

OPTIMALISASI PID POWER SYSTEM STABILIZER MENGUNAKAN FIRE FLY ALGORITHM PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK JAWA-BALI

Adi Kurniawan

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
e-mail: adi.kurniawan@ne.its.ac.id

Abstrak—Perubahan nilai beban menyebabkan terjadinya osilasi frekuensi dan tegangan pada generator di sistem pembangkit listrik multi mesin. Oleh sebab itu, kompensator diperlukan untuk meningkatkan kestabilan frekuensi dan tegangan, sehingga osilasi terjadi dalam waktu yang singkat dan dengan amplitudo rendah. Pada makalah ini, diusulkan sebuah kontroler untuk meningkatkan kestabilan dinamik pada sistem pembangkit listrik Jawa-Bali. Kontroler yang diusulkan adalah PID Power System Stabilizer (PSS) yang dituning dengan Fire Fly Algorithm (FFA). Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontroler yang diusulkan dapat meredam osilasi secara cepat dan dengan amplitudo yang rendah bila dibandingkan dengan sistem tanpa kontroler pada sistem pembangkit listrik Jawa-Bali.

Kata Kunci : Power System Stabilizer, Fire Fly Algorithm , Pembangkit Multi Mesin, Kontroler PID, Osilasi Frekuensi

Abstract—The change of load value causes oscillation on frequency and voltage of the generator in a multi-machine power generation system. Therefore, compensator is necessary to increase the frequency and voltage stability, so that oscillation occurs in a short time and with low amplitude. In this paper, a controller to improve the dynamic stability of Java-Bali power generator system is proposed. The proposed controller is PID Power System Stabilizer (PSS) which is tuned by Fire Fly Algorithm (FFA). The simulation results show that the proposed controller can dampen oscillations quickly and with lower amplitude when compared to the system without a controller on Java-Bali power generation system.

Keywords : Power System Stabilizer, Fire Fly Algorithm, Multi Machine Generator, PID Controller, Frequency Oscillation

I. PENDAHULUAN

Contoh Kestabilan merupakan masalah yang membutuhkan perhatian lebih, dalam perencanaan sistem tenaga listrik. Selama sistem dalam operasi normal, komponen-komponen dari sistem tenaga listrik memberikan keseimbangan antara kebutuhan dari suplai daya reaktif dan aktif. Kestabilan sistem tenaga listrik terkait dengan komponen-komponen pada sistem tenaga listrik dalam memberikan keseimbangan tersebut. Jika terjadi perubahan secara mendadak, ada kemungkinan keseimbangan tersebut terganggu sehingga mengakibatkan sistem tenaga listrik tidak dapat kembali pada titik keseimbangan normal. Salah satu efek gangguan adalah osilasi elektromekanik yang jika tidak diredam dengan baik maka sistem akan terganggu dan dapat keluar dari area kestabilannya sehingga mengakibatkan

pengaruh yang lebih buruk seperti pemadaman total.

Terdapat dua macam gangguan yang mempengaruhi kondisi kestabilan sistem yaitu gangguan transien dan gangguan dinamik. Gangguan transien adalah gangguan besar yang terjadi seperti hubung singkat ataupun putus jaring transmisi. Sedangkan gangguan dinamik adalah gangguan kecil yang sering terjadi dan dapat mengganggu kestabilan. Salah satu penyebab gangguan dinamik adalah perubahan beban. Gangguan dinamik ini dapat menyebabkan performa dinamik sistem menjadi terganggu bahkan dapat membawa sistem ke daerah tidak stabil [1].

Dinamika sistem tenaga terkait dengan kondisi dinamik dari mesin sinkron yang terhubung secara interkoneksi dengan jaringan [2]. Perubahan beban akan menyebabkan perubahan sudut rotor dari generator yang terhubung dengan jaringan. Perubahan sudut

rotor ini umumnya dilalui dengan adanya osilasi. Osilasi pada perubahan sudut generator akan menyebabkan terjadinya osilasi frekuensi dan tegangan yang dapat menyebabkan jaringan listrik menjadi tidak stabil dan dapat merusak peralatan elektronik pada sisi beban.

Osilasi sistem elektromekanik merupakan salah satu fenomena paling kompleks pada dinamika sistem tenaga listrik. Kompleksitas dari osilasi elektromekanik dan kesulitan dalam pengontrolannya, merupakan akibat dari frekuensi dan pola osilasi yang bervariasi. Osilasi pada sistem elektromekanik dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu osilasi lokal dan osilasi inter area. Osilasi lokal merupakan osilasi dari sebagian kecil generator terhadap keseluruhan sistem. Frekuensi dari osilasi lokal umumnya antara 1 hingga 2 Hz. Osilasi inter area adalah osilasi yang melibatkan banyak generator, dimana antara satu generator dengan yang lain saling berosilasi. Frekuensi dari osilasi inter area umumnya antara 0,1 hingga 1 Hz [3].

Dalam sistem multimesin, perubahan keadaan suatu mesin akan mempengaruhi keadaan mesin lainnya. Hal ini disebabkan karena antara mesin yang satu dengan mesin lainnya terhubung secara elektrik melalui jaringan transmisi [4].

Pada sistem multi-machine yang peredaman osilasinya kurang baik, harus digunakan beberapa PSS. Untuk sistem kelistrikan berskala besar yang mempunyai banyak mesin terinterkoneksi, tuning parameter dari PSS merupakan hal yang sangat kompleks. Untuk mengatasi hal ini, para periset mencoba untuk menyederhanakan permasalahan ini dengan merang prosedur tuning yang sederhana dan intuitif berdasarkan pengalaman dan analisis sistem [5].

Pada makalah ini, diusulkan metode tuning PSS dengan menggunakan kecerdasan buatan, yaitu FFA, kemudian PSS tersebut dikombinasikan dengan kontroler PID. Dengan mengombinasikan PSS dan kontroler PID, didapatkan respon dinamik yang lebih stabil pada sistem pembangkit listrik Jawa-Bali.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Fire fly algorithm (FFA) adalah sebuah teknik optimisasi yang diinspirasi oleh kelakuan

dari kunang-kunang dan fenomena komunikasi bioluminescent [6].

Formula dari algoritma ini adalah sebagai berikut:

1. Semua kunang-kunang dianggap unisexual, sehingga seekor kunang-kunang akan tertarik dengan semua kunang-kunang yang lain.
2. Tingkat ketertarikan sebanding dengan tingkat kecerahan, dan untuk dua ekor kunang-kunang, seekor yang kurang cerah akan tertarik ke yang lebih cerah dan bergerak ke arah kunang-kunang yang lebih cerah. Namun tingkat kecerahan akan berkurang ketika jarak semakin bertambah
3. Jika tidak ada kunang-kunang yang lebih cerah daripada kunang-kunang inisial, kunang-kunang tersebut akan bergerak secara acak.

Tingkat kecerahan tersebut diasosiasikan dengan objective function dari permasalahan yang diteliti.

Ada dua hal yang berkaitan dan sangat penting dalam firefly algorithm yaitu intensitas cahaya dan fungsi keatraktifan. Tingkat intensitas cahaya pada seekor kunang-kunang dapat dituliskan sebagai:

$$I(x) = f(x) \quad (1)$$

Dimana $I(x)$ merupakan tingkat intensitas cahaya dari kunang-kunang dan $f(x)$ merupakan tujuan permasalahan yang dicari.

Tingkat keatraktifan β bernilai relative. Hal ini disebabkan intensitas cahaya dinilai oleh kunang-kunang yang lain. Hasil penilaian akan berbeda tergantung jarak antara kunang-kunang yang satu dengan yang lain (r_{ij}). Fungsi keatraktifan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\beta(r_{ij}) = \beta_0 e^{(-\gamma r_{ij}^m)}, \quad m \geq 1 \quad (2)$$

dimana γ adalah tingkat absorpsi.

Jarak antara kunang-kunang i dan j dapat ditentukan dengan persamaan dalam diagram kartesius sebagai berikut:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Pergerakan kunang-kunang i menuju tingkat intensitas cahaya terbaik dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$x = x_i + \beta e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_i - x_j) + a(rand - \frac{1}{2}) \quad (4)$$

dimana x_i adalah posisi awal kunang-kunang, β_0 adalah tingkat keatraktifan awal dari kunang-kunang dan α adalah bilangan antara 0 dan 1.

Pada makalah ini, *fitness function* atau tujuan permasalahan yang dicari adalah sudut dari PSS ditambah dengan sudut dari *exciter* mendekati 0.

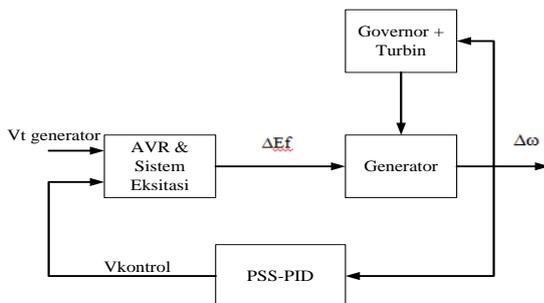
Parameter dari FFA yang digunakan pada makalah ini adalah sebagai berikut:

- Jumlah kunang-kunang = 20
- Jumlah iterasi maksimum = 100
- $\alpha = 0.25$
- $\beta_0 = 0.2$
- $\gamma = 1$

Dengan mengaplikasikan teknik FFA, akan didapatkan parameter-parameter dari PSS yang digunakan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada makalah ini, sistem pembangkit yang akan diperbaiki kestabilannya adalah sistem pembangkit Jawa Bali yang terdiri dari 8 unit pembangkit dengan 25 bus. Struktur dari setiap unit pembangkit ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Unit Pembangkit

Parameter dinamik dari unit pembangkit pada sistem disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Dinamik Mesin

Unit	Xd (p.u.)	Xd' (p.u.)	Xq (p.u.)	Xq' (p.u.)
1	2.23	0.297	2.19	0.487
2	2.23	0.297	2.19	0.487
3	2.23	0.297	2.19	0.487
4	2.23	0.297	2.19	0.487
5	2.23	0.297	2.19	0.487
6	2.23	0.297	2.19	0.487
7	2.23	0.297	2.19	0.487
8	2.23	0.297	2.19	0.487

Selain parameter dinamik, data lain yang perlu diketahui adalah parameter governor dan sistem eksitasi. Parameter governor dan sistem eksitasi disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Parameter Governor dan Sistem Eksitasi

Unit	H (det)	Kg (p.u)	Tg (p.u)	KA (p.u)	TA (det)	Tdo (det)
1	5.19	20	1	400	0.05	9.45
2	1.82	20	1	100	0.02	9.45
3	2.86	18	2	100	0.04	9.99
4	1.64	18	2	100	0.02	8
5	3.2	20	1	100	0.05	4.57
6	2.54	20	1	300	0.04	9.45
7	4.42	20	1	400	0.05	7.9
8	2.76	20	1	100	0.04	9.45

Komponen pada sistem ekstasi bersifat statis. Rectifier statis menyuplai arus eksitasi melalui belitan medan generator.

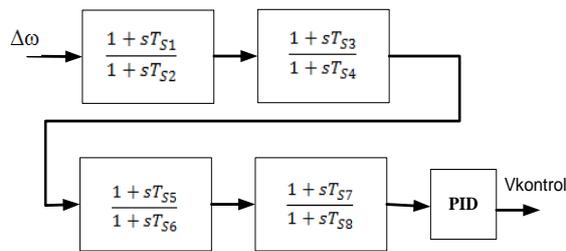
Data impedansi saluran dari masing-masing unit pembangkit ke bus terdekat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Impedansi Saluran Unit Pembangkit

Unit	R+JX(p.u)
1	0.00063+j0.00701
2	0.00282+j0.02711
3	0.00147+j0.01417
4	0.00196+j0.02190
5	0.01353+j0.15141
6	0.00139+j0.01340
7	0.00444+j0.04962
8	0.00399+j0.04460

Pada makalah ini, kontrol peredam yang digunakan adalah PSS yang ditala dengan FFA dan dikombinasikan dengan kontroler PID. Kontroler ini diletakkan pada setiap mesin

dengan parameter yang berbeda-beda Desain dari kontroler yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Desain Kontroler PSS dan PID

Input dari kontroler PSS-PID adalah deviasi dari sudut rotor. PSS yang digunakan terdiri dari 4 unit *lead-lag networks*. Output dari kontroler adalah tegangan kontrol ($V_{kontrol}$) yang akan dikurangkan dengan tegangan referensi, lalu menjadi input AVR.

Untuk mendapatkan parameter dari komponen PSS masing-masing pembangkit, data setiap pembangkit yang belum dipasang kontroler PID ditune dengan FLA. Hasil dari tuning FLA adalah komponen-komponen penyusun PSS. Hasil tuning FLA dituliskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter PSS

Unit	T_{s1}	T_{s2}	T_{s3}	T_{s4}	T_{s5}	T_{s6}	T_{s7}
1	1.114	0.802	1.163	0.699	1.130	0.897	1.119
2	1.32	0.799	1.109	0.881	1.246	0.787	1.207
3	1.048	0.745	1.095	0.792	1.238	0.9	1.025
4	1.318	0.728	1.393	0.871	1.09	0.856	1.128
5	1.355	0.9	1.313	0.9	1.241	0.9	1.074
6	1.478	0.877	1.006	0.87	1.368	0.793	1.31
7	1.023	0.828	1.139	0.899	1.218	0.799	1.412
8	1.335	0.828	1.001	0.84	1.213	0.899	1.077

Setelah PSS dipasang dan parameter PSS diisi sesuai dengan tuning FLA, kontroler PID dipasang pada sistem. Nilai dari parameter penyusun kontroler PID didapatkan dengan PID tuner yang terdapat pada perangkat lunak Matlab. Nilai parameter penyusun kontroler PID dituliskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter PID

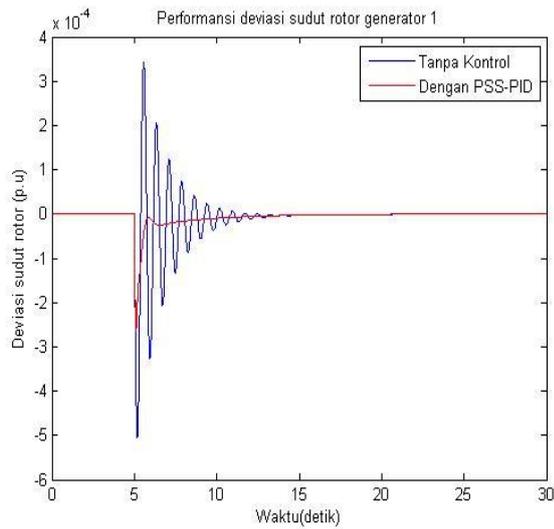
Unit	K_p	K_i	K_d
1	5	1	1
2	20	1	5
3	30	1	15
4	75	15	15
5	100	1	1
6	5	0.1	0.5
7	50	1	10
8	50	5	15

Tuning parameter PID dilakukan satu persatu. Nilai parameter tiap mesin berbeda-beda untuk mendapatkan respon terbaik.

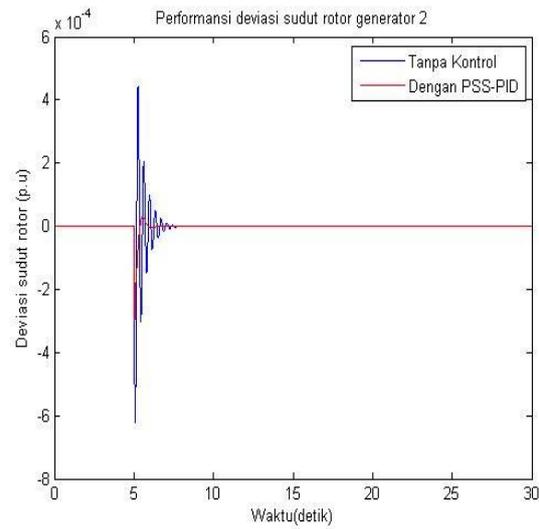
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada makalah ini, dilakukan perbandingan antara sistem tanpa kontrol peredam dan sistem dengan kombinasi kontroler PSS dan PID. Hasil simulasi yang diamati adalah deviasi sudut rotor dari masing-masing unit pembangkit. Seperti telah disebutkan pada bagian pendahuluan, perubahan beban akan menyebabkan pergeseran sudut rotor. Pergeseran tersebut tidak dapat dilalui secara mulus dan menyebabkan osilasi pada sudut rotor.

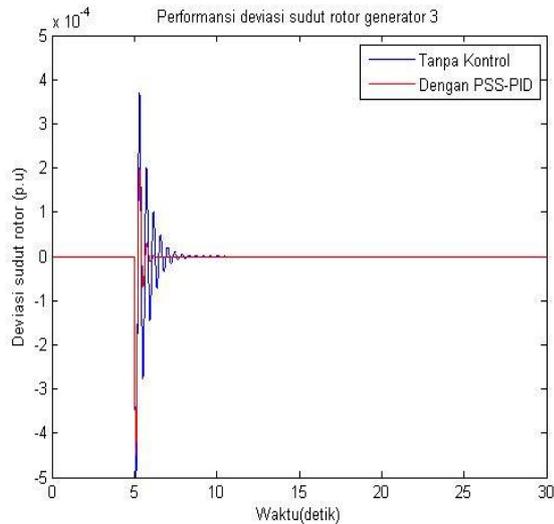
Pada awal simulasi, sistem belum diberi beban. Pada detik ke 5, beban sebesar 0.05 p.u. diberikan pada masing-masing pembangkit, baik pada sistem tanpa kontroler maupun pada sistem dengan kontroler PSS-PID. Hasil simulasi deviasi sudut rotor masing-masing pembangkit, baik sistem tanpa kontroler dan sistem dengan kontroler ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Pada masing-masing gambar ditunjukkan perbandingan secara langsung respon deviasi sudut rotor antara sistem tanpa kontroler dan sistem dengan kontroler.



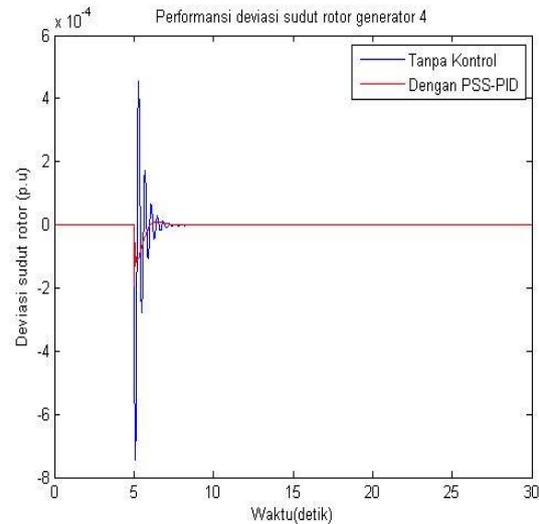
Gambar 3. Deviasi Sudut Rotor Generator 1



Gambar 4. Deviasi Sudut Rotor Generator 2



Gambar 5. Deviasi Sudut Rotor Generator 3

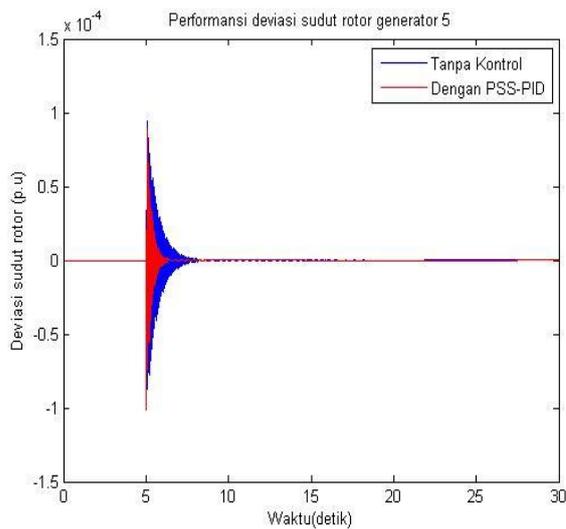


Gambar 6. Deviasi Sudut Rotor Generator 4

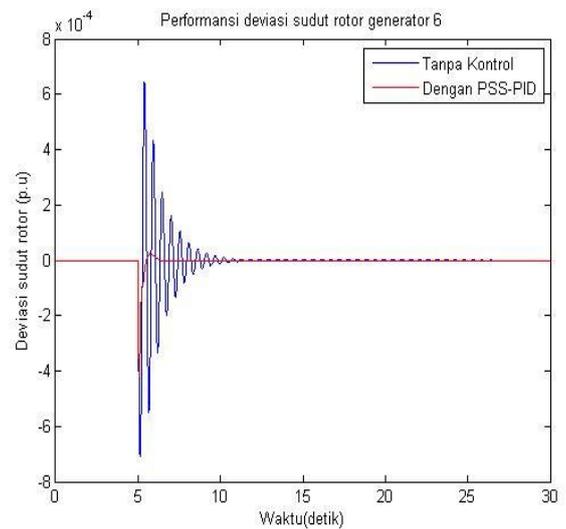
Hasil simulasi pada Gambar 3 hingga Gambar 10 menunjukkan bahwa pada sistem tanpa kontroler, deviasi sudut rotor terjadi cukup lama walaupun akhirnya dapat kembali ke kondisi *steady-state*. Namun dapat dilihat pula bahwa sistem yang menggunakan kontroler PSS-PID mampu mengembalikan sudut rotor jauh lebih cepat dan dengan *overshoot* yang lebih rendah pada hampir seluruh mesin dibandingkan pada sistem tanpa kontroler. Perkecualian terjadi pada generator 4 dimana pada sistem dengan kontroler PSS-PID, *overshoot* sedikit lebih tinggi dibandingkan pada sistem tanpa kontroler. Namun untuk

kecepatan kembali ke *steady-state*, sistem dengan kontroler pada generator 4 tetap mempunyai performa yang lebih baik dibanding dengan sistem tanpa kontroler.

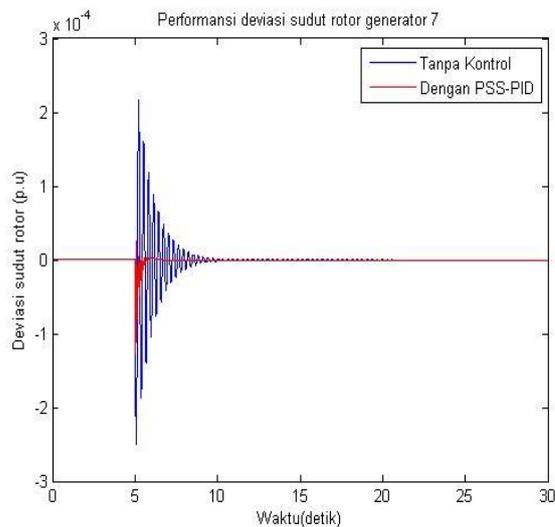
Kecepatan kembali ke *steady-state* yang tinggi serta *overshoot* yang rendah pada sistem dengan kontroler PSS-PID membuat sistem tersebut dapat dikatakan lebih stabil dan aman dari resiko gangguan dan resiko terbawa ke daerah tidak stabil.



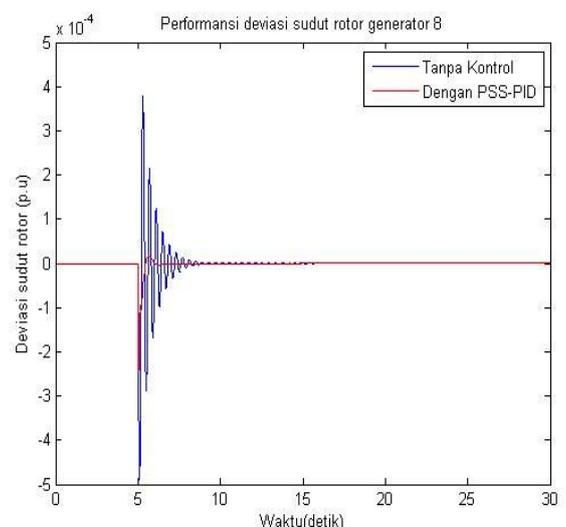
Gambar 7. Deviasi Sudut Rotor Generator 5



Gambar 8. Deviasi Sudut Rotor Generator 6



Gambar 9. Deviasi Sudut Rotor Generator 7



Gambar 10. Deviasi Sudut Rotor Generator 8

IV. KESIMPULAN

Pada makalah ini, diusulkan cara baru mengenai peningkatan kestabilan dinamik pada sistem multi mesin. Metode yang diusulkan adalah penggunaan PSS yang ditune dengan FLA, kemudian dikombinasikan dengan kontroler PID yang ditune dengan tuner pada perangkat lunak matlab. Sistem yang dipasang kontroler dan sistem tanpa kontroler diuji dengan simulasi pemberian beban. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan kontroler PSS-PID mampu mengembalikan sudut rotor ke kondisi steady-state jauh lebih cepat dibanding dengan sistem

tanpa kontroler. Overshoot pada sistem dengan kontroler juga lebih rendah dibandingkan dengan pada sistem tanpa kontroler. Dengan demikian sistem yang diberi kontroler PSS-PID lebih stabil dan aman dari resiko gangguan dibanding dengan sistem tanpa kontroler.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Diantoro, I.W., *Perbaikan Kestabilan Dinamik Menggunakan Unified Power Flow Controller (UPFC) Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO) Pada Sistem*

- Tenaga Listrik*, Thesis Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2012).
- [2] Vournas, C.D., Sauer, P.W., Pai, M.A. *Relationships between voltage and angle stability of power systems*, Electrical Power and Energy Systems, 18, 493-500 (1996).
- [3] Rouco, L., *Coordinated design of multiple controllers for damping power system oscillations*, Electrical Power and Energy Systems, 23, 517-530 (2001).
- [4] Soeprijanto, A., *Pemodelan Untuk Kestabilan Dinamik*, Diktat Mata Kuliah Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, ITS.
- [5] Bhattacharya, K., Kothari, M.L., Nanda, J., Aldeen, M., Kalam, A., *Tuning of power system stabilizers in multi-machine systems using ise technique*, Electrical Power Systems Research, 46, 119-131 (1998).
- [6] Lukasik, S., Zak, S., *Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Task*, Polish Academy of Sciences, System Research Institute (2009).

Biodata Penulis

Adi Kurniawan, lahir di Surabaya, pada tanggal 29 April 1989. Penulis menamatkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2011 dan S2 di institusi yang sama pada tahun 2013. Pada saat ini penulis menjadi staf pengajar di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS.