

Perbaikan Kestabilan Dinamik Pada Sistem Tenaga Menggunakan Kontrol Gain Avr Pss

Wahyuni Martiningsih¹, Inawati¹, Heri Haryanto¹

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman KM.3 Cilegon-Banten Telp. (0254) 395502

email : yuni_elektro@yahoo.com

Abstrak– Kestabilan sistem tenaga listrik adalah hal yang sangat penting, karena kestabilan sistem mempengaruhi mutu dan keandalan pasokan energi listrik. Banyak hal yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem salah satunya beban dinamik yang mempengaruhi kestabilan dinamik, kestabilan dinamik dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode transien) hingga sistem kembali mencapai kondisi *steady state*, suatu sistem tenaga listrik dikatakan dalam kondisi stabil bila seluruh variabel keadaannya stabil, baik tegangan bus, sudut rotor serta kecepatan putar rotor generator. Pada penelitian ini penulis menggunakan kontrol *gain automatic voltage regulator* (AVR) dan *power system stabilizer* (PSS) untuk mengendalikan kestabilan dinamik sistem, diharapkan setelah pemasangan perangkat kontrol tambahan tersebut kestabilan dinamik pada sistem tenaga dapat diperbaiki sehingga sistem tetap stabil meskipun terjadi gangguan atau perubahan beban. Selanjutnya dilakukan simulasi sistem tenaga listrik dengan menggunakan program MATLAB 2008a, yang membuktikan bahwa pemasangan *power system stabilizer* dapat meredam osilasi, dalam hal ini PSS bekerja sebagai pengendali daya listrik atau daya reaktifnya terlihat dari *output* tegangan yang hanya memiliki *overshoot* 1,0169 sebelum terjadi perubahan beban dan setelah diberi perubahan beban dengan input step 25 *overshoot* meningkat hanya 1,0215 untuk *output* kecepatan dan sudut rotor generator kurang terlalu berpengaruh.

Kata kunci : Kestabilan sistem, kestabilan dinamik, *automatic voltage regulator*, *power system stabilizer*

Abstract –*The stability of the electric power system is very important, because the stability of the system affects the quality and reliability of electrical energy supply. Many things can affect the stability of the system, one of which is a dynamic load that affects dynamic stability, dynamic stability can be defined as the system's ability to remain in synchronous conditions after the first swing (transient period) until the system reaches steady state condition, a power system is said to be in stable when all variables are stable, both bus voltage, rotor angle and generator rotor rotational speed. In this study the authors used the automatic voltage regulator (AVR) and power system stabilizer (PSS) controls to control the system's dynamic stability, hoping that after installation of these additional control devices the dynamic stability of the power system could be improved so that the system remained stable despite disturbances or load changes. Then a power system simulation was carried out using the MATLAB 2008a program, which proved that the installation of a power system stabilizer can reduce oscillation, in this case PSS works as an electric power controller or reactive power can be seen from the output voltage which only has overshoot 1.0169 before a load change and after being given a load change with the input step 25 overshoot increasing only 1.0215 for output the speed and angle of the generator rotor is less influential.*

Keywords : *System stability, dynamic stability, automatic voltage regulator, power system stabilizer*

1. PENDAHULUAN

Pada perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik, kestabilan sistem adalah hal yang sangat penting. Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan sifat sistem yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem banyak hal yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem salah satunya beban dinamik yang mempengaruhi kestabilan dinamik, kestabilan dinamik dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron setelah ayunan pertama (periode transien) hingga sistem kembali mencapai kondisi *steady state*.

Bila sistem tenaga listrik mengalami kenaikan atau penurunan beban maka akan terjadi perbedaan antara tegangan *input* mekanis dan tegangan *output*

listrik dari generator sinkron dan ini dapat mempengaruhi kualitas dari tegangan listrik serta dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Kecepatan pembangkit memberi reaksi terhadap perubahan yang terjadi dalam sistem menjadi salah satu faktor penentu kestabilan sistem. Kestabilan dinamik dalam sistem daya listrik ditentukan oleh kemampuan berbagai komponen pembangkit dalam transfer respon terhadap perubahan beban yang terjadi. Perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspon dengan baik oleh generator sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respon yang kurang baik juga dapat menimbulkan osilasi frekuensi dalam periode yang lama. Hal itu akan mengakibatkan pengurangan kekuatan transfer daya yang dapat diatasi

menggunakan peralatan tambahan yang disebut *power system stabilizer* [1].

Pada penelitian ini penulis menggunakan kontrol *gain automatic voltage regulator* (AVR) dan *power system stabilizer* (PSS), untuk memperbaiki kestabilan dinamik yang dipasangkan pada sistem eksitasi (kontrol tegangan) dan governor (kontrol kecepatan), PSS dengan *input* kecepatan putaran rotor $\Delta\omega$ yang masuk ke sistem eksitasi dengan keluaran ΔV_s sehingga dapat meredam terjadinya osilasi generator dan AVR sebagai pengendali tegangan dengan mengatur arus penguatan pada sistem eksitasi, menjaga tegangan agar tetap konstan. Dengan kata lain, generator akan mengeluarkan tegangan yang selalu stabil dan tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah. Sehingga sistem tenaga listrik dapat bekerja secara optimal dan dapat menghasilkan kualitas listrik yang baik seperti sebelum terjadi gangguan.

1.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus dapat memenuhi 3 persyaratan utama dalam pengoperasiannya, yaitu: *reliability*, *quality*, dan *stability*. *Reliability* adalah kemampuan sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus. *Quality* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi. *Stability* menurut pengertiannya adalah kemampuan alat untuk kembali kepada kondisi normal apabila terjadi gangguan. Suatu sistem dikatakan memiliki stabilitas yang baik jika terkena gangguan sistem akan dapat kembali ke keadaan titik seimbang dalam kondisi tertentu, bila stabilitas dari sistem tidak baik maka setelah terjadi gangguan sistem tersebut tidak dapat kembali ke titik normalnya. Masalah kestabilan diklasifikasikan menjadi tiga tipe bergantung pada sifat alami dan *magnitude* gangguan, yaitu [12]:

1. Stabilitas tunak (*steady state stability*).
2. Stabilitas dinamik (*dynamic stability*).
3. Stabilitas peralihan (*transient stability*)

1.2 Persamaan Ayun

Generator terdiri dari bagian yang berputar yang disebut rotor dan bagian yang diam disebut stator. Kecepatan putar dari rotornya sama dengan kecepatan putar dari statornya, kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup dari suatu penghantar, bila diberi tegangan arus searah akan menimbulkan fluks magnet. Rotor tersebut diputar dengan suatu penggerak mula atau *prime mover* sehingga fluks tersebut memotong konduktor-konduktor yang ada di stator yang selanjutnya pada kumparan stator akan terimbas tegangan. Sebuah generator digerakkan oleh penggerak mula (turbin uap, turbin air dan lain sebagainya) menggambarkan perputaran dengan dua torsi berputar yang berbeda. T_m torsi mekanik, berperan untuk menambah kecepatan ketika T_e torsi elektrik, melakukan perlambatan.

Ketika T_m dan T_e mempunyai nilai yang sama kecepatan putaran ω akan konstan. Pergerakan T_m

disebabkan oleh penggerak mula, sedangkan T_e disebabkan oleh perubahan beban. Ketika beban listrik bertambah maka $T_e > T_m$ seluruh sistem yang berputar akan melambat. Jika dibiarkan melambat terlalu lama maka akan menimbulkan beberapa kerusakan oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan T_m sehingga tercapai kembali titik keseimbangan antara T_e dan T_m . Hal ini akan mengembalikan putaran ke nilai yang dapat diterima. Untuk analisa kestabilan pada penelitian ini, hanya akan digunakan sebuah generator atau yang lebih dikenal mesin tunggal.

Untuk pengembangan generator digunakan persamaan diferensial dari persamaan gerak rotor melalui persamaan ayun. Perputaran gerak rotor sinkron ditampilkan oleh persamaan diferensial berikut[2]:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (1)$$

Dengan:

J = Momen inersia.

θ_m = Sudut rotor dengan sumbu tetap.

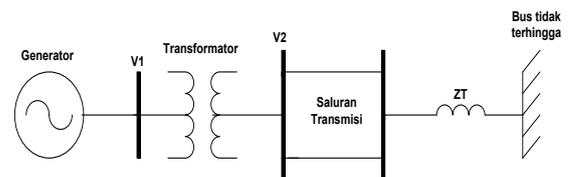
T_m = torsi mekanik.

T_e = torsi elektrik.

1.3 Model SMIB

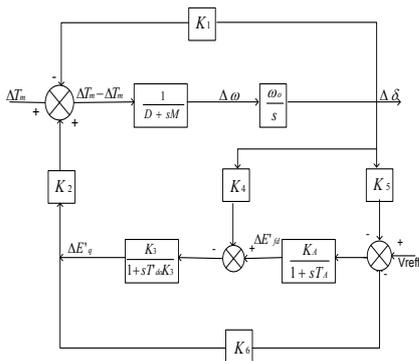
Model sistem mesin sinkron yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada analisis SMIB (*Single Machine Infinite Bus*) yaitu sebuah mesin serempak yang dihubungkan ke bus tak terbatas melalui saluran transmisi seperti terlihat pada gambar 1. Untuk Perancangan SMIB pada penelitian ini menggunakan model [2] sistem tersebut diasumsikan sebagai berikut :

1. Sistem terdiri dari mesin tunggal yang terhubung bus infinit.
2. Tahanan stator diabaikan.
3. Kondisi sistem dianggap seimbang dan kejenuhan inti generator diabaikan.
4. Beban berupa beban statis.



Gambar 1 Diagram Sistem *Single Machine Infinite Bus*

Untuk mempermudah analisa stabilitas sistem SMIB sederhana dimodelkan secara linier dengan menggunakan model [9] Seperti gambar 3.3.



Gambar 2 SMIB Linier

$K_1 - K_6$ merupakan konstanta mesin yang menjelaskan mengenai faktor pengaruh internal generator. Sedangkan ω_0 adalah kecepatan sudut dalam base, D adalah koefisien peredaman dan M adalah konstanta inersia mesin. Dengan rumus K_1-K_6 adalah sebagai berikut:

$$K_1 = K_I V_{\infty} E_{qa0} [R_e \sin(\delta_0 - a) + (x'_d + X_e) \cos(\delta_0 - a)] + K_I V_{\infty} I_{q0} (x_q - x'_d) [(x_q + X_e) \sin(\delta_0 - a) - R_e \cos(\delta_0 - a)] \quad (2)$$

$$K_2 = K_I I_{q0} [R_e^2 + (x_q + X_e)^2] + K_1 E_{qa0} R_e \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{1}{1 + K_I (x_d - x'_d) (x_q + X_e)} \quad (4)$$

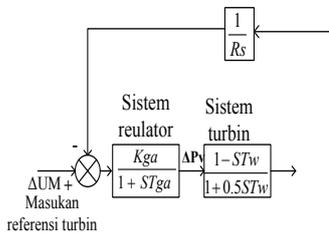
$$K_4 = V_{\infty} K_I (x_d - x'_d) [(x_q + X_e) \sin(\delta_0 - a) - R_e \cos(\delta_0 - a)] \quad (5)$$

$$K_5 = K_I V_{\infty} x'_d \frac{V_{q0}}{V_{t0}} [R_e \cos(\delta_0 - a) (x_q + X_e) \sin(\delta_0 - a)] - K_I V_{\infty} x_q \frac{V_{q0}}{V_{t0}} [R_e \cos(\delta_0 - a) - (x'_d + X_e) \sin(\delta_0 - a)] \quad (6)$$

$$K_6 = \frac{V_{q0}}{V_{t0}} [1 - K_1 x'_d (x_q + X_e)] - \frac{V_{q0}}{V_{t0}} K_I X_q R_e \quad (7)$$

1.4 Model Turbin

Pada simulasi penelitian ini, turbin yang digunakan adalah turbin uap yang mengacu pada model standar IEEE.

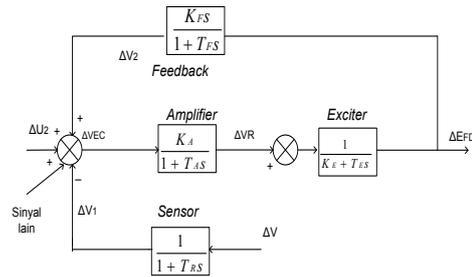


Gambar 3. Perancangan Turbin

1.5 Model Eksitasi

Pada penelitian penelitian ini sistem eksitasi yang digunakan adalah sistem eksitasi tipe satu yang juga mengacu pada model standar IEEE merupakan sistem eksitasi terkompensasi, model tersebut diperoleh dengan menambahkan *feedback* dari tegangan *output*

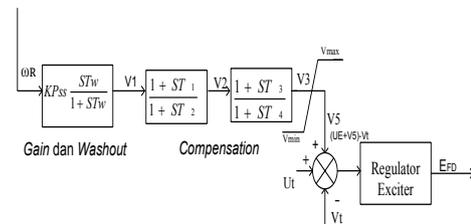
eksiter ke *input amplifier*. Sistem eksitasi diberi *input* sinyal tambahan dari kontrol lain yang dalam penelitian ini sinyal tersebut adalah *output* dari PSS.



Gambar 4 Sistem Eksitasi Tipe Satu

1.6 Model PSS

Power System Stabilizer merupakan peralatan yang menghasilkan sinyal kontrol untuk diumpungkan pada sistem eksitasi. Diagram fungsi alih PSS dapat dilihat pada gambar 3.6.

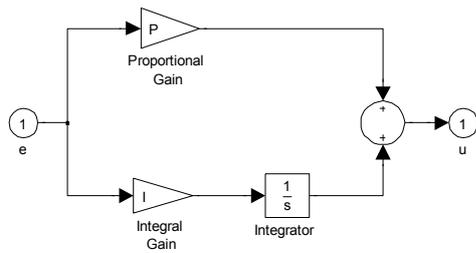


Gambar 5 Conventional PSS Tipe Satu

Fungsi dasar PSS adalah menambah batas kestabilan dengan mengatur eksitasi generator untuk memberi redaman terhadap osilasi rotor mesin sinkron. Dengan K_{pss} sebagai *gain stabilizer*, karakteristik tanggapan frekuensi diatur dengan memvariasikan konstanta waktu T_w , T_1 , T_2 , T_3 dan T_4 harus ditala untuk memberikan peredaman pada kisaran frekuensi osilasi yang mungkin terjadi jika penalaan tidak tepat atau kurang sesuai dengan sistem maka akan menyebabkan sistem berosilasi dan tidak stabil.

1.7 Model PI

kendali PI merupakan gabungan dari *gain propotional* dan *gain integral* yang diambil dari kontrol PID dengan memasukan nilai nol pada *gain derivative* atau tidak memfungsikan *gain derivativenya*, PI merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Pada program matlab bentuk diagram PI seperti gambar 3.7. Penentuan nilai parameter PI dapat dicari dengan menggunakan metode *trial error* (coba-coba) dan metode *ziegler nichols*.



Gambar 6. Blok PI Simulink

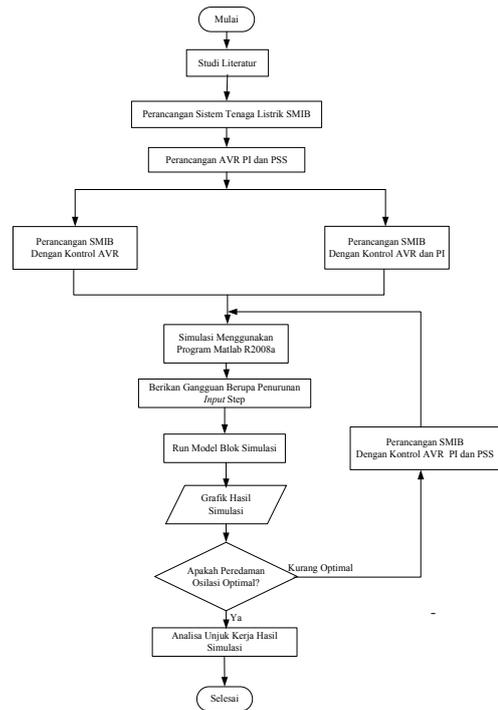
Pada metode *ziegler nichols* ada dua tipe yaitu tipe 1 dan 2, pada penelitian ini tipe yang digunakan adalah tipe 2. Pada metode tipe 2, penalaan dilakukan dengan masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (*step*). Pencarian konstanta dengan metode ini yaitu dengan cara menaikkan nilai K_p dari 0 hingga mencapai nilai kritis sehingga diperoleh keluaran yang terus menerus berhasil dengan *amplitudo* yang sama. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai *ultimated gain* (K_u). Nilai *ultimated period*, T_u diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus-menerus berhasil. Nilai perioda dasar T_u , dan penguatan dasar K_u , digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta pengendali sesuai dengan tetapan empiris *Ziegler-Nichols* pada Tabel 1.

Tabel 1 Penalaan *Ziegler Nichols* Metode Tipe ke 2

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/5$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

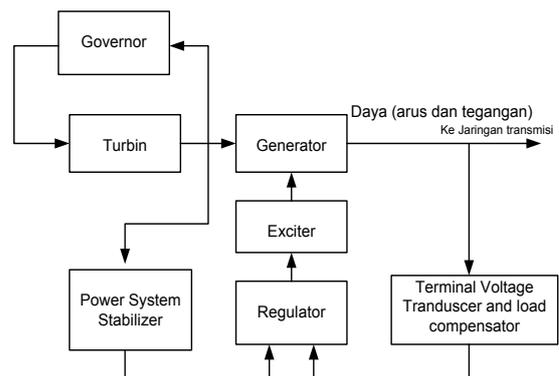
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan tahapan yang merepresentasikan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian, tujuannya untuk memudahkan peneliti dalam melakukan penelitian. Berikut adalah tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam proses penelitian yang berjudul “simulasi perbaikan kestabilan dinamik pada sistem tenaga menggunakan kontrol gain avr pss” dapat dilihat secara jelas pada Gambar 7 tahapan metode yang menunjukkan rencana atau struktur penelitian yang akan digunakan untuk melakukan penelitian pada penelitian ini.



Gambar 7 Diagram Alir Penelitian

2.1 Blok diagram Sistem



Gambar 8 Blok diagram Sistem

Perancangan blok diagram pada gambar 8 merupakan model sistem lengkap dengan sistem kontrolnya, perancangan ini dimaksudkan untuk mempermudah pengerjaan sebelum sistem dibentuk kedalam model fungsi alih. blok diagram tersebut terdiri dari turbin, governor, generator, *power system stabilizer*, *exciter*, *regulator* dan *terminal voltage transducer and load compensator*.

Desain Perancangan Fungsi Alih SMIB

Metode penelitian selanjutnya pada pengerjaan penelitian ini yaitu desain perancangan sistem yang terdiri dari penggabungan bagian-bagian sistem yang telah dirancang dan dijelaskan pada sub bab sebelumnya, perancangan difokuskan pada konfigurasi sistem yaitu

1. Perancangan SMIB dengan AVR
2. Perancangan SMIB dengan AVR dan kendali PI
3. Perancangan SMIB dengan AVR kendali PI dan PSS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan mengamati kinerja dari respon kecepatan, respon sudut rotor dan respon tegangan dengan tanggapan waktunya dari 0 detik sampai dengan 80 detik. Seperti perancangan sistem sebelumnya simulasi juga dimodelkan menjadi tiga yaitu: simulasi model SMIB dengan AVR, simulasi model SMIB dengan AVR dan kendali PI, dan simulasi model SMIB dengan AVR PI dan PSS. penalaan PI menggunakan 2 metode yaitu metode trial error dan ziegler nichols. Untuk metode trial error didapatkan nilai terbaiknya adalah $K_p = 2,515$ dan $K_i = 0,6$. Sedangkan untuk metode *ziegler nichols* nilai dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter PI Menggunakan Metode Ziegler Nichols

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	1,1	-	-
PI	2,475	3,984	-
PID	3,3	2,4	0,576

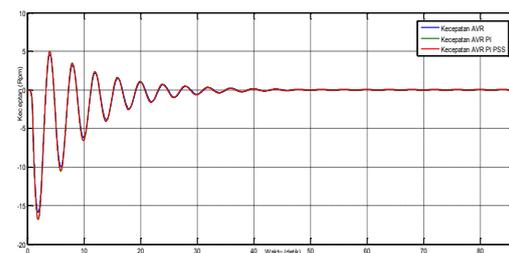
Sehingga didapatkan nilai K_p dan K_i adalah masing-masing $K_i = 0,621$ dan $K_p = 2,475$. Penalaan PSS menggunakan metode trial error didapatkan nilai seperti pada tabel 3.

Tabel 3 Penalaan PI PSS

P	I	Gain	T1	T2	T3	T4	Tw
2,515	0,6	0,02	0,05	0,1	0,2	1	1

3.1 Hasil Simulasi Tanpa Perubahan Beban

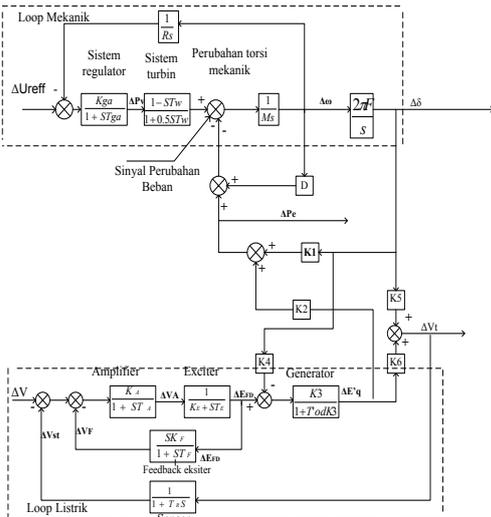
Hasil pengujian simulasi sistem dengan kondisi perubahan beban $\Delta PL = 0$, dapat dilihat pada beberapa grafik berikut ini.



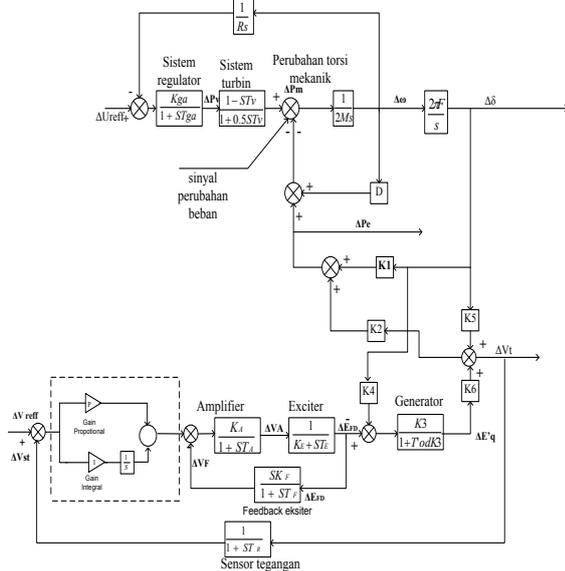
Gambar 12 Grafik Respon Kecepatan

Grafik respon kecepatan ini merupakan perbandingan antara fungsi y yang merupakan kecepatan putaran rotor dengan satuan rpm dan fungsi x sebagai indikator waktu yang dibutuhkan untuk berputar dalam satuan detik, ketiga respon kecepatan dengan PSS atau pun tidak terlihat hanya sedikit berubah, kinerja PSS kurang berpengaruh terhadap respon kecepatan, dapat dilihat pada analisis respon kecepatan tabel 4.

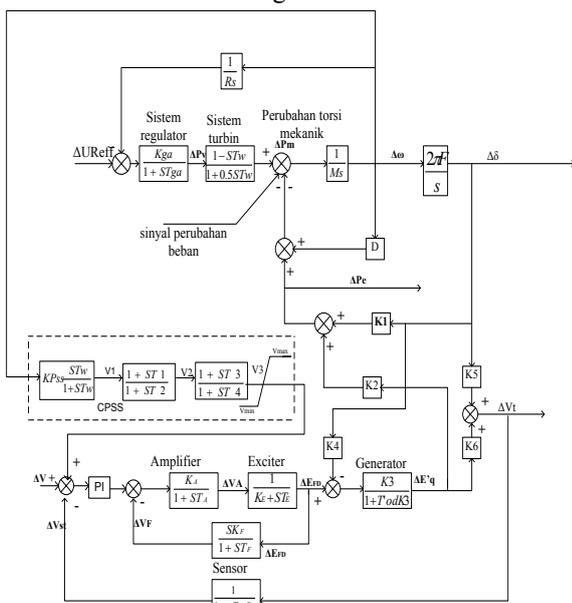
Tabel 4 Analisa Respon Kecepatan



Gambar 9 SMIB dengan AVR

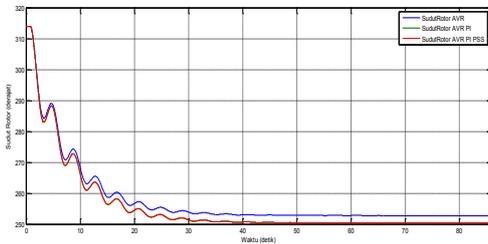


Gambar 10 SMIB dengan AVR dan Kendali PI



Gambar 11 SMIB dengan AVR Kendali PI dan PSS

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap
AVR	3,832 detik	4,5656	66 detik
AVR PI	3,8 detik	4,979	71 detik
AVR PI PSS	3,792 detik	4,96	69 detik

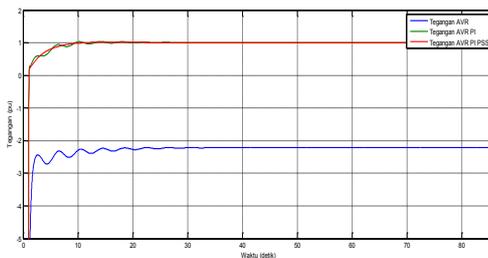


Gambar 13 Grafik Respon Sudut Rotor

Dengan pemasangan *power system* sudut rotor lebih stabil meskipun tidak memberikan perbedaan yang relatif besar, grafik yang berwarna merah merupakan hasil sistem yang dipasangkan PSS, grafik tersebut mengalami titik stabil lebih menurun dibandingkan sistem sebelum menggunakan PSS.

Tabel 5 Analisa Respon Sudut Rotor

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap
AVR	-	-	57 detik
AVR PI	-	-	61 detik
AVR PI PSS	-	-	57 detik



Gambar 14 Grafik Respon Tegangan

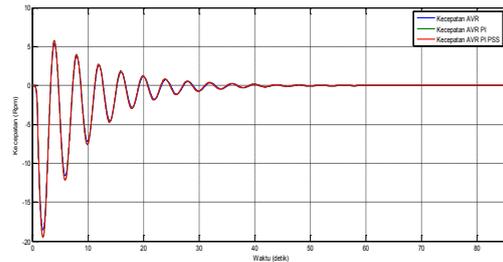
Grafik tegangan mengalami peredaman osilasi yang cukup baik, *overshoot* hanya 1,0169 *settling time* 51 detik dan waktu puncak 14 detik, dari ketiga respon hasil simulasi tegangan merupakan yang paling baik dalam mengalami perubahan dari sistem dengan memakai AVR, sistem dengan AVR PI serta sistem dengan kendali AVR PI dan PSS. Hal ini membuktikan bahwa *power system stabilizer* meningkatkan stabilitas sistem dengan cara mengendalikan daya listrik atau daya reaktifnya. Tabel 6 merupakan tabel yang menampilkan analisa respon tegangan.

Tabel 6 Analisa Respon Tegangan

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap	Set Point
AVR	-	-	48 detik	Tidak
AVR PI	15,7 detik	1,0402	58 detik	Iya
AVR PI PSS	14 detik	1,0169	51 detik	Iya

3.2 Hasil Simulasi dengan Beban Berubah

Untuk mengetahui seberapa optimal kinerja *power system stabilizer* dalam meredam osilasi maka simulasi sistem selanjutnya diberi perubahan beban, *input step* sebagai bentuk perubahan beban dengan nilai 25 nilai.

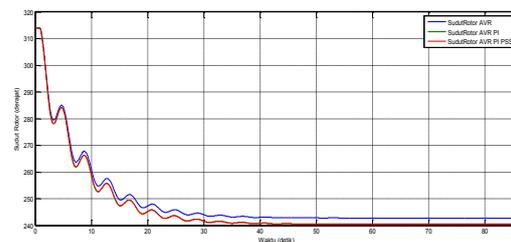


Gambar 15 Grafik Respon Kecepatan

Kecepatan sistem yang terlihat pada gambar 15 setelah diberi perubahan beban mengalami perlambatan waktu menetap serta terjadi osilasi pada keadaan menetap. secara terperinci hasil sistem setelah diberi perubahan beban dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Analisa Respon Kecepatan

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap
AVR	3,82 detik	5,353	70 detik
AVR PI	3,79 detik	5,77	70 detik
AVR PI PSS	3,8 detik	5,73	70 detik

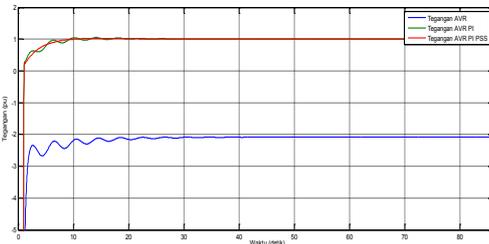


Gambar 16 Grafik Respon Sudut Rotor

Hasil respon keluaran sudut rotor pada gambar 4.21 yaitu sistem dengan perubahan beban, sudut rotor dengan PI PSS lebih mengalami cepat stabil tapi stabilnya lebih menurun yaitu menuju ke 240, hasil respon sudut rotor ditunjukkan juga pada tabel 8

Tabel 8 Analisa Respon Sudut Rotor

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap
AVR	-	-	62 detik
AVR PI	-	-	58 detik
AVR PI PSS	-	-	57 detik



Gambar 17 Grafik Respon Tegangan

Gambar 17 merupakan tegangan dengan perubahan beban, terlihat bahwa setelah terjadi perubahan beban, tegangan tetap stabil dan osilasi dapat diredam dengan pemasangan *power system stabilizer* sebagai perangkat kontrol tambahan, dalam hal ini kestabilan dinamik pada tegangan dapat diperbaiki dengan baik oleh perangkat tambahan tersebut, analisa hasil perubahan beban juga dapat dilihat pada tabel 4.9 sistem lebih cepat stabil 8 detik setelah pemasangan PSS dan *overshoot* hanya mencapai 1.0215 berbeda dengan hanya pemakaian AVR PI sebagai kontrolnya *overshoot* mencapai 1.0507.

Tabel 9 Analisa Respon Tegangan

	Waktu Puncak	Overshoot	Waktu Menetap	Set Point
AVR	-	-	34 detik	Tidak
AVR PI	16,798 detik	1,0507	63 detik	Iya
AVR PI PSS	17,915 detik	1,0215	51 detik	Iya

4. Kesimpulan

Dari ketiga simulasi, yaitu SMIB menggunakan kontrol AVR, SMIB menggunakan kontrol AVR dan kendali PI serta SMIB menggunakan kontrol AVR kendali PI dan PSS, penerapan AVR kendali PI dan PSS memberikan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan sistem yang menggunakan AVR kendali PI dan sistem yang hanya menggunakan kontrol AVR saja, dengan penalaan parameter yang sesuai PSS dapat bekerja secara optimal dengan cara meredam osilasi, tapi dalam hal ini kecepatan dan sudut rotor tidak terlalu terpengaruh karena PSS meningkatkan stabilitas sistem dengan cara mengendalikan daya listrik atau daya reaktifnya.

6. Daftar Pustaka

1. Robandi, Imam. 2006. *Desain Sistem Tenaga Modern*. Yogyakarta : Andi
2. Robandi, Imam. 2009. *Modern Power System Control*. Yogyakarta : Andi
3. Kundur, Prabha. 1993. *Power System Stability and control*. Mc Grow-Hill
4. Cekdin, Cekmas. 2007. *Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi

5. Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Singapur: McGraw-Hill Co
6. Ogata, Katsuhiko. 1984. *Teknik Kontrol Automatik*. Indonesia : Erlangga
7. Haddin, Muhamad, Soebagio, Adi Soeprijanto. *Optimal Setting Gain Of PSS-AVR Particle Swarm Optimization For Power System Stability Improvement*. Institut Teknologi Sepuluh November.
8. Santoso, Ari, Hadi, Sasongko Pramono, Suharyanto. *Kombinasi Avr dan Pss Generator Dengan Kendali Logika Fuzzy dan Konvensional Pada Peredaman Osilasi Frekuensi Rendah*. Tersedia dari: <http://www.repository.ugm.ac.id> [URL dikunjungi 9 september juni 2014].
9. Yamlecha, Jibril. *Perbandingan Desain Optimal Power System Stabilizer (Pss) Menggunakan Pso (Particle Swarm Optimization) Dan Ga (Genetic Algorithm) Pada Single Machine Infinite Bus (SMIB)*. Tersedia dari: <http://www.ejournal-sl.undip.ac.id> [URL dikunjungi 25 juni 2014].
10. Rudi, Masrul. *Analisis Penggunaan Power System Stabilizer (PSS) Dalam Perbaikan stabilitas Dinamik Sistem Tenaga Listrik Multi Mesin*. Universitas Sumatra Utara.
11. Sultan, Nrartha, I Made Ari. *Perbaikan Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga Dengan Fuzzy Proportional Derivatif Power System Stabilizer*. Dielektrika, ISSN 2086-9487 Vol. 1, No. 1 : 14 - 19, Agustus 2010.
12. Arjana P.P, Gede, Penangsang, Ontoseno, dan Priyadi, Ardyono. *Analisis Stabilitas Transient Pada Sistem Tenaga Listrik dengan Mempertimbangkan Beban Non-Linear*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2012)
13. Laksono, Heru Dibyo, Putra, Ichsan Ridho. *Analisa Performansi Single Machine Infinite Bus (SMIB) dengan Metoda Linear Quadratic Regulator (LQR) (Studi Kasus : PLTA Singkarak)*. Vol. 20 No. 2 November 2013.