

ELECTRICAL ENGINEERING

Analisis stabilitas transient pada sistem 150 kV Bali dengan penambahan pltu celukan bawang 150 kV

I Gede Yogi Aditya Dewantara, Irrine Budi Sulistiawati

Institut Teknologi Nasional Malang, Fakultas Teknologi Industri, Teknik Elektro, Teknik Energi Listrik

KEYWORDS

Power system stabilizer (PSS); Transient stabilitas; ETAP; Lepas generator, Sistem 150 kV Bali

Abstract Seiring dengan berkembangnya pertumbuhan penduduk, industri, dan ekonomi menyebabkan kebutuhan energi listrik menjadi meningkat. Peningkatan energi listrik sangat berpengaruh terhadap kondisi kestabilan. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik tidak lepas dari gangguan. Salah satu gangguannya adalah lepas generator, adanya gangguan lepasnya generator akan berpengaruh pada stabilitas transient generator. Pada penelitian ini dilakukan percobaan untuk meningkatkan stabilitas transient generator pada saat terjadi gangguan, dengan penambahan PSS (*Power System Stabilizer*) pada sistem jaringan 150 kV Bali. Implementasi penambahan PSS dilakukan pada software ETAP dari hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum pemasangan PSS1A waktu peralihan sistem setelah terjadi gangguan yaitu daya aktif 48,2 detik dan sudut rotor 52,2 detik, setelah pemasangan PSS1A waktu peralihan lebih cepat yaitu daya aktif 34,1 detik dan sudut rotor 42 detik.

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik secara umum terdiri dari beberapa unit pembangkit, saluran transmisi, dan beban. Seiring berkembangnya penduduk, industri dan ekonomi menyebabkan kebutuhan energi listrik menjadi meningkat. Peningkatan energi listrik sangat berpengaruh terhadap kondisi kestabilan.[2] Kestabilan merupakan suatu kondisi yang harus diperhatikan dalam sistem tenaga listrik. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik tidak lepas dari masalah. Masalah seperti gangguan dari lepasnya generator, gangguan hubung singkat, starting motor maupun efek dari perubahan beban yang mendadak akan menyebabkan sistem keluar dari daerah kestabilannya. Kestabilan sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam suatu sistem untuk memberikan reaksinya terhadap gangguan dalam keadaan kerja normal, serta dapat kembali pada keadaan normal. Meskipun kestabilan sebuah sistem dapat dilihat secara menyeluruh dan meluas, tetapi untuk analisis kestabilan sebuah sistem dibagi menjadi tiga kategori yaitu : kestabilan mantap (*steady state stability*), kestabilan dinamik (*dynamic stability*), dan kestabilan peralihan (*transient stability*).[1]

Kestabilan peralihan (*transient stability*) adalah kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan setelah mengalami gangguan yang besar, sehingga sistem kehilangan stabilitas karena gangguan yang terjadi diluar kemampuan sistem tersebut. Salah satu teknik yang dapat dilakukan untuk menunjang kestabilan sistem tenaga listrik adalah PSS (*Power System Stabilizer*).

PSS adalah salah satu perangkat penambah kestabilan yang ditambahkan pada sistem eksitasi generator. Dengan memberikan suatu sinyal stabilitas bantu ke sistem eksitasi untuk menambah torsi redaman pada generator. Sistem eksitasi hanya akan mengendalikan daya reaktif saja untuk mempertahankan tegangan, daya, dan frekuensi yang stabil.[2]

Sistem Bali terdiri dari beberapa pembangkit dan pembebanan yang sangat tinggi, dengan adanya penambahan pembangkit baru diharapkan kebutuhan penyaluran listrik dapat terpenuhi. Pembangkit – pembangkit memiliki beberapa unit generator salah satunya pembangkit celukan bawang terdiri dari 3 unit generator, dalam simulasi ini akan dilakukan percobaan pelepasan salah satu unit generator pembangkit celukan

bawang, dengan melihat kondisi paling kritis diharapkan sistem bali atau khususnya pembangkit celukan bawang dapat kembali stabil saat terjadi gangguan.

Penelitian ini akan membahas mengenai implementasi pemasangan PSS (*Power System Stabilizer*) untuk meningkatkan kestabilan transient pada sistem 150 kV Bali pada saat terjadi gangguan lepasnya generator.

2. Metodologi

2.1. Kestabilan Sistem Tenaga

Stabilitas sistem tenaga secara luas didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam kondisi seimbang dalam operasi normal dan dapat memperoleh kembali kondisi seimbang setelah sistem mengalami gangguan.[4]

Berdasarkan paper IEEE *definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori yaitu :

1. Kestabilan sudut rotor
Kemampuan dari beberapa mesin sinkron yang saling terinterkoneksi pada suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkron.
2. Kestabilan frekuensi
Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan dari sistem suatu untuk mempertahankan kestabilan frekuensi akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban.
3. Kestabilan tegangan
Kestabilan tegangan dapat diartikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kestabilan nilai tegangannya di semua bus pada sistem dalam kondisi operasi normal maupun setelah terjadi gangguan.

2.2. Stabilitas Transien

Kestabilan transien merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar yang bersifat mendadak dalam waktu satu swing yang pertama. Dengan asumsi pengaturan tegangan otomatis (AVR) dan governor belum bekerja.[4]

2.3. Dinamik Rotor dan Persamaan Ayunan

Persamaan yang mengatur gerakan rotor suatu mesin serempak didasarkan pada prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa momen putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali dari momen – momen kelembaman (*moment of*

inertia) rotor dan percepatan sudutnya. Dalam sisitem unit – unit MKS dan untuk generator serempak, persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk :[4]

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan simbol – simbol pada persamaan 2.1 sebagai berikut :

J = Momen kelembaman total dari massa rotor dalam $kg - m^2$

θ_m = Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (*stationary*), dalam radian mekanis

t = Waktu, dalam detik

T_a = Momen putar percepatan bersih, dalam N_m

T_m = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putaran perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi – rugi putaran, dalam N_m

T_e = Momen putar elektrik atau elektromagnetis bersih, dalam N_m

Faktor – faktor yang mempengaruhi stabilitas transient :

1. Seberapa besar generator tersebut dibebani.
2. Output generator selama terjadi gangguan. Ini tergantung dari lokasi gangguan dan type gangguan.
3. Waktu pemutusan gangguan.
4. Reaktansi sistem transmisi setelah terjadi gangguan.
5. Reaktansi generator. Reaktansi yang rendah meningkatnya daya puncak.
6. Inersia generator. Inersia yang besar, menyebabkan perubahan sudut lambat. Ini menurunkan energi kinetik yang diperoleh saat terjadi gangguan.

2.4. Sistem Exciter

Sistem eksitasi adalah sistem pasokan listrik DC yang berfungsi sebagai penguat pada generator listrik atau pembangkitan medan magnet, sehingga generator dapat menghasilkan listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besar arus eksitasinya.[3]

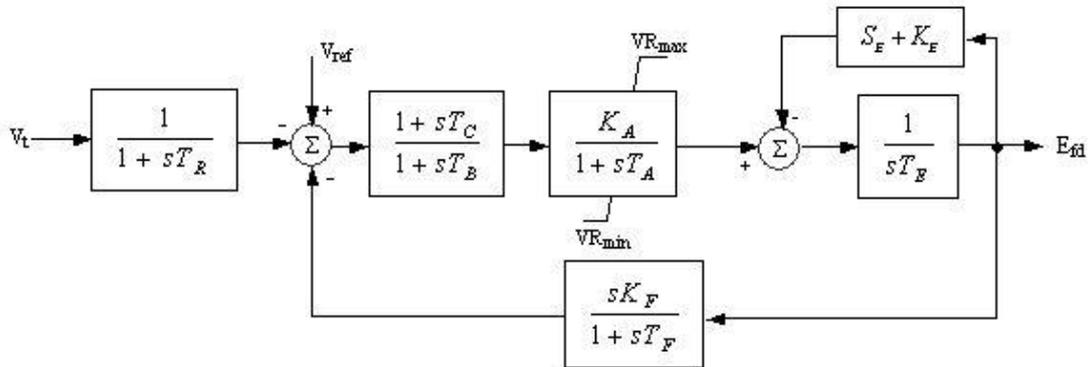
Static excitation system ditandai dengan adanya *power amplifier* yang daya tambahan dipasok elektrik dan bukan dari poros generator sebagai halnya dengan *exciter* berputar. Ini

membuka berbagai kemungkinan untuk penyediaan energi tambahan kebanyakan digunakan:

- 1) Untuk generator sinkron berkapasitas daya kecil, supply daya berasal dari terminal generator itu sendiri untuk penyearahan

energi eksitasi oleh sistem supply daya tambahan.

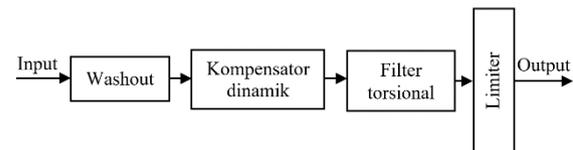
- 2) Untuk generator sinkron berkapasitas daya besar, supply daya berasal dari sistem luar yang mana memperoleh daya tambahan dari terminal generator.



Gambar 2.1 DC Commutator Exciter with Continuous Voltage Regulation (DC1)

2.5. PSS (Power System Stabilizer)

Fungsi dari PSS (Power System Stabilizer) sendiri ialah untuk meredam osilasi rotor generator dengan mengatur eksitasi menggunakan penyetabil tambahan. Untuk memberi peredaman, PSS harus dapat menghasilkan komponen torsi elektrik yang se-fasa dengan perubahan kecepatan rotor. [5]



Gambar 2.2 Diagram blok PSS

Faktor – faktor yang dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem adalah :

- a. Pembebanan generator atau hubungan saluran.
- b. Kemampuan transfer daya dari saluran transmisi.
- c. Faktor daya.
- d. Penguat AVR dan penguat kontroler yang lain.

Berikut penjelasan masing – masing fungsi blok pada Gambar 2.2

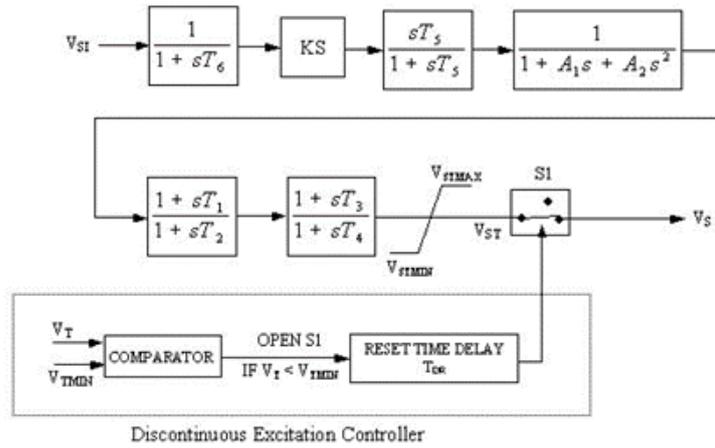
Secara umum PSS dibutuhkan pada kondisi daya yang harus ditransmisikan pada jarak operasi yang sangat jauh sehingga menyebabkan hubungan variable sistem menjadi sangat lemah. Meskipun PSS tidak dibutuhkan pada kondisi operasi normal, namun PSS memberikan hasil yang memuaskan saat digunakan di bawah kondisi yang tidak normal yang mungkin saja terjadi pada suatu saat. Karena itu, PSS menjadi pilihan standar berpasangan dengan eksiter statik modern yang harus digunakan secara efektif pada sistem skala besar. [6]

1. Rangkaian washout digunakan untuk mengeliminasi sinyal bias pada kondisi *steady state* pada output PSS. PSS diharapkan dapat merespons variasi transien pada sinyal input. Rangkaian washout penting sebagai filter untuk melewati frekuensi tinggi dan harus dapat dilewati oleh seluruh frekuensi yang digunakan.
2. Kompensator Dinamik yang digunakan di industri dibuat menjadi dua tingkat *lead-lag* yang mempunyai fungsi sebagai transfer.
3. Filter Torsional dalam PSS penting sebagai *band reject filter* untuk melamahkan frekuensi mode torsional pertama. Untuk stabilizer dengan input perubahan daya, filter torsional dibutuhkan karena ada interaksi tambahan dari PSS dengan osilasi torsional.
4. Limiter output dari PSS harus dibatasi menggunakan limiter untuk menjaga aksi PSS dalam mendampingi kerja AVR. Jika terjadi penolakan muatan, AVR akan menurunkan tegangan terminal dan aksi PSS dibutuhkan untuk menaikkan tegangan terminal sehingga

Blok diagram PSS terdiri dari beberapa blok seperti Gambar 2.2

lebih tinggi lagi (dengan meningkatkan kecepatan atau frekuensi). PSS sangat diperlukan bila kasus penolakan muatan terjadi.[6]

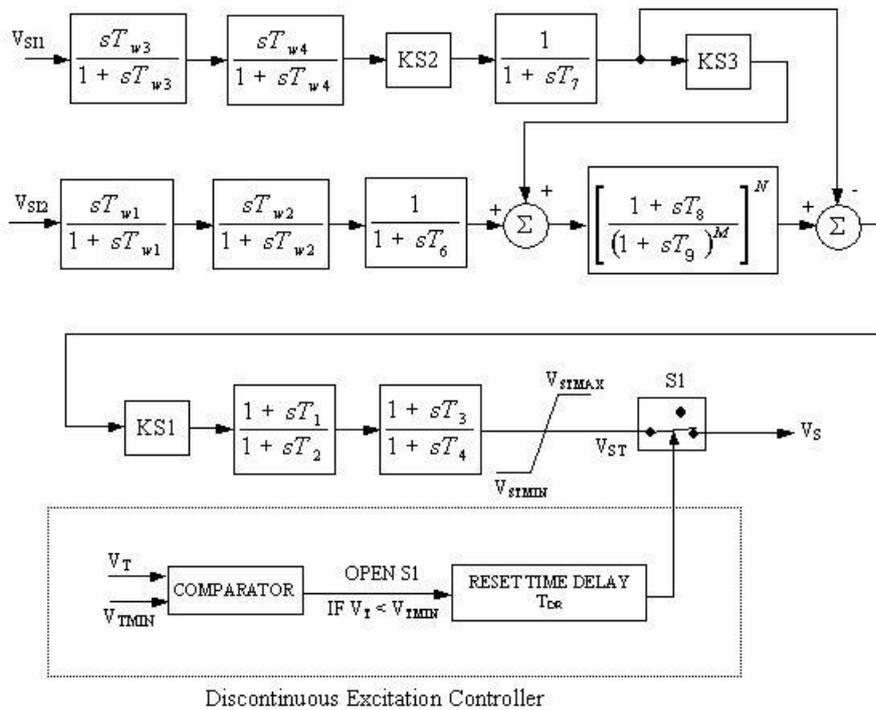
2.6. PSS1A dan PSS2A



Gambar 2.3 PSS2A

Tabel 2.1 Data Power System Stabilizer(PSS-1A)

Ks	V_{STMAX}	V_{STMIN}	T_1	T_2	T_3	T_4
3,15	0,9	-0,9	0,76	0,1	0,76	0,1



Gambar 2.4 PSS2A

Tabel 2.2 Data Power System Stabilizer(PSS-2A)

KS1	KS2	KS3	V_{STMAX}	V_{STMIN}	VTMin	TDR	Tw1=Tw2=Tw3=Tw4	N	M
20	0,001	1	0,2	-0,066	0	0,2	10	4	2

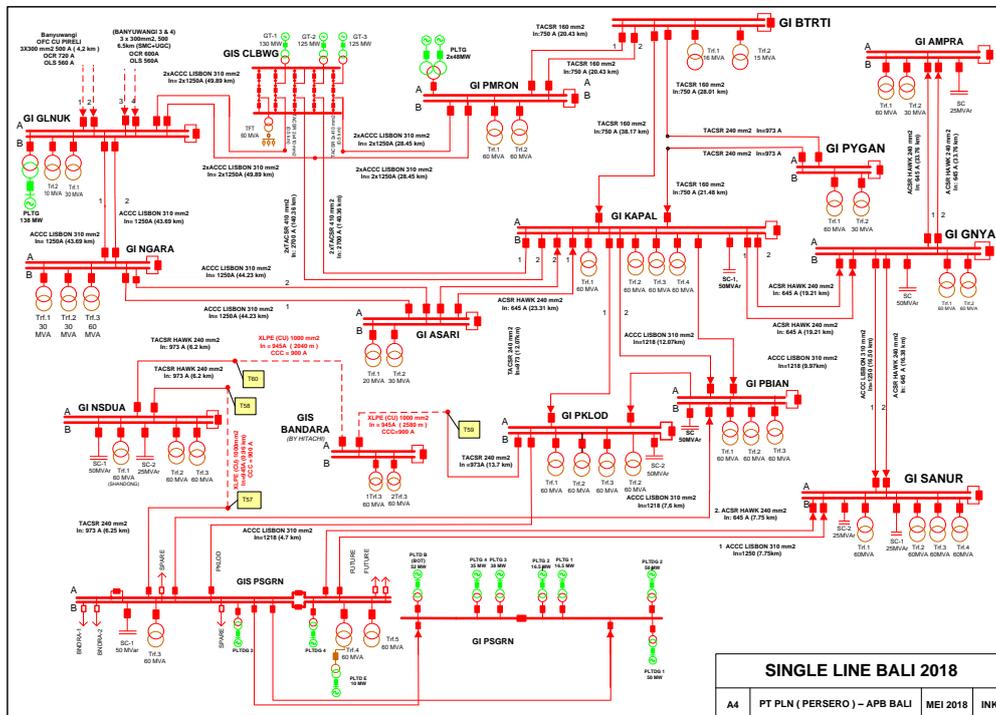
T_1	T_2	T_3	T_4	$T_6 = T_7$	T_8	T_9
0,16	0,02	0,16	0,02	0	0,3	0,15

3. Studi Kasus

Sistem tenaga listrik pada sistem 150 kV Bali memiliki pola pembebanan yang tinggi, hal ini dapat dilihat berdasarkan data sheet yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) P2B APB Bali. Mengingat kebutuhan beban listrik yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, industri dan ekonomi maka harus diimbangi dengan kontinuitas penyaluran listrik secara maksimal. Salah satu kendalanya adalah gangguan lepas generator akan berpengaruh pada stabilitas *transient* generator. Melihat kondisi ini generator harus dapat mencapai kondisi stabil setelah terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi pada sistem 150 kV Bali yaitu lepasnya generator GT-1 Celukan Bawang.

Dengan mengabaikan relay – relay pengaman pada saat terjadi gangguan, apabila generator tidak stabil setelah terjadinya gangguan maka yang terjadi yaitu pemadaman total, pemutusan beban, dan kerusakan peralatan sehingga untuk meningkatkan stabilitas transeint diperlukan PSS yang nantinya akan dipasang pada generator.

Dalam analisis *transient stability* ini. Pengujian dan penelitian dimulai dengan survey data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP2B APB Bali. Dengan data yang diperoleh maka dapatdilakukan simulasi sistem 150 kV Bali menggunakan software *ETAP Power Station. Power Station*. Simulasi yang dilakukan berupa *transient stability*.



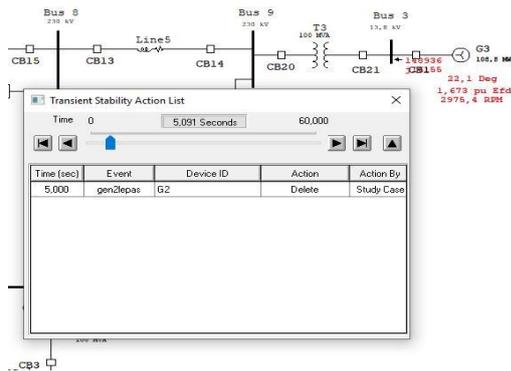
Gambar 3.1 Single Line Sistem 150 kV Bali

4. Simulasi dan Hasil

Penelitian ini menggunakan sistem IEEE 9-bus dan sistem 150 kV Bali, percobaan sistem IEEE 9-bus menggunakan PSS yang nantinya akan di aplikasikan pada sistem 150 kV Bali.

4.1. Transient Stability Analysis menggunakan Etap Power Station

Transient Stability Analysis untuk mengetahui perbandingan antara tanpa pemasangan PSS dan menggunakan PSS.

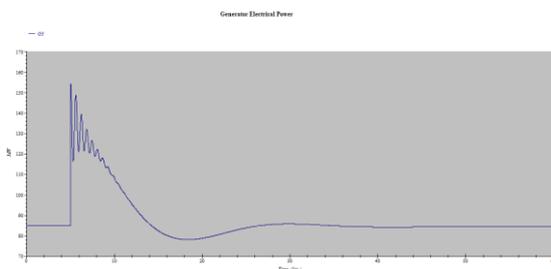


Gambar 4.1 Transient Stability Analysis menggunakan software Etap Power Station

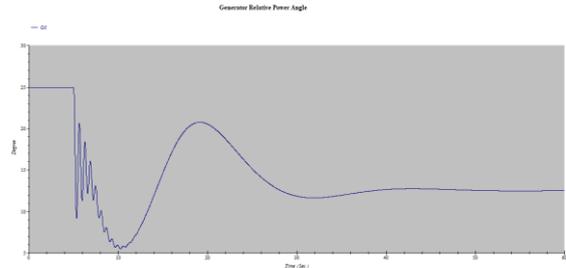
4.2. Grafik Hasil Simulasi Sistem IEEE 9-bus

Berikut adalah grafik hasil simulasi sistem pada pada saat terjadi gangguan lepas generator sebelum pemasangan PSS dan pada saat sistem mengalami gangguan lepas generator dengan pemasangan PSS. Hasil yang akan ditampilkan yaitu daya aktif dan sudut rotor.

1. Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi pada sistem saat mengalami gangguan lepas generator tanpa pemasangan PSS



Gambar 4.2 Grafik daya aktif setelah terjadi gangguan



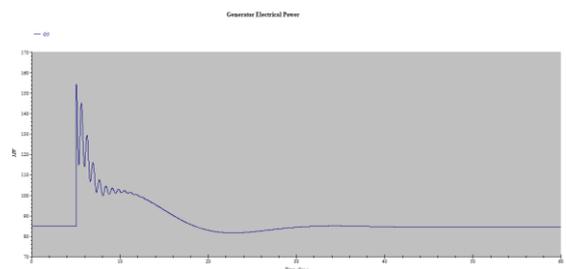
Gambar 4.3 Grafik sudut rotor setelah terjadi gangguan

Setelah terjadi gangguan pada $t = 5$ detik di Generator 2, Generator 3 dapat kembali operasi sinkron dengan waktu, nilai daya aktif dan sudut rotor seperti tabel 4.1 di bawah.

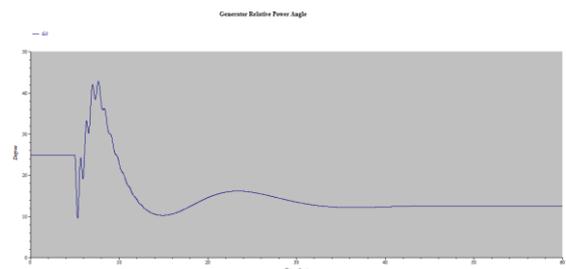
Tabel 4.1 Waktu peralihan, nilai daya aktif dan sudut rotor tanpa PSS

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	85	29,9
Sesudah Gangguan : Tanpa PSS	84,4	12,5
Waktu Peralihan (detik)	44	57,4

2. Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi pada sistem saat mengalami gangguan lepas generator dengan pemasangan PSS1A



Gambar 4.4 Grafik daya aktif setelah pemasangan PSS1A



Gambar 4.5 Grafik sudut rotor setelah pemasangan PSS1A

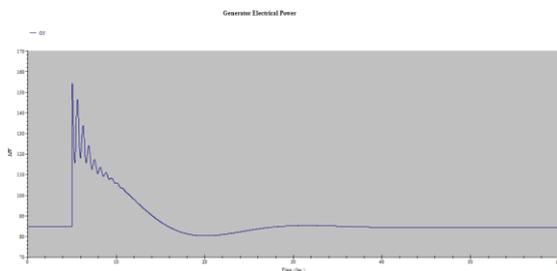
Setelah dipasang PSS1A pada Generator 3 dapat kembali operasi sinkron dengan waktu, nilai daya aktif dan sudut rotor seperti tabel 4.2 di bawah.

Tabel 4.2 Waktu peralihan, nilai daya aktif dan sudut rotor dengan PSS1A

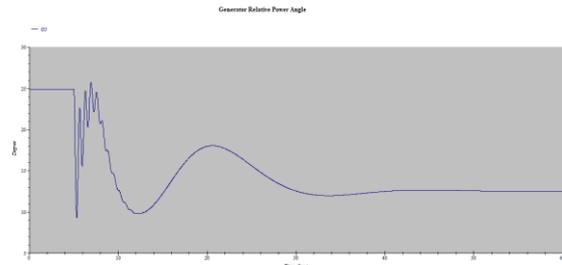
Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	85	24,9
Sesudah Gangguan : Dengan PSS1A	84,4	12,5
Waktu Peralihan (detik)	41,5	42,5

Dari hasil pengujian sistem diatas, maka dapat dibuktikan bahwa setelah pemasangan PSS1A dapat meningkatkan stabilitas transient, melihat waktu steady state pada daya aktif dari 44 detik menjadi 41,5 detik dan sudut rotor dari 57,4 detik menjadi 42,5 detik.

- Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi pada sistem saat mengalami gangguan lepas generator dengan pemasangan PSS2A



Gambar 4.6 Grafik daya aktif setelah pemasangan PSS2A



Gambar 4.7 Grafik sudut rotor setelah pemasangan PSS2A

Setelah dipasang PSS2A pada Generator 3 dapat kembali operasi sinkron dengan waktu, nilai daya aktif dan sudut rotor seperti tabel 4.3 di bawah.

Tabel 4.3 Waktu peralihan, nilai daya aktif dan sudut rotor dengan PSS2A

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	85	24,9
Sesudah Gangguan : Dengan PSS	84,4	12,5
Waktu Peralihan (detik)	38,6	50,7

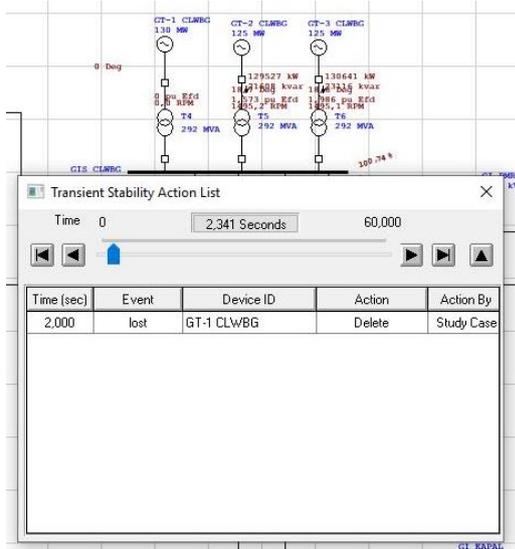
Dari hasil pengujian sistem diatas, maka dapat dibuktikan bahwa setelah pemasangan PSS2A dapat meningkatkan stabilitas transient, melihat waktu steady state pada daya aktif dari 44 detik menjadi 38,6 detik dan sudut rotor dari 57,4 detik menjadi 50,7 detik. Berikut ini perbandingan daya aktif dan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan PSS1A dan PSS2A pada sistem IEEE 9-bus.

Tabel 4.4 Perbandingan sebelum, setelah pemasangan PSS1A dan PSS2A dengan melihat *steady state* pada sistem uji IEEE 9-bus

No	ID	Kondisi Stabil	Kondisi Gangguan		
			Sebelum PSS	PSS1A	PSS2A
1	Daya Aktif	85 MW	44 <i>second</i>	41,5 <i>second</i>	38,6 <i>second</i>
2	Sudut Rotor	24,9 Degree	57,4 <i>second</i>	42,5 <i>second</i>	50,7 <i>second</i>

4.3. Transient Stability Analysis menggunakan Etap Power Station

Setelah menggambar SLD 150 kV Bali. Langkah selanjutnya melakukan simulasi *Transient Stability Analysis* untuk mengetahui perbandingan antara tanpa pemasangan PSS dan menggunakan PSS.

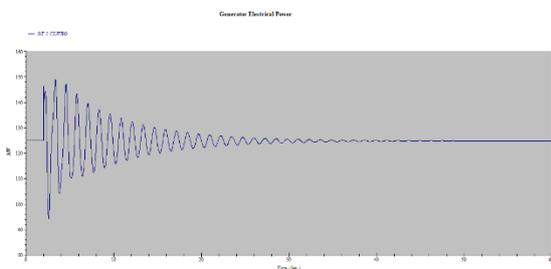


Gambar 4.8 Transient Stability Analysis menggunakan software Etap Power Station

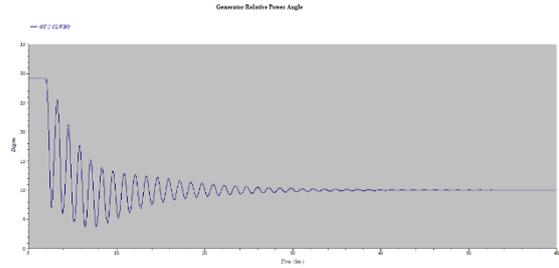
4.4. Grafik Hasil Simulasi Sistem 150 kV Bali

Berikut adalah grafik hasil simulasi sistem pada saat terjadi gangguan lepas generator sebelum pemasangan PSS dan pada saat sistem mengalami gangguan lepas generator dengan pemasangan PSS. Hasil yang akan ditampilkan yaitu daya aktif dan sudut rotor.

1. Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi pada sistem saat mengalami gangguan lepas generator tanpa pemasangan PSS



Gambar 4.9 Grafik daya aktif setelah terjadi gangguan



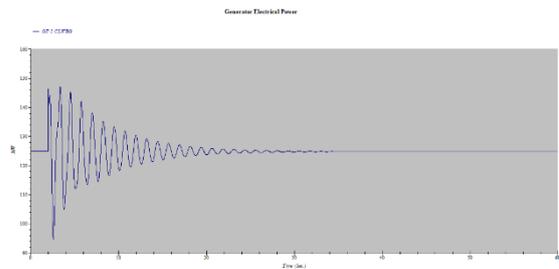
Gambar 4.10 Grafik sudut rotor setelah terjadi gangguan

Setelah terjadi gangguan pada $t = 2$ detik di Generator GT-1 CLWBG, Generator GT-2 CLWBG dapat kembali operasi sinkron dengan waktu, nilai daya aktif dan sudut rotor seperti tabel 4.5 di bawah.

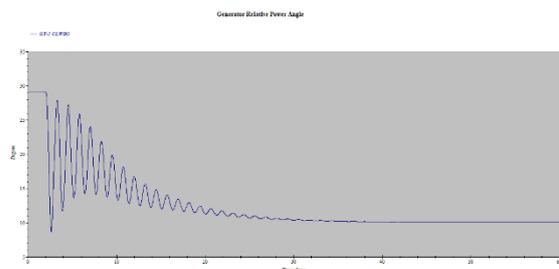
Tabel 4.5 Waktu peralihan, nilai daya aktif dan sudut rotor tanpa PSS

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	125	29,1
Sesudah Gangguan : Tanpa PSS	124,8	10
Waktu Peralihan (detik)	48,2	52,2

2. Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi pada sistem saat mengalami gangguan lepas generator dengan pemasangan PSS1A



Gambar 4.11 Grafik daya aktif setelah pemasangan PSS1A



Gambar 4.12 Grafik sudut rotor setelah pemasangan PSS1A

Setelah dipasang PSS1A pada Generator GT-2 CLWBG dapat kembali operasi sinkron dengan waktu, nilai daya aktif dan sudut rotor seperti tabel 4.6 di bawah.

Tabel 4.6 Waktu peralihan, nilai daya aktif dan sudut rotor dengan PSS1A

Kondisi	P (MW)	Sudut Rotor (degree)
Sebelum Gangguan	125	29,1
Sesudah Gangguan : Dengan PSS	124,8	10

Waktu Peralihan (detik)	34,1	42

Dari hasil pengujian sistem 150 kV Bali diatas, maka dapat dibuktikan bahwa setelah pemasangan PSS1A dapat meningkatkan stabilitas transient, melihat waktu *steady state* pada daya aktif dari 48,2 detik menjadi 34,1 detik dan sudut rotor dari 52,2 detik menjadi 42 detik. Berikut ini perbandingan daya aktif dan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan PSS pada sistem 150 kV Bali.

Tabel 4.8 Perbandingan sebelum dan setelah pemasangan PSS dengan melihat *steady state* pada sistem 150 kV Bali

No	ID	Kondisi Stabil	Kondisi Gangguan	
			Sebelum PSS	PSS1A
1	Daya Aktif	125 MW	48,2 <i>second</i>	34,1 <i>second</i>
2	Sudut Rotor	29,1 Degree	52,2 <i>second</i>	42 <i>second</i>

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Dalam pengujian ini, membandingkan model PSS1A dan PSS2A pada sistem IEEE 9-bus dengan sistem 150 kV Bali.
2. Dengan hasil pada sistem IEEE 9-bus PSS1A dan PSS2A dapat digunakan baik pada sistem tersebut, sedangkan pada sistem 150 kV Bali, PSS1A dapat meningkatkan kestabilan transien.
3. Berdasarkan hasil pengujian sistem IEEE 9-bus, apabila terjadi gangguan lepas generator daya aktif pada generator akan mengalami transien pada waktu ke 44 detik dan sudut rotor pada waktu ke 57,4 detik. Setelah pemasangan PSS1A mengalami penurunan waktu *steady state* pada daya aktif menjadi 41,5 detik dan sudut rotor menjadi 42,5 detik.
4. Sedangkan setelah pemasangan PSS2A untuk uji sistem IEEE 9-bus, generator 3 mengalami penurunan waktu *steady state* pada daya aktif menjadi 38,6 detik dan sudut rotor menjadi 50,7 detik.
5. Pada saat terjadi gangguan lepas generator GT-1 CLWBG pada $t = 2$ detik.

Setelah pemasangan PSS1A pada generator GT-2 CLWBG mengalami waktu peralihan daya aktif dari 48,2 detik menjadi 34,1 detik dan sudut rotor dari 52,2 detik menjadi 42 detik.

Daftar Pustaka

- [1] Stevenson, William D, Jr., "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1990.
- [2] Hakim L., Implementasi PSS1A IEEE Type 1 Dalam Peningkatan Stabilitas Transient Pada Sistem 150 kV Bali. Teknik Tenaga Listrik Institut Teknologi Nasional Malang, 2015
- [3] J.C.Das, "Transients in Electrical Systems" Analysis, Recognition, and Mitigation by The McGraw-Hill Companies, inc 2010
- [4] Kumar D. T, Penangsang O, Aryani K., Analisa Stabilitas Transien Pada Sistem Transmisi Sumatra Utara 150 kV – 275 kV Dengan Penambahan PLTA Batang Toru 4 X 125 MW, Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)

[5] Robandi, Imam. Desain Sistem Tenaga Modern (Optimasi, Logika Fuzzy, Algoritma Genetika). 2006. Andi Offset, Yogyakarta

[6] Robandi, Imam. *Modern Power System Control* : Desain, Analisis dan Solusi Kontrol Tenaga Listrik, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2009.