci:** Fuzzy, PID, PSS (*Power System Stabilizer*), *Steady state*, *Overshoot*.

### 1. PENDAHULUAN

Kestabilan terkait dengan kemampuan sistem untuk dapat mempertahankan kondisi sinkron ketika terjadi gangguan. Kestabilan sangat rentan terhadap gangguan yang dapat mempengaruhi kondisi stabil, sehingga perubahan beban dinamik yang terjadi pada sistem akan memungkinkan terjadinya osilasi pada sistem tenaga listrik. Dalam studi analisis ini gangguan yang menjadi objek penerapan PSS (*power System Stabilizer*) berbasis fuzzy PD dan fuzzy PI adalah gangguan dinamik pada sistem pembangkit tenaga listrik untuk model SMIB (*Single Machine Infinite Bus*). Sehingga menjadi layak dilakukan analisis untuk penerapan PSS berbasis fuzzy PD dan fuzzy PI agar mengetahui pemodelan sistem tenaga listrik terutama pada model SMIB (*Single Machine Infinite Bus*).

### 2. METODE PENELITIAN

Tahapan yang akan dilakukan pada saat menerapkan *power system stabilizer* (PSS) berbasis fuzzy PD dan fuzzy PI melakukan pemodelan sistem yang terdiri dari pemodelan tanpa kontrol, pemodelan dengan kontrol PD dan PI serta pemodelan menggunakan kontrol fuzzy PD dan fuzzy PI. Sehingga dapat diketahui *performance* dari masing-masing

model berdasarkan kontrol yang diterapkan pada sistem tersebut. Dari *performance* pada masing-masing pemodelan tersebut sehingga dapat ditentukan *rise time*, *over shoot*, *settling time* dan *steady state* untuk model *single machine infinite bus* (SMIB). Setelah mengetahui *performance* dari pemodelan sistem berdasarkan *rise time*, *over shoot*, *settling time* dan *steady state* maka dilakukan perbandingan *performance* yang terbaik pada pemodelan sistem tenaga listrik untuk *single machine infinite bus* (SMIB).

Pada tahap selanjutnya dilakukan perbandingan *performance* sudut, tegangan generator, kecepatan sudut, dan tegangan pada medan generator yang didapatkan berdasarkan beberapa kriteria yang sudah ditentukan sebelumnya. Dari hasil tersebut kemudian akan didapatkan *performance* terbaik dari pemodelan dan kontrol yang diterapkan pada sistem tenaga listrik tersebut, sehingga dapat diketahui kestabilan sistem tenaga listrik untuk *single machine infinite bus* (SMIB).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan melakukan analisis dari *performance* berdasarkan model

sistem dan kontrol yang diterapkan pada sistem untuk model SMIB (*single mechine infinite bus*).

### 3.1 Analisis Performance SMIB

Dari pemodelan sistem yang sudah ada menghasilkan *performance* sudut, kecepatan sudut, tegangan generator dan tegangan pada medan generator melalui *scope* sebagai *output* sistem dan fungsi *step* sebagai *input* sistem tenaga listrik untuk model SMIB (*single mechine infinite bus*).

**Tabel 1.** Respon sistem tanpa kontrol model SMIB

No	Respon Sistem	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Sudut	1.5	0.26	3	0.24
2	Tegangan generator	2.6	0.04	5.5	0.03
3	Kecepatan Sudut	2	0.12	4.2	0.11
4	Tegangan Medan generator	1.5	0.28	3.5	0.27

Respon dari pemodelan SMIB (*sigle Mechine infinite Bus*) yang menggunakan kontrol PD akan ditampilkan melalui *scope* sebagai *output* sistem. Kontrol PD yang diterapkan pada sistem tenaga listrik akan dijadikan sebagai perbandingan dengan sistem tenaga listrik tanpa kontrol. *Performance* sistem yang diterapkan untuk mengetahui nilai sudut, tegangan generator sistem, kecepatan sudut dan tegangan pada medan generator sistem tenaga listrik model SMIB.

**Tabel 2.** Respon sistem kontrol PD model SMIB

No	Respon Sistem	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Sudut	1.5	0.28	3.5	0.25

2	Tegangan generator	2.5	0.11	3	0.09
3	Kecepatan Sudut	2.3	0.138	3.2	0.13
4	Tegangan Medan generator	1	1.09	3	1

Dengan menggunakan *step* sebagai *input* sistem, dari pemodelan ada 4 *scope* yang sudah dipasang sebagai *output* sistem untuk bisah menganalisa masing-masing *performance*. Dimana performansi tersebut terdiri dari: performansi sudut, tegangan generator sistem, kecepatan sudut, dan tegangan pada medan generator.

**Tabel 3.** Respon sistem kontrol PI model SMIB

No	Respon Sistem	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Sudut	1.2	0.28	4	0.25
2	Tegangan generator	3	0.2	4.2	0.1
3	Kecepatan Sudut	2	0.14	5	0.13
4	Tegangan Medan generator	1	1.5	3.5	1

Dari pemodelan sistem dengan kontrol PI dan PD, sistem masih membutuhkan waktu yang begitu lama untuk meuju titik stabil sistem. Hal tersebut dapat dilihat dari performansi *overshoot* dan *steady state error system* yang masih mempunyai nilai yang berbeda bahkan mempunyai range yang jauh. Sehingga dengan kontrol PI dan PD kurang optimal untuk kestabilan sistem tenaga listrik untuk model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*). Maka dengan menerapkan fuzzy sebagai kontrol untuk SMIB akan jadi perbandingan *performance* dengan sistem kontrol yang lainnya, untuk memberikan keoptimalan sistem untuk kestabilan sistem tenaga listrik dengan model SMIB.

**Tabel 4.** Respon sistem dengan kontrol Fuzzy PD model SMIB

No	Respon Sistem	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Sudut	1	-	2	1.65
2	Tegangan generator	1	-	2	5
3	Kecepatan Sudut	1	-	2	-3.4
4	Tegangan Medan generator	1	-	1.8	-5

Dari performance sistem dengan kontrol PI dan PD, sistem masih membutuhkan waktu yang begitu lama untuk menuju titik stabil sistem. Hal tersebut dapat dilihat dari performansi *overshoot* dan *steady state error system* yang masih mempunyai nilai yang berbeda bahkan mempunyai range yang masih jauh, sehingga kontrol PI dan PD kurang optimal untuk kestabilan sistem tenaga listrik untuk model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*). Maka dengan menerapkan fuzzy sebagai kontrol untuk SMIB akan jadi perbandingan *performance* dengan sistem kontrol yang lainnya, untuk memberikan keoptimalan sistem untuk kestabilan sistem tenaga listrik dengan model SMIB.

**Tabel 5.** Respon sistem dengan kontrol Fuzzy PI model SMIB

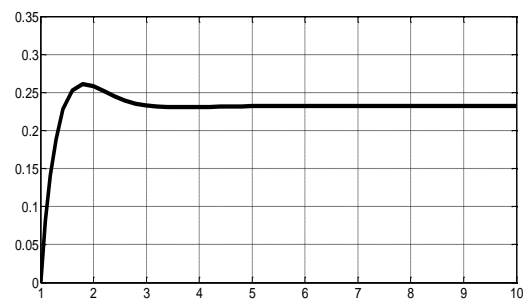
No	Respon Sistem	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Sudut	1	-	2	2.2
2	Tegangan generator	1	-	2	6.65
3	Kecepatan Sudut	1	-	2	-4.4
4	Tegangan Medan generator	1	-	2	6.8

### 3.2 Perbandingan *Performance* Stabilitas

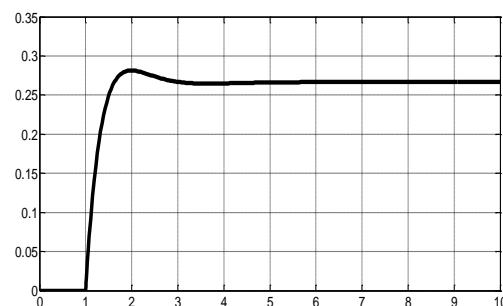
Untuk perbandingan stabilitas pada setiap performance berdasarkan kontrol yang diterapkan pada sistem tenaga listrik model SMIB (*Single mechine Infinite Bus*), maka penulis memaparkan tabel perubahan pada setiap keadaan dengan kondisi yang sama untuk mencapai titik stabil pada sistem tenaga listrik untuk model SMIB.

#### 1. Perbandingan Perubahan Sudut

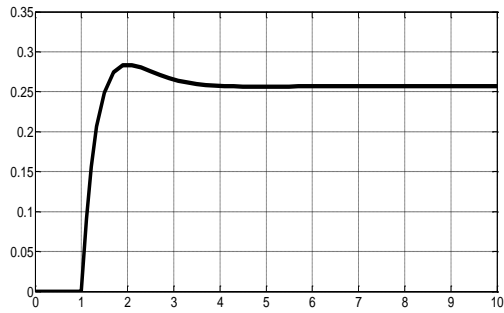
Untuk perbandingan *performance* berdasarkan kontrol yang diterapkan dengan model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*), perbandingan respon perubahan sudut ( $\Delta\omega$ ) pada penelitian ini menggunakan 5 hasil simulasi yang masing-masing mempunyai respon yang berbeda berdasarkan kontrol yang diterapkan.



**Gambar 1.** Respon Sudut Tanpa Kontrol



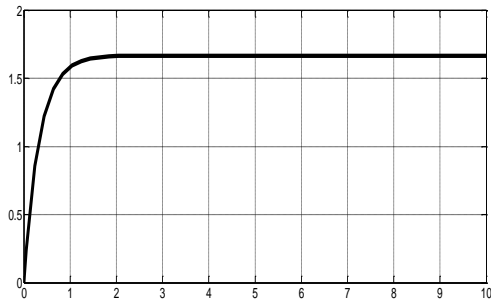
**Gambar 2.** Respon Sudut Kontrol PD



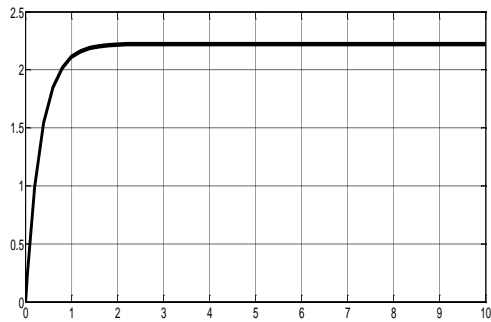
Gambar 3. Respon Sudut Kontrol PI

5	Kontrol Fuzzy PD	1	-	2	1.65
---	------------------	---	---	---	------

Dari hasil simulasi untuk respon perubahan sudut, dimana *performance* menggunakan fuzzy sebagai kontrol lebih cepat menuju pada titik stabil. Hal ini membuktikan bahwa sistem menggunakan fuzzy lebih baik dari pada sistem kontrol yang lain.



Gambar 4. Respon Sudut Kontrol Fuzzy PD

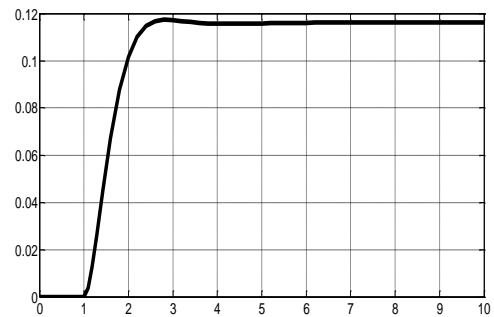


Gambar 5. Respon Sudut Kontrol Fuzzy PI

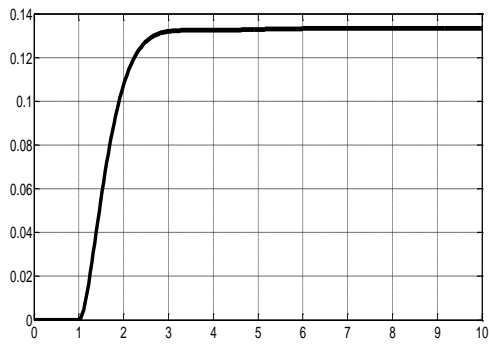
2. Perbandingan Kecepatan Sudut  
*Performance* kecepatan sudut dengan model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*) mempunyai perbedaan yang signifikan untuk menuju kestabilan sistem tenaga listrik. Kontrol PI dan PD membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan sistem tanpa kontrol, hal tersebut membuktikan kontrol dengan PID kurang efisien untuk diterapkan pada sistem dengan model SMIB. Sedangkan kontrol menggunakan fuzzy mempunyai *performance* yang sangat baik ditandai dengan sistem cepat menuju pada titik stabil dan tanpa *overshoot*. Hal tersebut membuktikan bahwa kontrol sistem tenaga listrik SMIB menggunakan kontrol fuzzy sangat efisien diantara jenis kontrol lainnya.

Tabel 6. Perbandingan Perubahan Sudut ( $\Delta\delta$ )

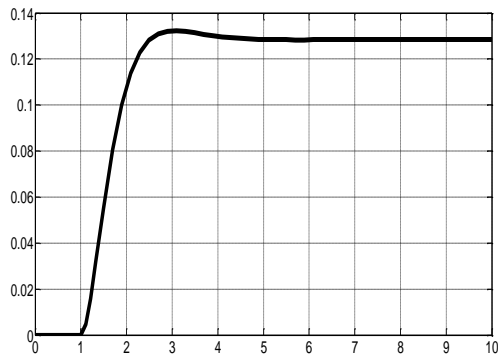
No	Nama Kontrol	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Tanpa Kontrol	1.5	0.26	3	0.24
2	Kontrol PD	1.5	0.28	3.5	0.25
3	Kontrol PI	1.2	0.28	4	0.25
4	Kontrol Fuzzy PI	1	-	2	2.2



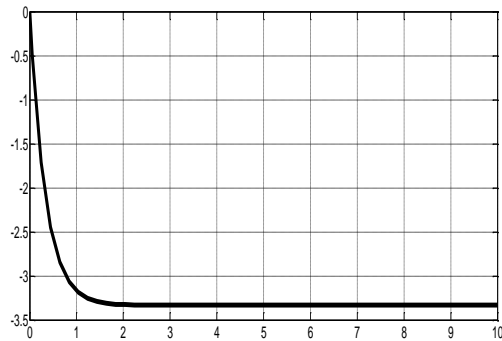
Gambar 6. Respon Kecepatan sudut Tanpa Kontrol



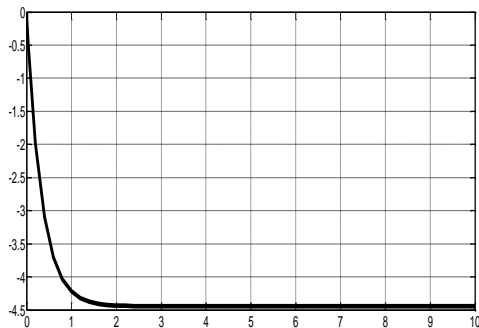
Gambar 7. Respon Kecepatan Sudut Kontrol PD



Gambar 8. Respon Kecepatan Sudut Kontrol PI



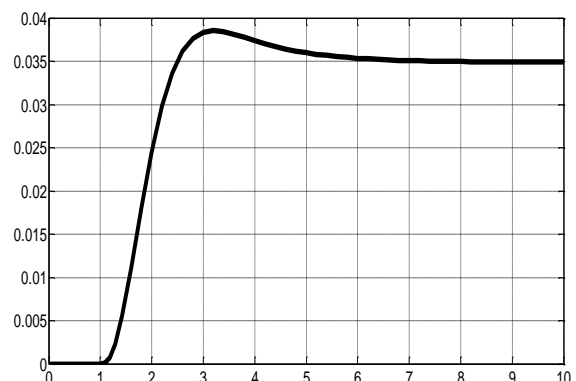
Gambar 9. Respon Kecepatan Sudut Kontrol Fuzzy PD



Gambar 10. Respon Kecepatan Sudut Kontrol Fuzzy PI

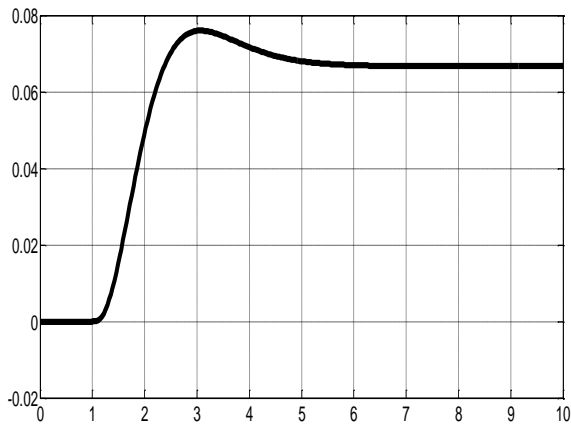
No	Nama Kontrol	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Tanpa Kontrol	2	0.12	4.2	0.11
2	Kontrol PD	2.3	0.138	3.2	0.13
3	Kontrol PI	2	0.14	5	0.13
4	Kontrol Fuzzy PI	1	-	2	-4.4
5	Kontrol Fuzzy PD	1	-	2	-3.4

3. Perbandingan Tegangan Generator  
 perbandingan tegangan pada sistem tenaga listrik model SMIB. Dengan menggunakan kontrol fuzzy sistem lebih cepat menuju titik stabil dibandingkan dengan kontrol PD dan PI, hal tersebut membuktikan *performance* dengan kontrol fuzzy lebih unggul dari pada kontrol yang lain. Untuk perbandingan tegangan pada medan generator, memberikan perbandingan berdasarkan kontrol yang dipakai pada sistem tenaga listrik model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*). Perbandingan pada *rise time* tanpa kontrol mempunyai nilai yang berbeda yaitu 1.5, hal tersebut membuktikan sistem tanpa kontrol lebih lama untuk mencapai titik stabil.

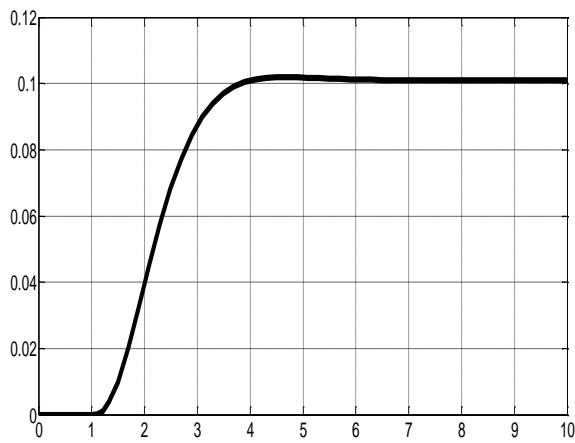


Gambar 11. Respon Tegangan Generator tanpa Kontrol

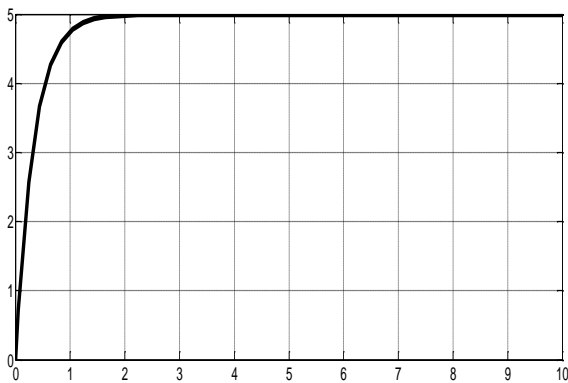
Tabel 7. Perbandingan Kecepatan Sudut ( $\Delta\omega$ )



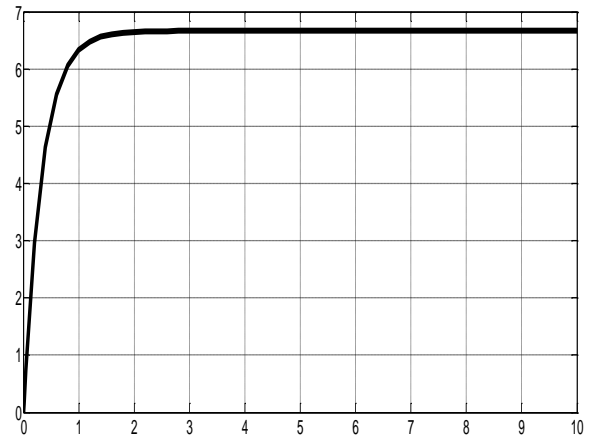
Gambar 12. Respon Tegangan Generator Kontrol PD



Gambar 13. Respon Tegangan Generator Kontrol PI



Gambar 14. Respon Tegangan Generator Kontrol Fuzzy PD



Gambar 15. Respon Tegangan Generator Kontrol Fuzzy PI

Tabel 8. Perbandingan Tegangan Generator ( $\Delta E'_q$ )

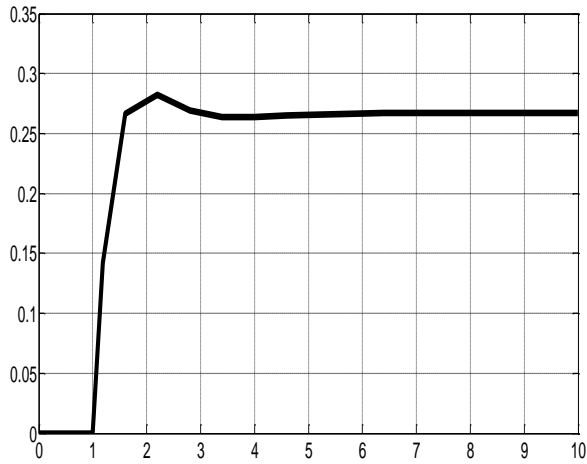
No	Nama Kontrol	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)
1	Tanpa Kontrol	2.6	0.04	5.5	0.03
2	Kontrol PD	2.5	0.11	3	0.09
3	Kontrol PI	3	-	4.2	0.1
4	Kontrol Fuzzy PI	1	-	2	6.65
5	Kontrol Fuzzy PD	1	-	2	5

Kontrol menggunakan Fuzzy PI dan Fuzzy PD tidak mempunyai *over shoot*, hal tersebut membuktikan bahwa sistem dengan kontrol fuzzy lebih cepat stabil.

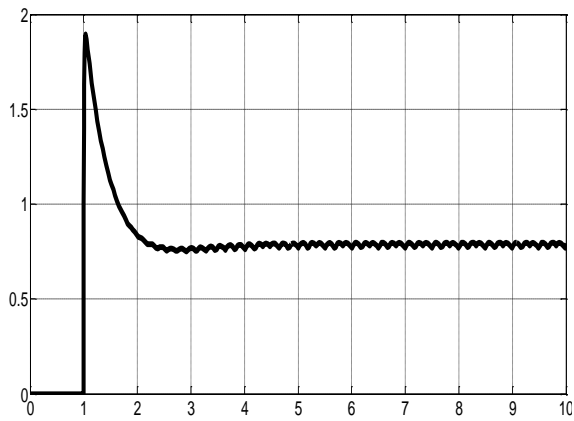
#### 4. Perbandingan Tegangan Medan Generator

Tegangan pada medan generator dengan kontrol PD mempunyai kurva yang jauh berbeda dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol dan

kontrol fuzzy. Secara umum kontrol fuzzy berfungsi untuk menghilangkan *overshoot* sistem, dengan tidak adanya *over shoot* tersebut menunjukkan sistem lebih cepat stabil. *Performance* tiap kontrol dan tanpa kontrol menghasilkan waktu yang berbeda-beda untuk stabil, dengan demikian sistem berjalan dengan baik namun waktu (s) respon lama. Maka dari *performance* yang sudah ada menampilkan perbandingan tiap sistem berdasarkan kontrol yang diterapkan.

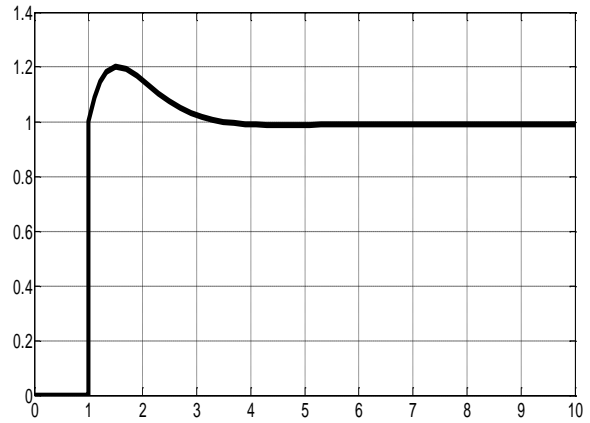


Gambar 16. Respon Tegangan Medan Generator Tanpa Kontrol

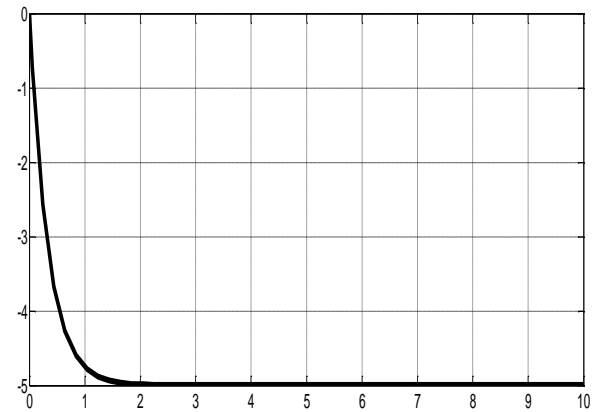


Gambar 17. Respon Tegangan Medan Generator Kontrol PD

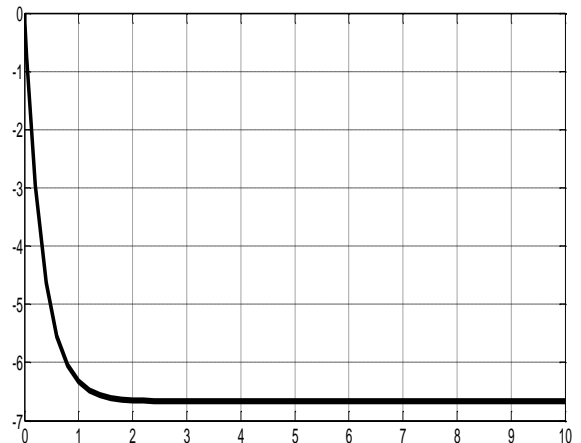
Tabel 9. Perbandingan Tegangan Medan Generator ( $\Delta E'_{fd}$ )



Gambar 18. Respon Tegangan Medan Generator Kontrol PI



Gambar 19. Respon Tegangan Medan Generator Kontrol Fuzzy PD



Gambar 20. Respon Tegangan Generator Kontrol Fuzzy PI

No	Nama Kontrol	Rise Time (s)	Over shoot (pu)	Settling time (s)	Steady state (pu)

1	Tanpa Kontrol	1.5	0.28	3.5	0.27
2	Kontrol PD	1	1.09	3	1
3	Kontrol PI	1	1.5	3.5	1
4	Kontrol Fuzzy PI	1	-	2	6.8
5	Kontrol Fuzzy PD	1	-	1.8	-5

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil perbandingan *performance* dan analisis yang telah dilakukan maka diambil kesimpulan berdasarkan data dan hasil yang telah didapatkan. Kesimpulan tersebut adalah:

1. Penerapan Fuzzy PI pada sistem kontrol tenaga listrik untuk model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*) lebih optimal dibandingkan dengan kontrol lainnya. Hal tersebut sudah terbukti dari perbandingan *performance* sudut, *performance* tegangan dan *performance* kecepatan sudut, bahwa respon sistem lebih cepat stabil dengan menggunakan kontrol fuzzy PI.
2. Penggunaan PSS (*Power syste stabilizer*) pada SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*) memberikan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan sistem tenaga listrik tanpa penerapan PSS. Dimana respon tagangan dan kecepatan sudut lebih cepat stabil bila memakai PSS dibanding tanpa PSS.

##### 4.2 Saran

Dalam pemodelan sistem kestabilan tenaga listrik SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*) dengan menggunakan MATLAB SIMULINK banyak kendala dalam pembuatannya dikarenakan adanya keterbatasan pengetahuan penulis dalam simulasi dengan MATLAB. Untuk itu penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan ketelitian model dan simulasi sistem kestabilan tenaga listrik model SMIB (*Single Mechine Infinite Bus*), beban sebaiknya tidak dianggap statis tetapi beban dinamis.
2. Model dari PSS (*Power System Stabilizer*) dan model governor bukan standar tetapi model sebenarnya dari sistem tenaga listrik yang diteliti.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

Buwono hendro (2014) *Penentuan nilai parameter kontroler PID*. Retrieved Februari 25, 2019 From [http://eltek.Polinema.ac.id\\_](http://eltek.Polinema.ac.id_)

Ejurnal. ITS (2015) *Stabilitas dinamik pada sistem tenaga listrik*. Retrieved Februari 19, 2019 from <http://its.ac.id/index.php/teknik/article>

Jurnal.ITS. (April, 2014) *Pemodelan Sistem Tenaga Listrik*. Retrieved Februari 19, 2019 From <http://jurnal%201234/8613-23226-1-PB.pdf>.

Repository.ugm (maret, 2014) *Sistem Pembangkit Tenaga Listrik*. Retrieved Februari 19, 2019 from <://E:/jurnal%201234/37-1-110-1-10-20171020.pdf>

Anderson P.M, Fouad A.A, (1997) *Power System Stability and Controls*. Retrieved juni 12, 2019. Iowa : State University Press

Cekdin, Cekmas (2006) *Sistem Tenaga Listrik contoh soal dan penyelesaiannya menggunakan MATLAB*. Retrieved mei 25, 2019.Yogyakarta: ANDI.