

## Analisis Pemasangan Kontrol PID-SMES Untuk System *Single Machine Infinite Bus* Pada Kondisi *Load Sheeding*

Muhammad Ruswandi Djalal<sup>1</sup>, Makmur Saini<sup>2</sup>, A.M.Shiddiq Yunus<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Makassar, 90245, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Makassar, 90245, Indonesia

E-mail: <sup>1</sup>wandi@poliupg.ac.id, <sup>2</sup>makmur.saini@poliupg.ac.id, <sup>3</sup>shiddiq@poliupg.ac.id

### Abstrak

Perubahan beban pada sistem tenaga listrik secara tiba-tiba menyebabkan terjadinya gangguan dinamik. Gangguan tersebut menyebabkan kestabilan generator terganggu, karena generator tidak merespon gangguan tersebut secara cepat. Hal ini menyebabkan terjadinya osilasi pada generator berupa osilasi frekuensi dan sudut rotor. Pada penelitian ini digunakan sebuah kontroler yang berguna untuk mengatur fluktuasi daya aktif di bus generator, yaitu dengan menggunakan Superconducting magnetic energy storage (SMES). SMES merupakan peralatan yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet pada kumparan superkonduktor. Sebuah kontroler PID juga dipasang di SMES untuk mengatur besarnya daya input atau output dari SMES berdasarkan perubahan kecepatan generator. Dari hasil analisa didapatkan respon frekuensi dan sudut rotor sistem SMIB yang optimal, ditunjukkan dengan respon overshoot sistem yang minimum. Kontroler mampu memberikan kestabilan sehingga osilasi overshoot dapat diredam, serta kinerja settling time yang semakin cepat untuk sistem menuju ke kondisi steady state. Untuk menguji kestabilan sistem SMIB digunakan studi kasus pelepasan beban.

Kata Kunci: *PID, SMIB, Settling Time, SMES, Overshoot*

### Abstract

*Changes in the load on the electric power system suddenly cause dynamic disturbances. The disturbance causes the stability of the generator to be disturbed, because the generator does not respond to the disturbance quickly. This causes oscillations in the generator in the form of oscillations of frequency and rotor angle. In this study, a controller is used that is useful for regulating active power fluctuations in the generator bus, namely by using Superconducting magnetic energy storage (SMES). SMES is a device that can store energy in the form of a magnetic field in a superconducting coil. A PID controller is also installed in the SMES to adjust the amount of input or output power from the SMES based on changes in generator speed. From the analysis results, the optimal frequency response and rotor angle of the SMIB system are shown, indicated by the minimum system overshoot response. The controller is able to provide stability so that overshoot oscillations can be suppressed, as well as faster settling time performance for the system to reach steady state conditions. To test the stability of the SMIB system, a load shedding case study was used.*

*Keywords: PID, SMIB, Settling Time, SMES, Overshoot.*

## 1. Pendahuluan

Dalam studi kestabilan dinamik, diasumsikan bahwa perubahan torsi akibat respon governor diabaikan karena respon governor sangat lambat dibandingkan dengan respon sistem eksitasi. Penambahan rangkaian eksitasi penguat kurang mampu menstabilkan sistem terutama untuk osilasi frekuensi rendah. *Low Frequency Oscillation* antara 0.2 - 2.0 Hz [1].

Frekuensi yang lebih rendah dapat diperluas menjadi osilasi antar area sehingga diperlukan kontrol tambahan seperti kontrol *Power Sistem Stabilizer* (PSS). PSS merupakan peralatan kontrol tambahan pada eksitasi generator yang digunakan untuk memberi redaman tambahan pada eksitasi generator [2, 3]. Selain itu juga berfungsi untuk mengurangi osilasi lokal atau global pada generator, sebagai respon terhadap penyimpangan yang terjadi pada nilai variabel yang telah ditetapkan [4, 5].

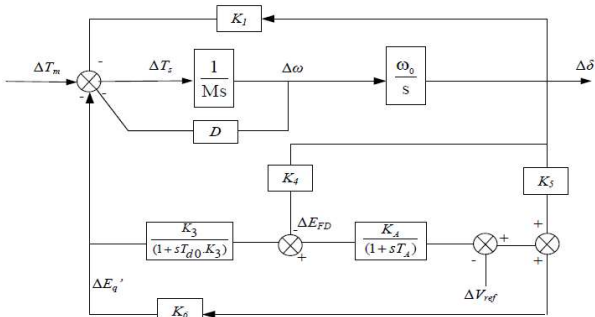
Superconducting magnetic energy storage (SMES) merupakan peralatan yang dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnet pada kumparan superkonduktor. Dengan kemampuan SMES dalam menyimpan energi listrik, SMES bisa digunakan dalam meredam osilasi daya, meningkatkan kapasitas sistem transmisi, mengurangi transien *overvoltage*, meningkatkan *spinning reserve* dan regulasi sistem tegangan. Sebuah kontroler PID juga dipasang di SMES untuk mengatur besarnya daya input atau output dari SMES berdasarkan perubahan kecepatan generator. Untuk mendapatkan peredaman yang baik diperlukan parameter SMES yang optimal sehingga dapat digunakan metode optimisasi untuk menala PID SMES.

Studi kasus yang digunakan adalah sistem *Single Machine Infinite Bus* (SMIB). SMIB merupakan subsistem tenaga listrik yang terdiri dari satu atau lebih generator yang terhubung ke bus yang tak terhingga [6, 7]. Kemudian Menganalisa hasil simulasi dengan cara membandingkan hasil simulasi sistem tanpa control, system dengan kontrol PID, system dengan SMES, dan system dengan PID-SMES.

## 2. Metode Penelitian

### a. Pemodelan Linier Mesin Sinkron

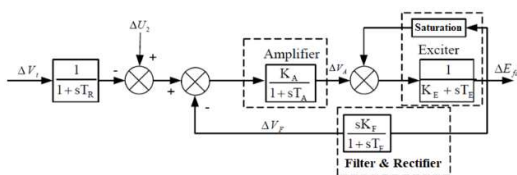
Pemodelan linier mesin sinkron ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Linier Mesin Sinkron

### b. Pemodelan Eksitasi

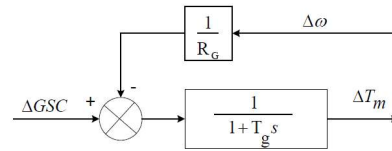
Peralatan eksitasi adalah salah satu bagian sistem yang di mana dengan eksiter ini dapat mengatur variabel output generator, seperti tegangan, arus dan faktor daya [2]. Model eksitasi mengacu pemodelan IEEE ditunjukkan pada gambar 2 [8].



Gambar 2. Block Diagram Eksitasi

### c. Pemodelan Governor

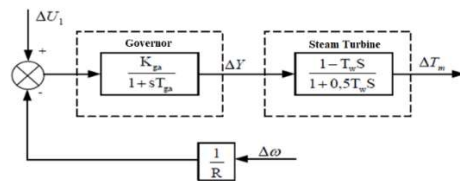
Governor adalah sebuah kontroler yang berfungsi untuk mengatur nilai torsi mekanik  $T_m$  yang menjadi input dari generator [8]. Pemodelan ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Governor

### d. Pemodelan Turbin

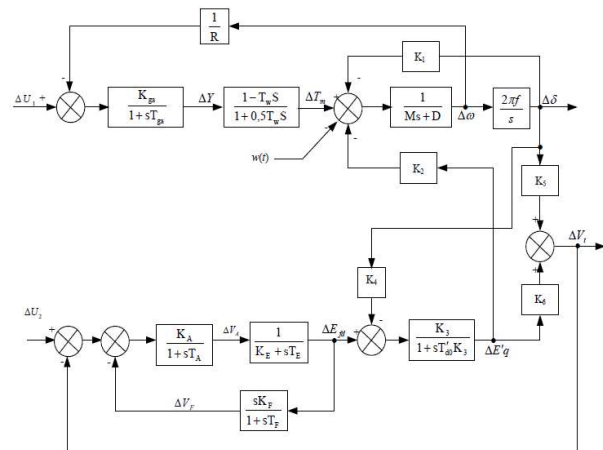
Pemodelan turbin digunakan adalah model turbin pembangkit listrik tenaga uap, dari model IEEE [9]. Pemodelan ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan Turbin

### e. Pemodelan Single Machine Infinite Bus (SMIB)

Pemodelan keseluruhan sistem ditunjukkan pada model Single Machine Infinite Bus [10] gambar 5.

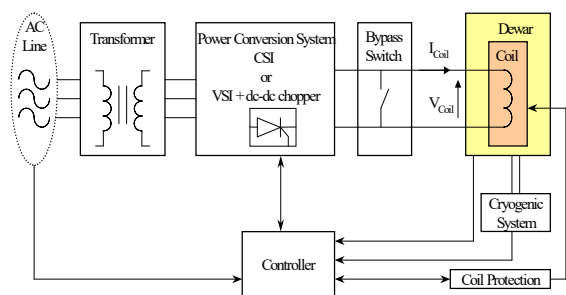


Gambar 5. Pemodelan SMIB

### f. Pemodelan Superconducting Magnetic Energy Storage [11]

SMES merupakan sebuah peralatan untuk menyimpan dan melepaskan daya dalam jumlah yang besar secara simultan. SMES menyimpan energi dalam medan magnet yang dibuat oleh arus DC pada kumparan superkonduktor yang didinginkan dengan sistem *cryogenic*. Sebuah SMES yang terhubung pada sistem

tenaga listrik, terdiri atas kumparan superkonduktor, sistem pendingin *cyrogenic*, dan *power conditioning system* (PCS) dengan kontrol dan fungsi proteksi. PCS juga disebut sebagai penghubung elektronika daya dari kumparan SMES. Gambar 6 menunjukkan diagram skematik dari SMES [12, 13].



Gambar 6. Diagram skematik SMES

Pada prinsipnya, superkonduktor memiliki rugi-rugi hampir mendekati nol pada suhu dingin. Pendingin yang digunakan adalah cairan Helium yang mampu mendinginkan sampai suhu 4 K. PCS digunakan untuk mentransfer energi dari kumparan SMES menuju sistem. Sebuah PCS menggunakan *dc link capacitor* untuk menghubungkan sumber tegangan dari kumparan SMES menuju sistem.

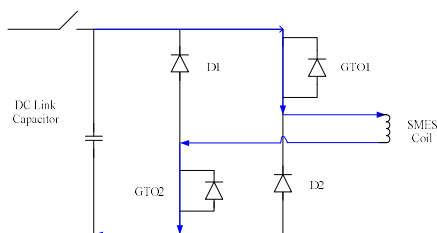
Prinsip kerja SMES dibagi menjadi tiga, yaitu mode *charging*, mode *standby* dan mode *discharging*. Pengaturan kinerja SMES dilakukan dengan mengatur *duty cycle* (D) dari konverter yang dalam hal ini menggunakan *Gate Turn Off* (GTO) thyristor.

### 1. Mode Charging

Pada mode charging, SMES unit akan diisi dengan energi sampai batas yang telah ditentukan. Pengisian energi ini dilakukan dengan memasang GTO2 dalam kondisi ON. GTO1 dapat di switch ON atau OFF dalam setiap periode, kumparan SMES akan charge pada saat GTO1 ON. Hubungan antara tegangan pada kumparan SMES dengan tegangan pada DC link kapasitor adalah:

$$V_{SM} = D * V_{DC} \tag{1}$$

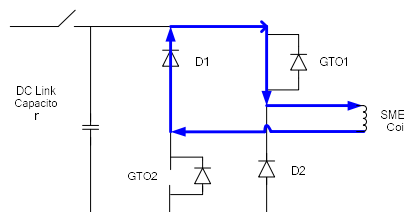
Pada Gambar 7, menunjukkan GTO1 dan GTO2 dalam kondisi ON.



Gambar 7. Mode Charging

### 2. Mode Freewheeling

Mode kedua dari operasi SMES disebut dengan mode *freewheeling*. Pada mode ini, arus bersirkulasi pada loop tertutup yang disebut juga mode *standby*. Ketika kumparan SMES pada mode *freewheel*, salah satu atau dua GTO pada keadaan OFF. Pada Gambar 8, menunjukkan GTO1 ON dan GTO2 OFF.

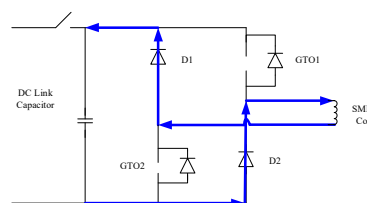


Gambar 8. Mode Freewheeling

### 3. Mode Discharge

Mode terakhir dari operasi SMES adalah mode discharge. Pada mode discharge arus yang berada pada kumparan SMES discharge menuju dc link kapasitor. GTO2 selalu dalam kondisi OFF dan GTO1 dapat berubah-ubah seperti yang terdapat pada Gambar 9. Tegangan pada kumparan SMES adalah sebagai berikut.

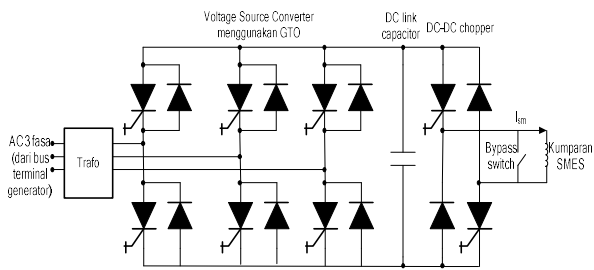
$$-V_{SM} = (1 - D) * V_{DC} \tag{2}$$



Gambar 9. Mode Discharging

Berbagai tipe kontroler yang digunakan untuk SMES sudah banyak dikembangkan para peneliti. Pada paper ini SMES menggunakan kontroler PID untuk membantu kinerja SMES dalam meredam osilasi.

SMES pada sistem tenaga listrik digunakan untuk mengontrol secara efektif keseimbangan daya pada generator sinkron selama periode dinamis, SMES dipasang pada bus terminal generator pada model sistem tenaga listrik. Gambar 9 menunjukkan konfigurasi dasar SMES yang terdiri dari trafo, *voltage source converter* (VSC) yang menggunakan GTO thyristor, DC-DC chopper yang menggunakan GTO, dan sebuah kumparan superkonduktor. Konverter dan DC-DC chopper dihubungkan oleh kapasitor DC link.



Gambar 9. Konfigurasi SMES

Untuk mengontrol secara efektif keseimbangan daya pada generator, SMES ditempatkan pada terminal bus generator. Hubungan antara arus dan tegangan pada SMES adalah,

$$I_{SM} = \frac{1}{L_{SM}} \int_{t_0}^t V_{SM} d\tau + I_{SM0} \quad (3)$$

$I_{SM0}$  adalah arus awal induktor. Daya yang disimpan atau dikirimkan oleh SMES adalah,

$$P_{SM} = V_{SM} I_{SM} \quad (4)$$

Jika  $V_{SM}$  positif maka daya akan ditransfer dari sistem ke SMES. Sedangkan jika  $V_{SM}$  negatif maka daya akan dilepaskan dari SMES ke sistem. Energi yang disimpan pada kumparan SMES sebesar,

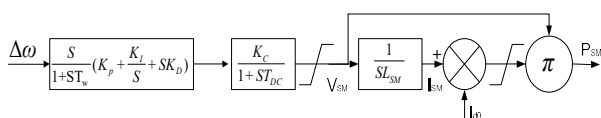
$$W_{SM} = \frac{1}{2} L_{SM} I_{SM}^2 \quad (5)$$

$L_{SM}$  adalah induktansi dari SMES. Tegangan pada kumparan SMES  $V_{SM}$  dikontrol secara kontinyu tergantung pada perubahan kecepatan rotor generator yaitu,

$$\Delta V_{SM} = \frac{K_c}{1 + sT_{dc}} \Delta\omega \quad (6)$$

$K_c$  adalah gain dari kontrol loop dan  $T_{dc}$  adalah konstanta time delay dari peralatan kontrol. Karena keterbatasan implementasi hardware maka arus kumparan memiliki batas maksimum dan minimum. Selama beroperasi, batas atas dari arus kumparan diatur  $1,38I_{SM0}$ , dan batas bawah  $0,31I_{SM0}$ . Batas dari tegangan terminal adalah  $\pm 0,2352$  p.u.

Dari persamaan di atas dapat dibuat blok diagram kontroler PID SMES yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Block diagram PID SMES

### 3. Hasil dan Pembahasan

Analisa sistem dilakukan, yaitu analisa frekuensi sistem dan sudut rotor SMIB. Analisa dilakukan dengan beberapa membandingkan sistem tanpa control dengan system yang ditambahkan control PID dan SMES. Untuk menguji kestabilan sistem, sistem SMIB diberi gangguan berupa perubahan beban.

#### a. Respon Frekuensi SMIB

Analisa pertama dimulai dengan meninjau respon kestabilan frekuensi sistem SMIB. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 11. Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi respon frekuensi SMIB. Dari hasil simulasi sistem SMIB diberi gangguan perubahan beban sebesar 0,01 pu pada detik ke 1, kemudian terjadi pelepasan beban pada detik ke 20 sebesar 0.005 pu. Pada perubahan beban pertama, terjadi penambahan beban, yaitu kondisi di mana daya elektrik tidak sama dengan daya mekanis ( $P_m$ ) pada kondisi ini  $P_e > P_m$ , sehingga antar torsi elektrik dan torsi mekanis tidak seimbang. Kondisi ini menyebabkan frekuensi elektrik ( $\Delta f$ ) juga berubah. Selama ketidakstabilan ini kecepatan putaran rotor ( $\Delta\omega$ ) menjadi tidak sinkron. Pada kondisi ini grafik respon frekuensi kebawah sebelum kembali ke steady state. Fungsi dari sistem kontrol kemudian diperlukan untuk mengembalikan ke kondisi steady state. Karakteristik respon *overshoot* pada kondisi ini ditunjukkan pada tabel 1.

Table 1. Deviasi Frekuensi

Deviasi	Overshoot (pu)
Uncontrol	0.0001874 & -0.0002408
PID	0.000159 & -0.0002297
SMES	9.511e-06 & -0.0001445
PID-SMES	2.096e-06 & -8.668e-05

Tabel 1 menunjukkan karakteristik *overshoot* sistem ketika terjadi perubahan beban pada detik ke-1 berupa penambahan beban. Sistem SMIB tanpa kontrol didapatkan *overshoot* sebesar 0.0001874 & -0.0002408 pu dengan *settling time* 15s. Sistem SMIB dengan kontrol PID didapatkan *overshoot* sebesar 0.000159 & -0.0002297pu dengan *settling time* 12s. Sistem SMIB dengan kontrol SMES didapatkan *overshoot* sebesar 9.511e-06 & -0.0001445pu dengan *settling time* 4.13s. Sistem SMIB dengan kontrol PID-SMES didapatkan *overshoot* sebesar 2.096e-06 & -8.668e-05pu dengan *settling time* 3.23s.

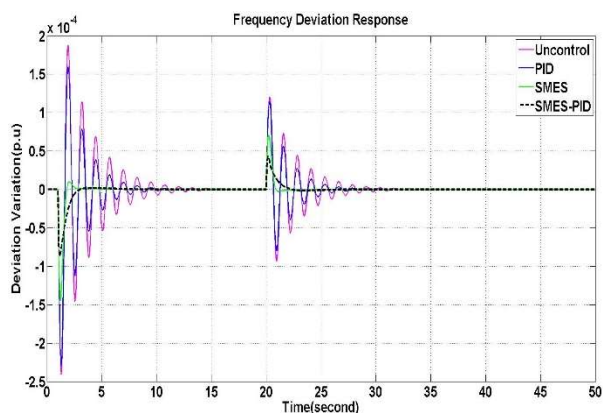
Kemudian pada perubahan beban berikutnya berupa pengurangan beban yang menyebabkan daya elektrik ( $P_e$ ) berubah. Pada kondisi ini daya elektrik tidak sama dengan daya mekanis ( $P_m$ )  $P_e < P_m$ , sehingga antar torsi elektrik dan torsi mekanis tidak seimbang. Kondisi ini menyebabkan frekuensi elektrik ( $\Delta f$ ) juga berubah. Selama ketidakstabilan ini kecepatan putaran rotor ( $\Delta\omega$ )

menjadi tidak sinkron. Pada kondisi ini grafik respon frekuensi ke atas sebelum kembali ke steady state. Fungsi dari sistem kontrol kemudian diperlukan untuk mengembalikan ke kondisi steady state. Karakteristik respon overshoot pada kondisi ini ditunjukkan pada tabel 2. Gambar 11 merupakan grafik respon frekuensi listrik sistem ( $\Delta f$ ).

Table 2. Deviasi Frekuensi

Deviasi	Overshoot (pu)
Uncontrol	0.0001203 & -9.351e-05
PID	0.0001131 & -7.912e-05
SMES	6.973e-05 & -2.478e-06
PID-SMES	4.26e-05 & 0

Tabel 2 menunjukkan karakteristik *overshoot* sistem ketika terjadi perubahan beban pada detik ke-20. Sistem SMIB tanpa kontrol didapatkan *overshoot* sebesar 0.0001203 & -9.351e-05pu dengan *settling time* 30.78s. Sistem SMIB dengan kontrol PID didapatkan *overshoot* sebesar 0.0001131 & -7.912e-05pu dengan *settling time* 27.86s. Sistem SMIB dengan kontrol SMES didapatkan *overshoot* sebesar 6.973e-05 & -2.478e-06pu dengan *settling time* 25.97s. Sistem SMIB dengan kontrol PID-SMES didapatkan *overshoot* sebesar 4.26e-05 & 0pu dengan *settling time* 24.15s.



Gambar 11. Respon Frekuensi SMIB

**b. Respon Sudut Rotor**

Analisa berikutnya, melihat kinerja respon sudut rotor SMIB dengan pemasangan kontrol PSS. Pada penelitian ini pengujian pada SMIB diberikan berupa perubahan sebesar 0.05 pu pada 1s. Perubahan yang dimaksudkan yaitu terjadi kenaikan dan penambahan beban. Kenaikan beban tersebut mengakibatkan perubahan daya elektrik juga akan bertambah. Apabila daya mekanik generator lebih besar dari daya elektrik maka dapat mengakibatkan percepatan pada rotor, percepatan rotor ini juga akan berpengaruh terhadap perubahan sudut rotor, sehingga respon sudut rotor akan turun atau negatif dari kondisi sebelum gangguan, ditunjukkan pada gambar 12. Respon yang diamati dari

perubahan sudut rotor yaitu nilai overshoot dan settling time, seperti ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Deviasi Sudut Rotor

Deviasi	Overshoot (pu)
Uncontrol	-0.008497 & -0.0367
PID	-0.01107 & -0.02774
SMES	-0.02386 & -0.02104
PID-SMES	-0.02332 & -0.02098

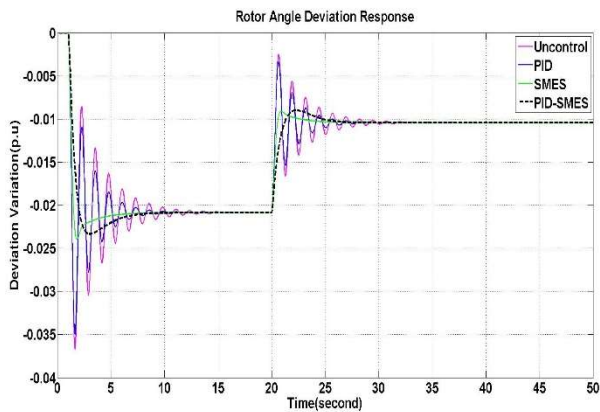
Tabel 4 menunjukkan karakteristik *overshoot* sudut rotor sistem ketika terjadi perubahan beban pada detik ke-1 berupa penambahan beban. Sistem SMIB tanpa kontrol didapatkan *overshoot* sebesar -0.008497 & -0.0367pu dengan *settling time* 14s. Sistem SMIB dengan kontrol PID didapatkan *overshoot* sebesar -0.01107 & -0.02774pu dengan *settling time* 9s. Sistem SMIB dengan kontrol SMES didapatkan *overshoot* sebesar -0.02386 & -0.02104pu dengan *settling time* 8s. Sistem SMIB dengan kontrol PID-SMES didapatkan *overshoot* sebesar -0.02332 & -0.02098pu dengan *settling time* 7.8s.

Kemudian pada perubahan beban berikutnya berupa pengurangan beban pada detik ke-20. Pada kondisi ini daya mekanik generator lebih kecil dari daya elektrik, sehingga mengakibatkan perlambatan pada rotor, perlambatan rotor ini juga akan berpengaruh terhadap perubahan sudut rotor, sehingga respon sudut rotor akan naik atau positif dari kondisi sebelum gangguan. Hal ini terjadi karena kopel magnetis akan mendorong medan stator dengan medan rotor, Sehingga sudut rotor dari generator akan naik, seperti ditunjukkan pada gambar 12. Karakteristik *overshoot* sistem pada kondisi ini ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan karakteristik *overshoot* sudut rotor sistem ketika terjadi perubahan beban pada detik ke-20. Sistem SMIB tanpa kontrol didapatkan *overshoot* sebesar -0.002651 & -0.0166pu dengan *settling time* pada detik 31.74s. Sistem SMIB dengan kontrol PID didapatkan *overshoot* sebesar -0.00332 & -0.01519pu dengan *settling time* 27.76s. Sistem SMIB dengan kontrol SMES didapatkan *overshoot* sebesar -0.009114 & -0.01019pu dengan *settling time* 24.54s. Sistem SMIB dengan kontrol PID-SMES didapatkan *overshoot* sebesar -0.00903 & -0.01039pu dengan *settling time* 26.43s.

Tabel 4. Deviasi Sudut Rotor

Deviasi	Overshoot (pu)
Uncontrol	-0.002651 & -0.0166
PID	-0.00332 & -0.01519
SMES	-0.009114 & -0.01019
PID-SMES	-0.00903 & -0.01039



Gambar 12. Respon Sudut Rotor SMIB

#### 4. Kesimpulan

Dengan pemasangan control PID dan Superconducting Magnetic Energy Storage pada system SMIB didapatkan respon frekuensi dan sudut rotor SMIB yang optimal dibanding dengan sistem tanpa control dan control PID, hal ini ditunjukkan dengan respon sistem yang mengalami perbaikan, di mana kontroler mampu memberikan kestabilan sehingga osilasi *overshoot* diredam, serta kinerja *settling time* yang semakin cepat untuk sistem menuju ke kondisi *steady state*.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah mendukung Penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

[1] P. Kundur, *Power system stability and control*.  
 [2] M. Y. Yunus, M. R. Djalal, and Marhatang, "Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulselrabar System, Indonesia," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 12, no. 3, pp. 250-259, 2017.  
 [3] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Setiadi, and A. U. Krismanto, "Small-Signal-Stability Enhancement using a Power-System Stabilizer based on the

Cuckoo-Search Algorithm against Contingency N-1 in the Sulselrabar 150-kV System," *Makara Journal of Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 1-8, 2018.  
 [4] M. R. Djalal, A. Imran, and I. Robandi, "Optimal placement and tuning power system stabilizer using Participation Factor and Imperialist Competitive Algorithm in 150 kV South of Sulawesi system," in *Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), 2015 International Seminar on*, 2015, pp. 147-152: IEEE.  
 [5] M. R. Djalal, H. Setiadi, D. Lastomo, and M. Y. Yunus, "Modal Analysis and Stability Enhancement of 150 kV Sulselrabar Electrical System using PSS and RFB based on Cuckoo Search Algorithm," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 4, pp. 800-812, 2017.  
 [6] H. D. Laksono and I. R. Putra, "Analisa Performansi Single Machine Infinite Bus (SMIB) dengan Metoda Linear Quadratic Regulator (LQR)(Studi Kasus: PLTA Singkarak)," *Teknika*, vol. 20, no. 2, 2013.  
 [7] Y. AM Shiddiq, R. D. Muhammad, and S. A. Yusri, "SMIB stability enhancement using capacitive energy storage and PID based on ant colony optimization," 2020.  
 [8] I. Robandi, "Modern Power System Control," *Penerbit ANDI, Yogyakarta*, 2009.  
 [9] K. R. Padiyar, *Power System Dynamics*. John Wiley & sons Ltd, Interlaine Publishing Ltd, 1996.  
 [10] Suharto, "Penalaan Power System Stabilizer (Pss) Untuk Perbaikan Stabilitas Dinamik Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Bat Algorithm (Ba)," Undergraduate, ITS Surabaya, 2015.  
 [11] M. A. Fassamsi, "Optimal Tuning Pid Superconducting Magnetic Energy Storage (Smes) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (Ica) Untuk Meredam Osilasi Daya Pada Sistem Kelistrikan Jawa Bali 500 Kv," 2011.  
 [12] G. V. S. Vulusala and M. Sreedhar, "Application of superconducting magnetic energy storage in electrical power and energy systems: A review," *International Journal of Energy Research*, vol. 42, 05/16 2017.  
 [13] A. M. S. Yunus, M. Saini, M. R. Djalal, A. Abu-Siada, and M. A. S. Masoum, "Impact of Superconducting Magnetic Energy Storage Unit on Doubly Fed Induction Generator Performance During Various Levels of Grid Faults," 2019, Doubly Fed Induction Generator; Grid Codes; Superconducting Magnetic Energy Storage Unit; Fault Ride Through vol. 14, no. 4, 2019.