

---

## ANALISIS STABILITAS *MULTI MACHINE* PADA ISLAND MODE SISTEM KELISTRIKAN BALI

I Gede Bayu Suarsa<sup>1</sup>, Ida Bagus Gede Manuaba<sup>2</sup>, Rukmi Sari Hartati<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : [bayu.suarsa99@gmail.com](mailto:bayu.suarsa99@gmail.com)<sup>1</sup>, [ibgmanuaba@unud.ac.id](mailto:ibgmanuaba@unud.ac.id)<sup>2</sup>,  
[rukmisari@unud.ac.id](mailto:rukmisari@unud.ac.id)<sup>3</sup>

### Abstrak

Sistem kelistrikan modern dicirikan dengan sistem interkoneksi yang luas dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik dan meningkatnya ketergantungan pada sistem kontrol. Salah satu sistem kelistrikan yang sudah terinterkoneksi secara luas adalah sistem kelistrikan Bali. Sistem Bali dengan menggunakan *mode island* memiliki empat unit pembangkit yang dapat menyuplai kebutuhan energi listrik diantaranya UP Pesanggaran, UP Celukan Bawang, UP Gilimanuk dan UP Pemaron. Namun harus diingat di dalam menyuplai kebutuhan energi listrik juga dipengaruhi dengan adanya perubahan beban yang terus menerus, sehingga mengakibatkan ketidakstabilan pada sistem kelistrikan. Sehingga perlu adanya suatu sistem kontrol yang dapat meningkatkan nilai redaman seperti *Power System Stabilizer* (PSS). PSS dapat digunakan untuk meredam osilasi frekuensi saat terjadinya gangguan, akan tetapi untuk desain PSS memberikan performa kurang bagus dalam kondisi operasi yang berbeda. Permasalahan pada PSS terjadi karena kesalahan dalam pemodelan, pemasukan nilai input, dan variasi topologi. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi kesalahan pada PSS dengan diusukannya suatu metode yang diharapkan mampu mengatasi masalah ini yaitu *Fuzzy logic controller*. Hasil analisis menunjukkan bahwa indeks kinerja sistem menggunakan *fuzzy logic* adalah 78,6064. *Fuzzy logic* memiliki kemampuan untuk meredam lebih baik dan menekan *error* lebih baik.

**Kata kunci** : *Power System Stabilizer*, Stabilitas, Interkoneksi, *Fuzzy logic*

### Abstract

*Modern electrical systems are characterized by extensive interconnection systems with the need for electrical energy and control depending on the control system. One electricity system that has been widely interconnected is the Bali electricity system. The Bali system using island mode has four generating units that can supply electrical energy needs including UP Pesanggaran, UP Celukan Bawang, UP Gilimanuk and UP Pemaron. But it must be remembered in supplying electrical energy needs are also affected by the constant change in load, resulting in instability in the electrical system. So the need for a control system that can increase the value of damper such as the Power System Stabilizer (PSS). PSS can be used to reduce frequency oscillations when interference occurs, but for PSS design it gives less good performance in different operating conditions. Problems with PSS occur due to errors in modeling, input value input, and topology variations. Efforts are made to reduce errors in PSS by using methods that are expected to overcome this problem, namely the fuzzy logic controller. The results of the analysis show that the system performance index using fuzzy logic is 78.6064. Fuzzy logic has the ability to damp better and reduce errors better.*

**Keyword:** *Power System Stabilizer*, Stability, Interconnection, *Fuzzy logic*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik modern ini dicirikan dengan sistem interkoneksi yang luas, meningkatnya kebutuhan energi listrik dan meningkatnya ketergantungan pada sistem kontrol. Yang mana akan banyak menghadapi tantangan karena hari demi hari terus meningkatkan kompleksitas dalam operasi dan struktur di dalam sistem tenaga listrik. Permasalahan utama atau perhatian luas di dalam sistem tenaga listrik adalah ketidakstabilan suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik selalu mengalami gangguan, dan itu tidak pernah dalam kondisi *steady state*. Ada fluktuasi yang terus – menerus dalam sistem tenaga listrik, yang disebabkan dari gangguan kecil dalam bentuk perubahan beban terus menerus terjadi [1].

Gangguan kecil yang disebabkan oleh terjadinya perubahan beban terus menerus, akan mengakibatkan terjadinya osilasi pada sistem tenaga listrik antara area yang sudah terinterkoneksi. Osilasi akan menyebabkan sistem mengalami ketidakstabilan. Sistem kontrol yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik untuk mengatasi masalah osilasi adalah *Power System Stabilizer* (PSS) [2]. Tujuan utama di pasang nya PSS adalah untuk meredam osilasi rotor generator sinkron didalam rentang 0,1 Hz sampai dengan 2,5 Hz, diharapkan dengan penambahan sistem PSS dapat meredam osilasi generator sinkron. Untuk PSS dapat meredam secara efektif dan memastikan bahwa sistem dapat stabil, parameter PSS harus diatur secara sedemikian hati – hati [3].

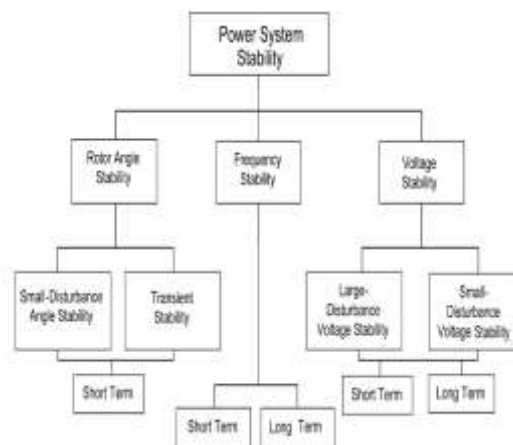
Didalam melakukan pengaturan untuk parameter PSS harus didukung dengan beberapa metode dan pengalaman dilapangan. Salah satu metode yang digunakan dalam mengatur PSS adalah *Fuzzy logic*. *Fuzzy*

*logic* berdasarkan *Power System Stabilizer* (FLPSS) memiliki potensi dalam meningkatkan redaman pada osilasi frekuensi [4].

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1 Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem tenaga listrik dalam menjaga kondisi seimbang sistem, dan kemampuan sistem untuk mendapatkan keadaan keseimbangan operasi setelah mengalami gangguan. Kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: *Rotor angle stability*, *Frequency Stability*, dan *Voltage Stability* [5]. Untuk klarifikasi kestabilan sistem kelistrikan dapat dilihat pada gambar 1.

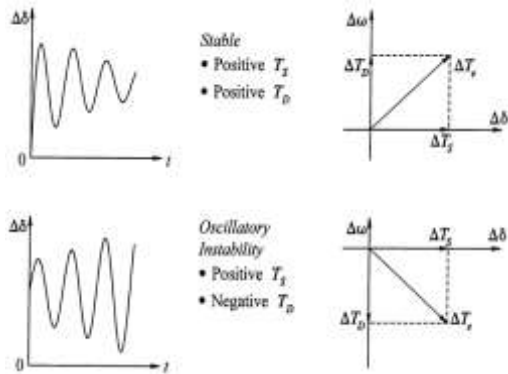


Gambar 1. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik [6]

### 2.2 Small Signal Stability

*Small signal stability* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi dari generator didalam mengatasi gangguan kecil. Gangguan kecil seperti ini terus menerus terjadi dikarenakan variasi dalam pembebanan generator yang diakibatkan oleh perubahan beban dan pemilihan sistem kontrol. Sistem tenaga listrik merespon suatu gangguan tergantung pada beberapa faktor antara lain; operasi awal, sistem transmisi, dan sistem kontrol. Gambar 2 menunjukkan

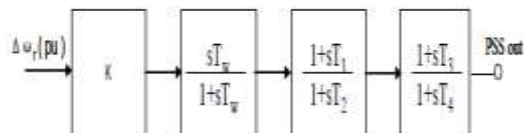
suatu generator yang menggunakan sistem kontrol [6].



Gambar 2 Generator dengan sistem kontrol [6]

### 2.3 Power System Stabilizer (PSS)

PSS secara umum banyak digunakan sebagai kontroler sistem eksitasi untuk meredam osilasi rotor pada generator. Input PSS berupa kecepatan rotor yang mana akan menghasilkan sinyal tambahan pada eksiter, namun PSS harus di atur dengan tepat agar membantu eksitasi dalam meredam osilasi. Didalam PSS terdapat tiga komponen secara umum, yaitu; komponen pertama adalah *gain* yang berfungsi untuk memberikan nilai *gain* yang cukup dalam meredam osilasi pada sistem, komponen kedua adalah *washout* yang berfungsi sebagai *high pass filter*, dan komponen ketiga adalah *lead/lag* berfungsi untuk meningkatkan fase yang diinginkan [7]. Digram blok dari PSS dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok dari PSS [7]

### 2.4 Fuzzy Logic Controller

*Fuzzy logic controller* yang mana *Fuzzy logic controller* yang mana tidak memiliki struktur *non-linear*, memiliki tujuan untuk meningkatkan stabilitas sistem dengan cara meminimumkan nilai dari *overshoot*. Konsep dasar *fuzzy*

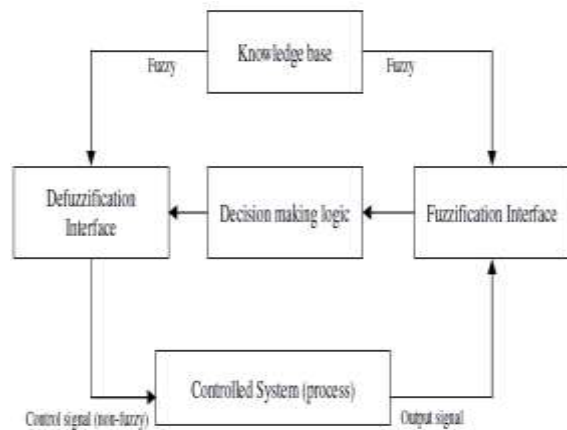
*logic* secara umum adalah *linguistic variable* dan *membership functions*. Konfigurasi dari FLC bisa dibagi menjadi empat bagian, yaitu: *Fuzzification*, *Knowledge base*, *Decision-Making logic*, dan *Defuzzification* seperti Gambar 4 [8].

**Fuzzification** adalah proses dimana input dikategorikan agar sesuai dengan bahasa *linguistic* [8].

**Knowledge base** terdiri dari 2 bagian yaitu *database* dan *linguistic (fuzzy) control rule base* [8].

**Decision-Making Logic (DML)** adalah proses dimana *fuzzy* mempunyai kemampuan untuk mensimulasikan pengambilan keputusan yang dilakukan manusia berdasarkan konsep *fuzzy* [8]

**Defuzzification** adalah proses dimana pengambilan keputusan dari variabel *linguistic* dikembalikan ke variabel numerik, atau mengubah control FLC dari nilai *fuzzy* ke nilai *crisp* [8]



Gambar 4 Prinsip Desain Fuzzy Logic

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan sistem kelistrikan Bali dari Februari 2019 sampai dengan Mei 2019. Analisis data pada penelitian ini menggunakan data dari PT PLN (Persero) UP2B Bali dan dari beberapa buku dan

makalah maupun jurnal. Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Fuzzy logic berbasis PSS Membuat diagram blok dan pemodelan tanpa kontrol, PSS, dan Fuzzy logic berbasis PSS
2. Melakukan running aliran daya pada matlab untuk sistem kelistrikan Bali.
3. Menampilkan grafik hasil simulasi.
4. Menganalisis dan membandingkan hasil sistem yang tanpa kontrol, menggunakan PSS dan Fuzzy logic berbasis PSS
5. Memberikan kesimpulan mengenai perbandingan sistem tanpa control, menggunakan PSS dan Fuzzy logic berbasis PSS

### 3.2 Model Multi Machine Infinite Bus

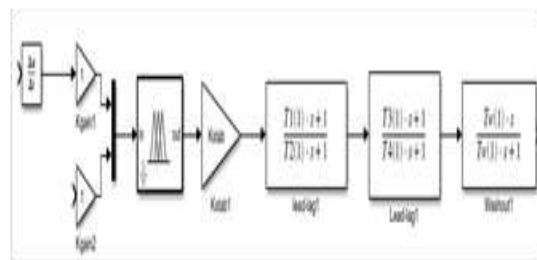
Multi machine infinite disimulasikan dengan menggunakan sistem kelistrikan Bali yang diwakilkan pada gambar 5. Untuk setiap generator menggunakan *speed governor*, turbin, *exciter* dan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* yang sama. Sistem kelistrikan Bali menggunakan jaringan transmisi *double circuit*, dan memiliki empat unit pembangkit yang diantaranya unit pembangkit Pesanggaran, unti pembangkit Celukan Bawang, unit pembangkit Gilimanukt,

dan unit pembangkit Pemaron.

Gambar 5. Model multi machine infinite bus [7]

### 3.3 Fuzzy Logic berbasis Power System Stabilizer

Fuzzy logic berbasis power system stabilizer dimodelkan seperti pada gambar 6, dengan terdiri dari



beberapa komponen antara lain; fuzzy, *kstab*, *washout*, *filter lead* dan *lag*

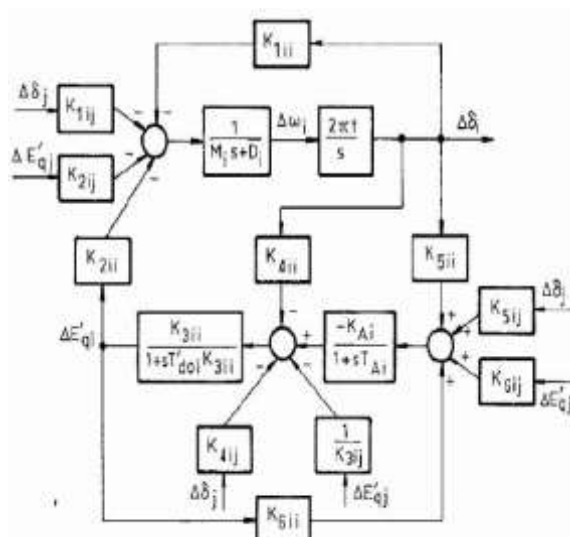
Gambar 6 Fuzzy logic Power System Stabilizer

Didalam mendesain kestabilan *fuzzy logic controler* semua sistem dinamik dituliskan pada modul *fuzzification* untuk setiap fuzzy logic berdasarkan membership function yang digambarkan pada gambar 7. Dan untuk fuzzy ruler dapat dilihat pada table berikut ini

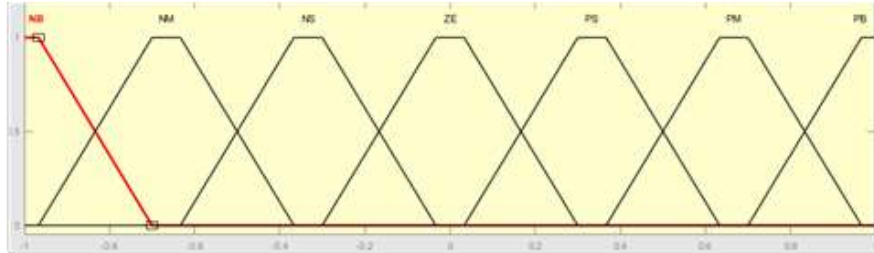
Tabel 1 Fuzzy Ruler

|   |    | NB | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | NB | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZE |
| 2 | NM | NB | NB | NM | NM | NS | ZE | PS |
| 3 | NS | NB | NM | NS | NS | ZE | PS | PM |
| 4 | ZE | NB | NM | NS | ZE | PS | PM | PB |
| 5 | PS | NM | NS | ZE | PS | PS | PM | PB |
| 6 | PM | NS | ZE | PS | PM | PM | PB | PB |
| 7 | PB | ZE | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

Dari tabel diatas, bahwa setiap *input* mewakili aturan tertentu dan *output* sistem dicapai dengan menggunakan aturan spesifik yang diartikulasikan didalam metode *membership function*. Representasi yang digunakan dalam *input* antara lain;



Positif Small (PS), Positif Medium (PM), Positif Big (PB), Zero (ZE), Negatif Big (NB), Negatif Medium (NM), dan Negatif Small (NS) [8].



Gambar 7 Triangular membership function

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data dan Parameter Generator**

Data dan parameter yang dapat digunakan dalam simulasi ini, dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2 Data dan Parameter Generator

| No | Unit           | Nominal Apparent Power (MVA) | Inersia (detik) | Synchronous Reactance (pu) |       | Transient Time Constants (pu) |     | Transient Reactance (pu) |      |
|----|----------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|-------|-------------------------------|-----|--------------------------|------|
|    |                |                              |                 | Xd                         | Xq    | Td'                           | Tq' | Xd''                     | Xq'' |
| 1  | Pesanggaran    | 325                          | 4               | 1,93                       | 1     | 6,43                          | 0   | 0,185                    | 0,3  |
| 2  | Celukan Bawang | 380                          | 4,4             | 2,043                      | 1,967 | 2,86                          | 0   | 0,342                    | 0,3  |
| 3  | Gilmanuk       | 130                          | 4               | 2,2                        | 2     | 6,67                          | 0   | 0,3                      | 0,3  |
| 4  | Pemaron        | 80                           | 2,635           | 2,33                       | 2     | 6,94                          | 0   | 0,336                    | 0,3  |

Tabel 3 Data dan Parameter PSS

| Data PSS |     |                                 |
|----------|-----|---------------------------------|
| Kpss     | 3   | Konstanta PSS                   |
| Tw       | 2   | Konstanta waktu washout         |
| T1       | 0,5 | Konstanta waktu pada kompesator |
| T2       | 0,2 | Konstanta waktu pada kompesator |

|    |     |                                 |
|----|-----|---------------------------------|
| T3 | 0,5 | Konstanta waktu pada kompesator |
| T4 | 0,2 | Konstanta waktu pada kompesator |

**4.2 Perbandingan Hasil Simulasi MMIB**

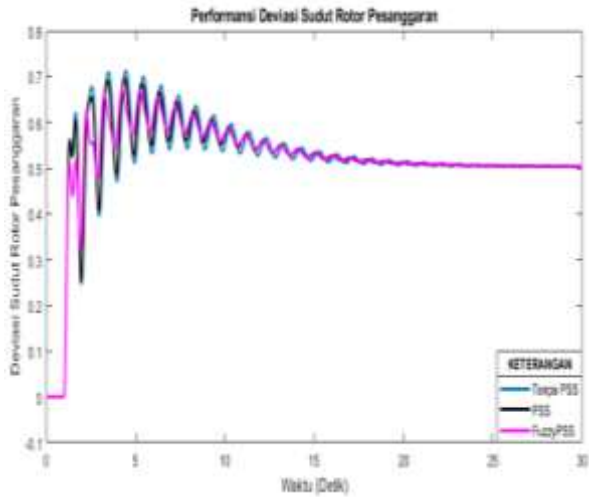
**4.2.1 Perbandingan Respon Deviasi Sudut Rotor**

Hasil simulasi deviasi sudut rotor dari keseluruhan unit pembangkit Bali pada *island mode* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 8, gambar 9, gambar 10, dan gambar 11 baik tanpa menggunakan PSS, menggunakan PSS, dan PSS dioptimalkan menggunakan *Fuzzy logic*. Dari hasil seluruh simulasi yang dapat dilihat bahwa respon sistem dengan menggunakan *fuzzy logic* sebagai pengoptimalan PSS berhasil meredam *overshoot* respon, untuk lebih terperinci dapat dilihat pada tabel 4

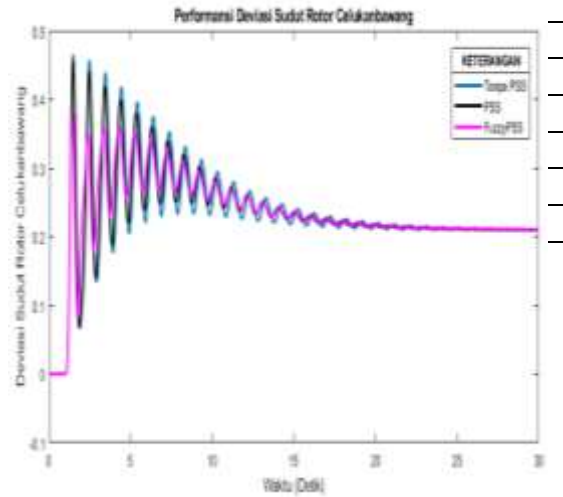
Tabel 4 Perbandingan Hasil Respon Sudut Rotor

Keterangan; PSG (Pesanggaran), CB (Celukan Bawang), G (Gilimanuk), dan Pr (Pemaron)

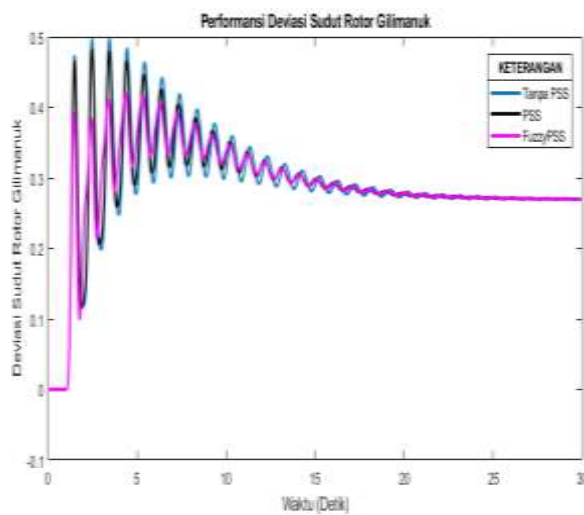
| Nama | Metode  | Overshoot | Settling Time |
|------|---------|-----------|---------------|
| PSG  | Tnp PSS | 41,673%   | 10,57         |
|      | PSS     | 38,383%   | 10,17         |
|      | Fuzzy   | 33,961%   | 9,56          |
| CB   | Tnp PSS | 40,228%   | 10,57         |
|      | PSS     | 37,362%   | 10,17         |



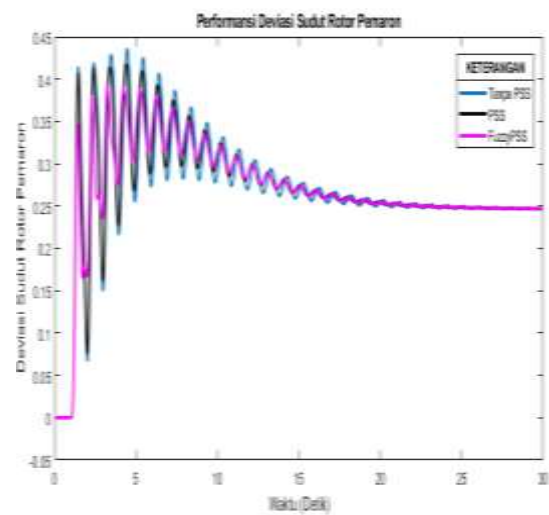
Gambar 8 Perbandingan sudut rotor Pesanggaran



Gambar 9 Perbandingan sudut rotor Celukan Bawang



Gambar 10 Perbandingan sudut rotor Gilimanuk



Gambar 11 Perbandingan sudut rotor Pemaron

**4.2.2 Perbandingan Respon Deviasi Frekuensi**

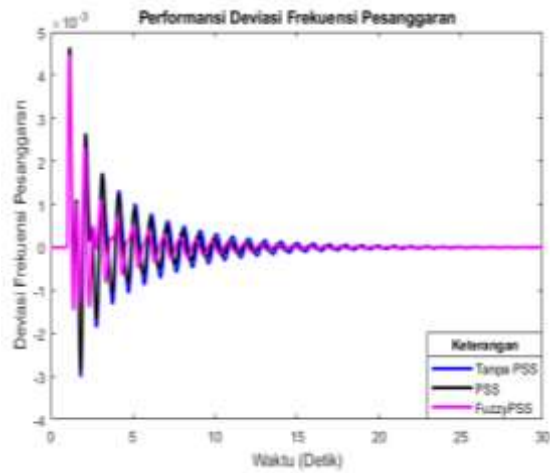
Hasil simulasi deviasi Frekuensi dari keseluruhan unit pembangkit Bali pada *island mode* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 12, gambar 13, gambar 14, dan gambar 15 baik tanpa menggunakan PSS, menggunakan PSS, dan PSS dioptimalkan menggunakan *Fuzzy logic*. Dari hasil seluruh simulasi yang dapat dilihat bahwa respon sistem dengan menggunakan *fuzzy logic* sebagai pengoptimalan PSS berhasil meredam *overshoot* respon, untuk lebih terperinci dapat dilihat pada tabel 5

**Tabel 5 Perbandingan Hasil Respon Frekuensi**

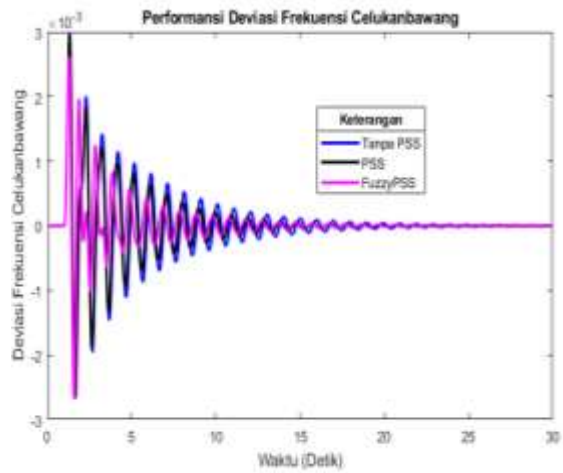
| Nama | Metode  | Overshoot | Settling Time |
|------|---------|-----------|---------------|
| PSG  | Tnp PSS | 0,00926   | 10,85         |
|      | PSS     | 0,00925   | 9,87          |
|      | Fuzzy   | 0,00896   | 9,71          |
| CB   | Tnp PSS | 0,00596   | 10,85         |
|      | PSS     | 0,00591   | 9,87          |
|      | Fuzzy   | 0,00529   | 9,71          |
| G    | Tnp PSS | 0,00615   | 10,85         |
|      | PSS     | 0,00608   | 9,87          |
|      | Fuzzy   | 0,00537   | 9,71          |
| Pr   | Tnp PSS | 0,00575   | 10,85         |
|      | PSS     | 0,00568   | 9,87          |
|      | Fuzzy   | 0,00507   | 9,71          |

Keterangan; PSG (Pesanggaran), CB (Celukan Bawang), G (Gilimanuk), dan Pr (Pemaron)

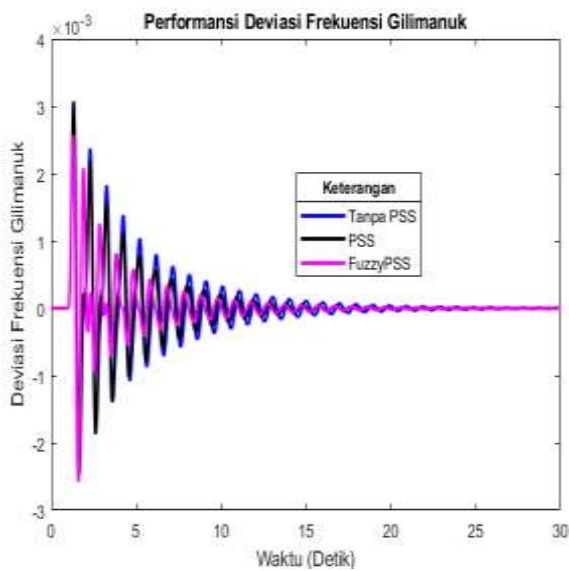
Dengan dioptimalkannya *Power System Stabilizer* menggunakan *fuzzy logic* yang diaplikasikan ke semua unit pembangkit pada *island mode* sistem kelistrikan Bali terjadi peredaman osilasi untuk hasil respon deviasi frekuensi yang mengacu pada tabel 4. Didalam tabel 4 terdapat nilai *overshoot* dan *settling time* dari setiap pembangkit Bali pada *island mode*, nilai *settling time* dari setiap pembangkit merupakan waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi *steady state*. Pada tabel 4 nilai *settling time* dari setiap pembangkit bervariasi tergantung metode yang digunakannya bila sistem tanpa *Power System Stabilizer* memiliki nilai *settling time* sebesar 10,85 detik, menggunakan *Power System Stabilizer* memiliki nilai *settling time* sebesar 9,87 detik, dan *Power System Stabilizer* yang dioptimalkan *fuzzy logic* memiliki nilai *settling time* sebesar 9,71 detik. Sedangkan nilai *overshoot* untuk setiap pembangkit berhasil teredam dengan menggunakan PSS yang dioptimalkan *fuzzy logic* sebesar 0,00896 Hz untuk Pesanggaran, 0,00529 Hz untuk Celukan Bawang, 0,00537 Hz untuk Gilimanuk, dan 0,00507 Hz untuk Pemaron.



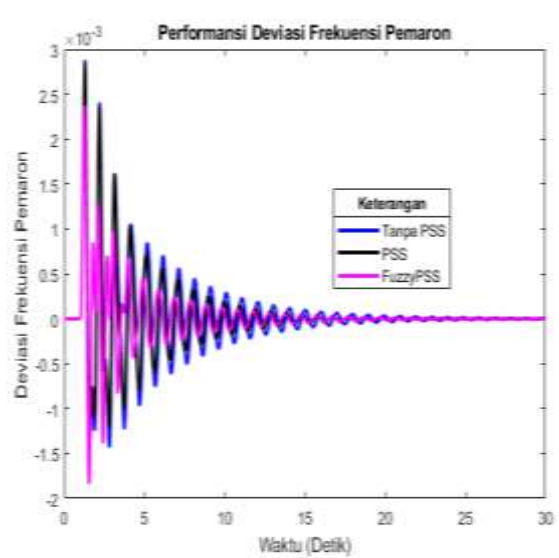
Gambar 12 Perbandingan deviasi Frekuensi Pesanggaran



Gambar 13 Perbandingan deviasi Frekuensi Celukan Bawang



Gambar 14 Perbandingan deviasi Frekuensi Gilimanuk



Gambar 15 Perbandingan deviasi Frekuensi Pamaran



Selain dibandingkan rincian hasil simulasi dari tabel 4 dan tabel 5, dapat juga dengan membandingkan indeks kinerja dari setiap metode yang digunakan. Perbandingan indeks kinerja setiap metode dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6 Indeks Kinerja Metode**

| No | Metode    | Indeks   |
|----|-----------|----------|
| 1  | Tanpa PSS | 267,3319 |
| 2  | PSS       | 97,2264  |
| 3  | Fuzzy PSS | 78,6064  |

Dari tabel 6 diketahui bahwa dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dapat meredam seluruh unit pembangkit pada *mode island* sistem kelistrikan Bali dengan indeks kinerja sebesar 78,6064. Dengan indeks kinerja yang kecil menunjukkan waktu kesalahan pada sistem sangatlah kecil dibandingkan tanpa PSS dan menggunakan PSS.

## 5. SIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah sistem yang tidak menggunakan sistem kontrol memiliki indeks kinerja yang buruk dengan *overshoot* yang besar dan *settling time* yang lama. Namun pemasangan PSS pada sistem dapat meredam *overshoot* dan mempercepat *settling time* dalam mencapai kondisi *steady state*, akan tetapi indeks kinerja yang dihasilkan masih besar. Untuk itu perlu dilakukan optimasi menggunakan metode *fuzzy logic* pada PSS untuk lebih dapat meredam *overshoot*, *settling time* yang cepat dalam mencapai kondisi *steady state*, dan memperkecil indeks kinerja sistem.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kanika Gupta dan Ankit Pandey. *Stabilization of Multi Machine System Connected to Infinite Bus*. 2013, Vol 2: 227 – 8616
- [2] Sumanbabu, Mishra, Panigrahi dan Venayamoorthy. *Robust Tuning Modern Power System Stabilizer Using Bacterial Foraging Algorithm*. 2007
- [3] Andrea Angel Zea. *Power System Stabilizer for the Synchronous Generator: Tuning and Performance Evaluation*. 2013.
- [4] Padmaja, Vakula, Padmavathi, dan Padmavathi. *Small Signal Stability Using Fuzzy Controller and Artificial Neural Network Stabilizer*. 2010, Vol. 1: 0976-6553
- [5] Kundur, Prabha. 2004. *Definition and Classification of Power System Stability*. IEEE : Vol 19, No 2.
- [6] Kundur, Prabha. 1993. *Power System Stability and Control*. California. McGraw – Hill, Inc.
- [7] Dasu, Butti. *Interconnected multi – machine power system stabilizer design using whale optimization algorithm*. 2019.
- [8] Elmahi, Bahar. *Simulation of Synchronous Machine in Stability Study for Power System: Garri Station as a Case Study*. 2012 Vol. 13, No.2