

Penalaan PSS pada Sistem Generator Tenaga Menggunakan Algoritma Penyerbukan Bunga

Muhammad Ruswandi Djalal^{*)}, Sonong

Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Jalan Perintis Kemerdekaan 10, Makassar, Indonesia 90245

Cara sitasi: M. R. Djalal, and S. Sonong, "Penalaan PSS pada Sistem Generator Tenaga Menggunakan Algoritma Penyerbukan Bunga," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 6, no. 3, Jul. 2018. doi: 10.14710/jtsiskom.6.3.2018.93-99, [Online].

Abstract – This research proposed a tuning method of power system stabilizer (PSS) using an intelligent method based on flower pollination algorithm (FPA) on Pajalesang generator located in Soppeng district. The observed result is the deviation response of velocity and rotor angle in case of disturbance. The case study used as the disturbance to this generator system is a load addition of 0.05 pu. The results show that velocity deviation response without PSS is 0.01152 pu to -0.0248 pu, using PSS trial is 0.007014 pu to -0.02174 pu, using PSS bat algorithm is 0.003972 pu to -0.01865 pu, and using the proposed method of PSS flower algorithm is 0.002149 pu to -0.01678 pu. The rotor angle response shows better results with reduced oscillation and rapidly leading to the steady-state condition. The performance of Pajalesang diesel power plant increased with the installation of FPA PSS, with parameters respectively $K_{pss}=8.5956$, $T_1=0.0247$, $T_2=0.2484$, $T_3=0.4776$, and $T_4=0.8827$.

Keywords – flower pollination algorithm; power system stabilizer; speed response; overshoot; settling time reduction

Abstrak – Pada penelitian ini diusulkan suatu metode penalaan power system stabilizer (PSS) menggunakan metode cerdas berbasis algoritma penyerbukan bunga pada generator Pajalesang yang terletak di kabupaten Soppeng. Hasil yang diamati adalah respons deviasi kecepatan dan sudut rotor generator bila terjadi gangguan. Studi kasus yang digunakan adalah terjadinya gangguan berupa penambahan beban sebesar 0.05 pu. Hasil analisa respons deviasi kecepatan menunjukkan bahwa sebelum pemasangan PSS sebesar 0.01152 pu sampai -0.0248 pu, dengan menggunakan PSS trial sebesar 0.007014 pu sampai -0.02174 pu, dengan menggunakan PSS algoritma kelelawar sebesar 0.003972 pu sampai -0.01865 pu, dan dengan menggunakan metode yang diusulkan (PSS algoritma penyerbukan bunga) sebesar 0.002149

pu sampai -0.01678 pu. Respons sudut rotor menunjukkan hasil yang baik dengan osilasi yang semakin berkurang dan cepat menuju ke kondisi tunak. Performansi pembangkit listrik tenaga diesel Pajalesang meningkat dengan pemasangan PSS yang optimal, dengan parameter masing-masing $K_{pss}=8.5956$, $T_1=0.0247$, $T_2=0.2484$, $T_3=0.4776$, dan $T_4=0.8827$.

Kata Kunci - algoritma penyerbukan bunga; penstabil sistem tenaga; respons kecepatan; overshoot; percepatan waktu settling

I. PENDAHULUAN

Fungsi pengontrol dalam operasi generator pada sistem tenaga listrik terletak pada governor dan eksiter di masing-masing generator. Namun, perangkat tersebut memiliki keterbatasan kinerja yang menyebabkan generator tidak dapat bekerja dengan optimal. Perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspons dengan baik oleh generator sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respons yang kurang baik dapat menimbulkan osilasi frekuensi dalam periode yang lama. Hal itu dapat mengakibatkan pengurangan kekuatan transfer daya yang dapat diatasi menggunakan peralatan tambahan yang disebut *power system stabilizer (PSS)*. Kontroler PSS ditambahkan pada pengatur tegangan otomatis (AVR). Fungsi dari eksiter, governor dan PSS ini adalah untuk mengatur frekuensi dan tegangan terminal secara lokal atau global pada masing-masing generator.

Kestabilan dari sistem tenaga listrik yang ada, umumnya terdiri dari kestabilan keadaan tunak (*steady state*) dan kestabilan transient. Kestabilan transient dikaitkan dengan gangguan besar yang tiba-tiba terjadi, misalnya gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban pada sistem. Kestabilan *steady state* berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada titik operasinya setelah gangguan kecil terjadi. Parameter sistem dikatakan stabil apabila seluruh variabel keadaannya stabil, yaitu frekuensi sistem, tegangan bus, atau sudut generator. Parameter

^{*)} Penulis korespondensi (Muhammad Ruswandi Djalal)
Email: wandi@poliupg.ac.id

ketidakstabilan pada sistem seperti tegangan pada beberapa bus yang turun drastis jauh dari kondisi normal dapat memungkinkan terjadi gagal tegangan.

Sistem Sulawesi Selatan, Tenggara dan Barat (Sulselrabar) merupakan sistem kelistrikan yang menghubungkan beberapa pusat beban dengan tegangan operasi 150 kV. Seiring meningkatnya sistem di Sulselrabar, diperlukan beberapa studi sistem kelistrikan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk sistem Sulselrabar, di antaranya [1]-[8]. Studi kestabilan sistem tenaga listrik ini merupakan hal yang penting untuk menjaga keandalan sistem. Metode kecerdasan buatan banyak digunakan pada sistem tenaga listrik untuk penalaan optimal di antaranya *firefly* [9], *particle swarm optimization* [10], *genetic algorithm* [11], *neural network* [12], *fuzzy logic* [13], *ant colony* [14], *bee colony* [15], dan *cuckoo search* [16].

Metode cerdas lainnya adalah dengan algoritma yang bekerja berdasarkan prinsip penyerbukan bunga pada tanaman (FPA, *flower pollination algorithm*). Penelitian tentang aplikasi FPA pada PSS menunjukkan hasil yang baik, seperti dalam [17]-[19]. Penelitian-penelitian tersebut ditujukan untuk penempatan *phasor measurement units* (PMUs) optimal dalam sistem tenaga [17], sistem penjadwalan *hydro thermal* [18] dan pengendali sudut *pitch* kincir pada turbin angin [19]. Penelitian ini mengusulkan penggunaan FPA tersebut dalam penalaan PSS pada generator PLTD Pajalesang yang saat ini belum menggunakan kontroler PSS sebagai kontroler tambahan. Algoritma penyerbukan bunga ini mencari parameter optimal dari PSS dengan menggunakan fungsi objektif yang sudah ditentukan, yaitu meminimalkan *integral time absolute error* (ITAE). Untuk melihat akurasi metode penalaan yang diusulkan, digunakan metode trial & error dan algoritma kelelawar sebagai pembandingan.

II. METODE PENELITIAN

Untuk menganalisis respons generator Pajalesang, simulasi perlu dilakukan dengan melibatkan semua komponen sistem tenaga pada sistem Sulselrabar. Secara umum, jumlah PSS yang dipasang pada sistem tenaga adalah tidak sama dengan jumlah generator dan jumlah minimum PSS adalah setengah dari jumlah generator. Selain itu, mengingat interaksi antar PSS, sangat penting untuk memilih penempatan dan penalaan yang tepat dari PSS. Misalkan, jika m PSS harus dipasang pada generator- N , maka ada 8-15 PSS yang akan dipasang pada masing-masing generator. Semua kemungkinan penempatan PSS ditampilkan dalam tabel *placement index*, seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 [7]. Batasan *placement index* berdasarkan Persamaan 1. Nilai P_{pla} menyatakan *placement index* yang menggambarkan pembagian dari m -PSS pada N -generator dan C_m^N adalah jumlah semua kemungkinan. Nilai C_m^N dinyatakan dalam Persamaan 2.

Tabel 1. Location Index (P_{loc}) untuk m -PSS

Index (P_{pla})	Generator di mana PSS Harus Dipasang					
1	1	2	3	...	m-1	m
2	1	2	3	...	m-1	m+1
.
.
N-1+2	2	3	4	...	m	m+1
.
.
C_m^N	N - m+1	N - m+2	N - m+2	...	N-1	N

Tabel 2. Batasan nilai parameter PSS

No	Parameter	Batas Bawah	Batas Atas
1	K_{pss}	10	50
2	T_1	0	0.1
3	T_2	0	0.1
4	T_3	0	5
5	T_4	0	5

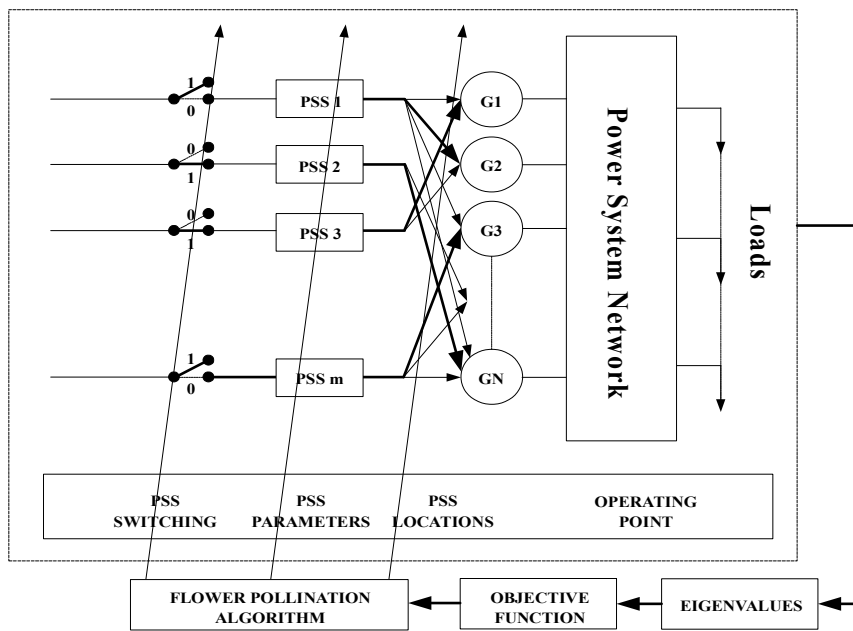
$$1 \leq P_{pla} \leq C_m^N \quad (1)$$

$$C_m^N = \frac{N!}{m!(N-m)!} \quad (2)$$

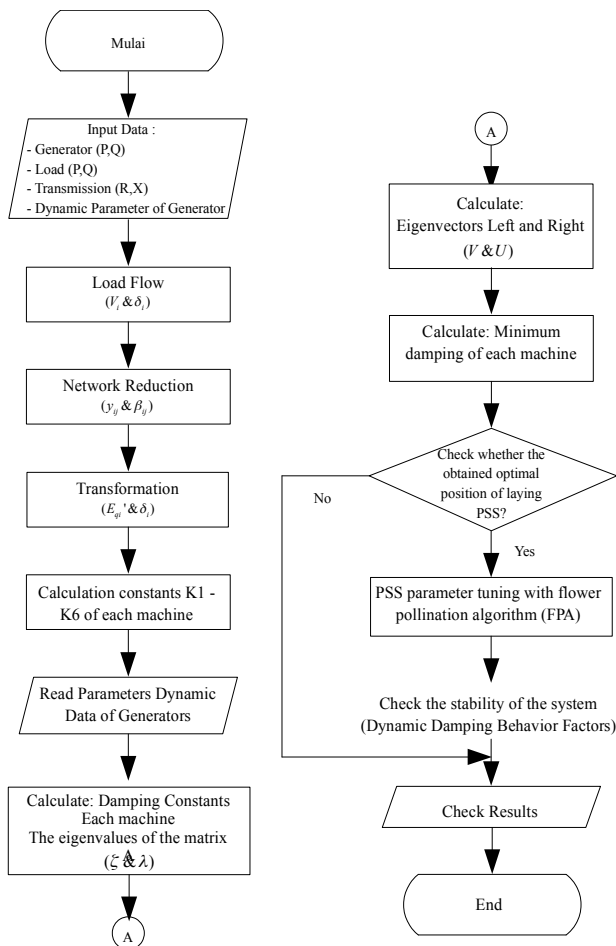
Fungsi tujuan (*objective function*) yang digunakan adalah memaksimalkan damping minimum (ζ_{min}) pada semua kombinasi penempatan PSS. Untuk setiap *placement index*, nilai minimum rasio damping dievaluasi oleh metode cerdas yang diusulkan menggunakan FPA. Penempatan terbaik PSS didasarkan pada nilai maksimum ζ_{min} yang lebih besar dari ζ_0 . Gambar 1 menunjukkan prosedur optimasi penalaan parameter PSS dan penempatannya. Diagram alir dari optimasi penalaan dan penempatan PSS ditunjukkan dalam Gambar 2.

Nilai *inequality constraints* mempunyai kriteria seperti dinyatakan dalam Tabel 2 yang digunakan dalam penalaan PSS. K_{pss} (*gain*) berfungsi untuk mengatur besar penguatan agar diperoleh besaran torsi sesuai dengan yang diinginkan. Nilai T_w sebagai *washout filter* diset bernilai 10 dan berfungsi untuk menyediakan bias keadaan tunak keluaran PSS yang akan memodifikasi tegangan terminal generator. T_1 - T_4 digunakan untuk kompensasi kelambatan fasa yang dihasilkan oleh AVR dan rangkaian medan generator.

FPA diterapkan dengan melakukan idealisasi dari karakteristik fenomena penyerbukan bunga, fenomena *flower constancy*, dan kelakuan organisme penyerbuk dengan aturan-aturan, yaitu 1) penyerbukan biotik dan penyerbukan silang dipandang sebagai penyerbukan global dengan organisme penyerbuk pembawa serbuk sari yang melakukan gerakan *levy flights*, 2)



Gambar 1. Representasi prosedur optimasi



Gambar 2. Diagram alir penelitian

penyerbukan abiotik dan penyerbukan sendiri dipandang sebagai penyerbukan lokal, 3) *flower*

Algoritma 1. Algoritma FPA

- 1: Objektif min atau max $f(x), x = (x_1, x_2, \dots, x_d)$
- 2: Inisiasi populasi n bunga sebagai solusi acak
- 3: Temukan solusi terbaik g^* di populasi awal
- 4: Definisikan switch probability $1 \leq P_{plo} \leq C_m^N$
- 5: Definisikan kriteria berhenti (akurasi/iterasi maksimum)
- 6: **while** ($t < \text{Iterasi Maksimum}$)
- 7: **for** $i=1:n$ (seluruh n bunga dari populasi)
- 8: **if** $\text{rand} < p$,
- 9: Ambil vektor langkah L berdimensi d yang memenuhi distribusi Levy
- 10: Penyerbukan global $x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(x_i^t - g^*)$
- 11: **else**
- 12: Ambil ϵ dari distribusi uniform $(0,1)$
- 13: Lakukan penyerbukan lokal $x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon(x_j^t - x_k^t)$
- 14: **end if**
- 15: Evaluasi solusi baru
- 16: Jika solusi yang baru lebih baik, perbarui solusi ini ke dalam populasi
- 17: **end for**
- 18: Temukan solusi terbaik g^*
- 19: **end while**
- 20: Tampilkan solusi terbaik yang ditemukan

constancy dipandang sebagai peluang reproduksi yang proporsional dengan similaritas dari dua bunga yang terlibat, dan 4) penyerbukan lokal dan global diatur oleh peluang berpindah. Penerapan FPA tersebut mengikuti analogi seperti dinyatakan dalam Tabel 3. FPA ini memberikan hasil yang paling cocok dan dapat dinyatakan dengan Persamaan 3. Nilai x_i^t menyatakan serbuk sari i atau vektor solusi x_i pada iterasi t , dan g^* adalah solusi terbaik di iterasi yang sedang berlangsung. Parameter L adalah kekuatan penyerbukan dan merupakan besar langkah. Pseudocode FPA ini dinyatakan dalam Algoritma 1.

Tabel 3. Analogi FPA dan penyerbukan bunga [19]

Masalah Optimasi:	
$max\ atau\ min\ f(x_i), x_i = (x_1, x_2, \dots, x_3) \in S^d \subset R^d, i=1,2,..$	
Fenomena Penyerbukan	Permasalahan Optimasi
Daerah Cakupan Penyerbukan	Interval Nilai $S^d, x \in S^d$
Populasi Bunga	Kandidat Solusi (x_1, x_2, \dots, x_3)
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif
Kejadian Usaha Penyerbukan	Iterasi
Gerak Penyerbukan Bunga	Pencarian Solusi pada Daerah Definisi
Dipilihnya Individu yang Cocok	Keadaan Optimum

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(x_i^t - g^*) \quad (3)$$

Penalaan PSS menggunakan FPA ditentukan oleh nilai rasio damping ζ yang dinyatakan dalam Persamaan 4. Parameter σ menunjukkan komponen riil dari nilai *eigen*, sedangkan ω komponen imajiner dari nilai *eigen*. Nilai keseluruhan damping sistem dari keseluruhan jumlah nilai *eigen* n diketahui dari nilai *Comprehensive Damping Index* (CDI), yang dinyatakan dalam Persamaan 5.

$$\zeta_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (4)$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \quad (5)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus yang digunakan adalah adanya gangguan berupa perubahan beban pada sistem, dan selanjutnya dianalisis bagaimana respons frekuensi dan sudut rotor generator Pajalesang, sebelum dan setelah penambahan PSS yang ditala menggunakan FPA. Generator Pajalesang ini merupakan salah satu dari 16 unit pembangkit di sistem kelistrikan Sulselrabar. Sistem kelistrikan ini beroperasi pada tegangan 150 kV serta terdiri dari 37 Bus dan 46 saluran yang menghubungkan pusat-pusat beban besar, seperti Makassar, Pangkep, Maros, Barru, Pare-Pare, Pinrang, Polmas, Majene dan Mamuju (Gambar 3).

Algoritma penyerbukan bunga bekerja untuk memaksimalkan damping minimum (ζ_{min}). Optimasi serupa terhadap sistem kelistrikan ini telah dilakukan dalam [1]-[8]. Pemodelan linier sistem diberikan input gangguan perubahan permintaan beban sebesar 0.05 pu. Perubahan beban ini mengakibatkan perubahan di sisi beban dan menyebabkan $P_m < P_e$ sehingga ω dan δ generator akan turun seperti dinyatakan dalam Persamaan 6.

$$MW = P_m - P_e - D\omega \quad (6)$$

Analisis sistem dimulai dengan melihat profil tegangan pada kondisi normal atau sebelum

Tabel 4. Magnitudo dan sudut tegangan [6]

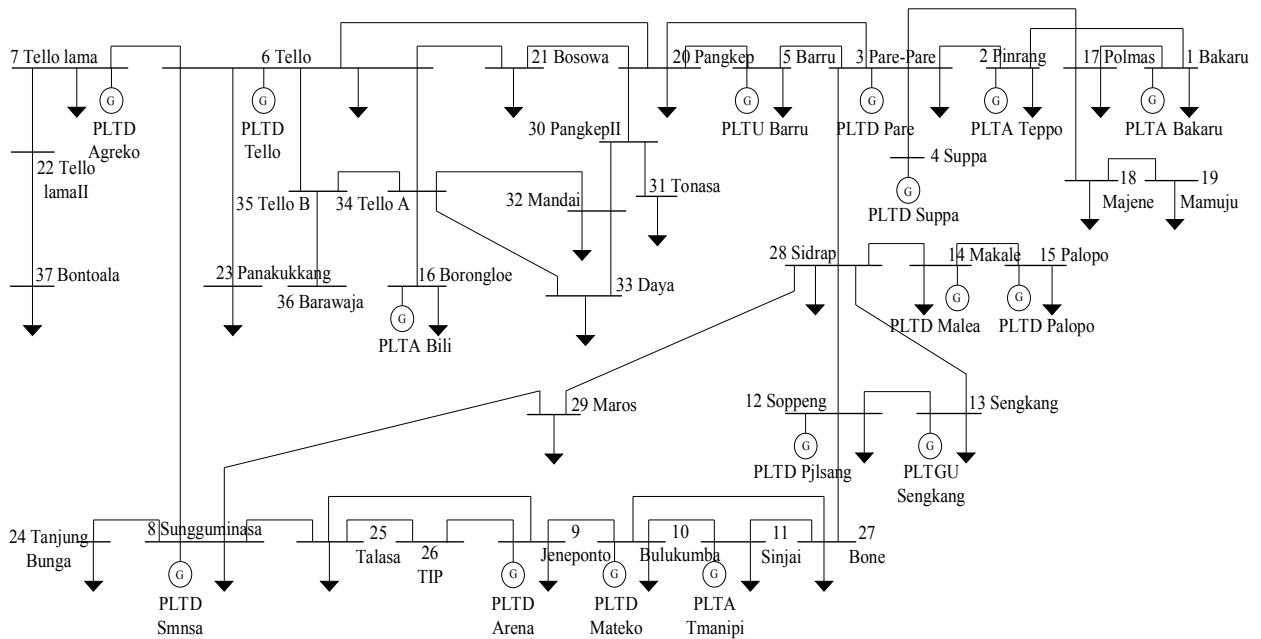
No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ($^\circ$)	No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ($^\circ$)
1	1,000	0.000	20	0,979	-16.450
2	1,000	-3.869	21	0,983	-18.428
3	1,000	-5.124	22	0,987	-21.176
4	1,000	-4.041	23	0,960	-23.033
5	1,000	-9.839	24	0,993	-20.956
6	1,000	-20.793	25	0,994	-19.485
7	1,000	-21.192	26	0,994	-18.453
8	1,000	-20.221	27	0,990	-8.949
9	1,000	-16.359	28	0,992	-4.600
10	1,000	-13.152	29	0,992	-17.723
11	1,000	-11.792	30	0,960	-16.091
12	1,000	-2.500	31	0,933	-17.110
13	1,000	2.915	32	0,980	-21.261
14	1,000	-11.380	33	0,984	-21.251
15	1,000	-13.389	34	0,993	-20.728
16	1,000	-20.966	35	0,996	-20.760
17	0,992	-3.072	36	0,996	-20.760
18	0,974	-5.217	37	0,975	-22.476
19	0,965	-6.386			

Tabel 5. Hasil optimasi parameter PSS PLTD Pajalesang Soppeng dengan FPA, algoritma kelelawar dan trial & error

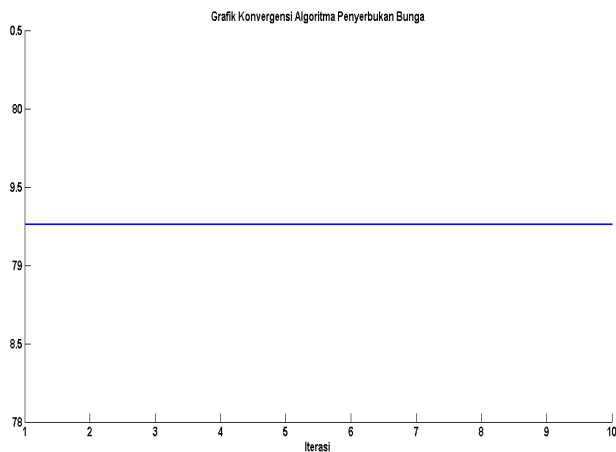
Algoritma	Kpss	T1	T2	T3	T4
FPA	8.5956	0.0247	0.2484	0.4776	0.8827
Kelelawar	26.2916	0.0209	0.0082	0.4831	1.1284
Trial&Error	43.9800	0.0400	0.0200	0.4073	1.0000

pemasangan PSS. Profil tegangan sebelum pemasangan PSS ditunjukkan dalam Tabel 4. Parameter PSS ditala dengan menggunakan FPA dan dibandingkan dengan metode trial & error dan algoritma kelelawar. Model algoritma kelelawar menggunakan seperti dalam [5] dan [6]. Hasil optimasi parameter PSS dengan menggunakan ketiga algoritma tersebut seperti ditunjukkan dalam Tabel 5. Nilai fungsi objektif (*fitness*) dari FPA diperoleh 79.2601 dengan iterasi 10 (Gambar 4), sedangkan untuk algoritma kelelawar adalah 74.77 (Gambar 5). Nilai *fitness* dengan algoritma kelelawar dalam sistem ini hampir sama dengan PSS di Bakaru [6], yaitu sebesar 75,8 dan menunjukkan FPA lebih baik daripada algoritma kelelawar. Selain itu, algoritma FPA tidak memerlukan iterasi yang lama sampai menemukan nilai optimal dibandingkan algoritma kelelawar [17]-[19].

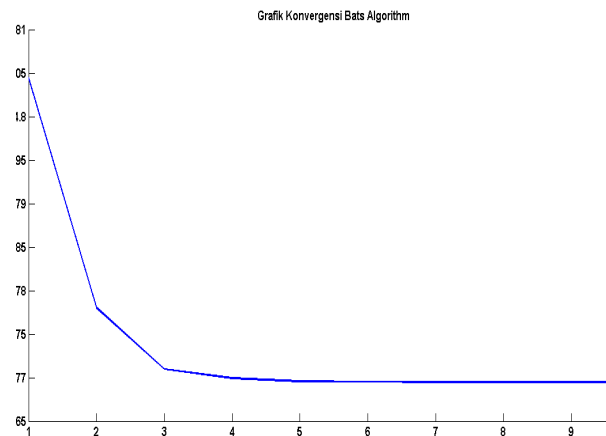
Respons deviasi kecepatan ($\Delta\omega$) dan sudut rotor dari generator diamati setelah penempatan dan penalaan optimal PSS pada generator Pajalesang. *Overshoot* deviasi kecepatan dari generator sebelum dan setelah pemasangan PSS dengan 3 metode penalaan dianalisis perbedaannya. Perbandingan deviasi kecepatan generator ditunjukkan dalam Tabel 6. *Overshoot* terkecil didapatkan dari FPA dibandingkan algoritma



Gambar 3. Single line diagram dari sistem Sulselabar



Gambar 4. Konvergensi FPA dengan 10 iterasi



Gambar 5. Konvergensi algoritma kelelawar dengan 10 iterasi

Tabel 6. Overshoot deviasi kecepatan generator Pajalesang

No PSS	PSS Trial	PSS Bat	PSS FPA
0.01152	0.007014	0.003972	0.002149
& -0.0248	& -0.02174	& -0.01865	& -0.01678

lainnya. Overshoot ini menunjukkan respons osilasi kecepatan generator saat diberi gangguan berupa perubahan beban dan yang lebih cepat kembali ke keadaan tunak adalah generator yang menggunakan PSS yang ditala dengan FPA.

Kestabilan sistem dilihat pada nilai *eigen* sistem. Nilai *eigen* kritis dari sistem ditunjukkan dalam Tabel 7. Berdasarkan nilai *eigen* tersebut, dengan pemasangan PSS dan penalaan parameter PSS yang optimal

dihasilkan nilai *eigen* yang semakin membaik yaitu dengan semakin negatifnya nilai *eigen*. Respons dari masing-masing generator dalam memberikan sumbangan osilasi dengan mode inter-area dan lokal ditunjukkan dalam Tabel 8. Respons mode osilasi tersebut juga dianalisis menggunakan nilai *eigen*, yaitu semakin minus menunjukkan yang paling baik. Generator dengan PSS FPA memberikan respons yang lebih baik daripada generator lain baik dalam mode osilasi inter-area maupun lokal.

Respons sistem untuk kondisi setelah pemasangan PSS ditunjukkan dalam Gambar 5 (deviasi kecepatan) dan Gambar 6 (variasi sudut rotor). Respons deviasi kecepatan ($\Delta\omega$) dan sudut rotor generator Pajalesang Soppeng ketika terjadi gangguan berupa penambahan beban sebesar 0.05 pu tersebut menunjukkan performansi PSS. Besar osilasi *overshoot* yang terjadi

Tabel 7. Nilai kritis *eigen* dari sistem

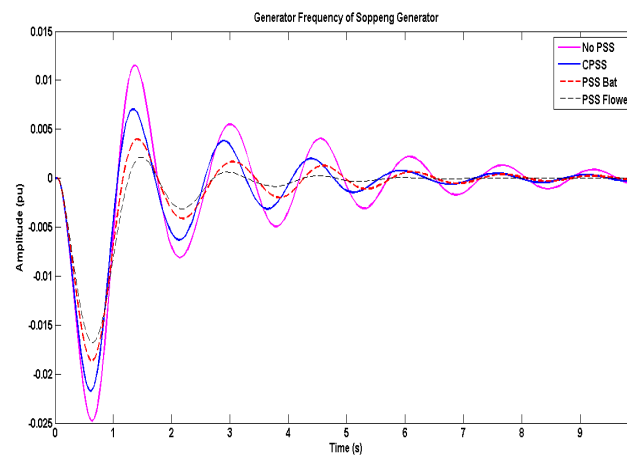
No. PSS	PSS Trial	PSS Bat	PSS FPA
-0.1266 + 4.3273i	-0.1971 + 4.4641i	-0.1972 + 4.4639i	-0.1973 + 4.4646i
-0.0853 + 4.1574i	-0.1965 + 4.3135i	-0.1969 + 4.3142i	-0.1970 + 4.3146i
-0.1965 + 4.3135i	-0.2620 + 4.1920i	-0.2625 + 4.1929i	-0.2799 + 4.2144i
-0.0033 - 0.0408i	-0.0039 - 0.0416i	0.0081 - 0.0660i	0.0339 - 0.0639i

Tabel 8. Mode osilasi inter-area dan area lokal

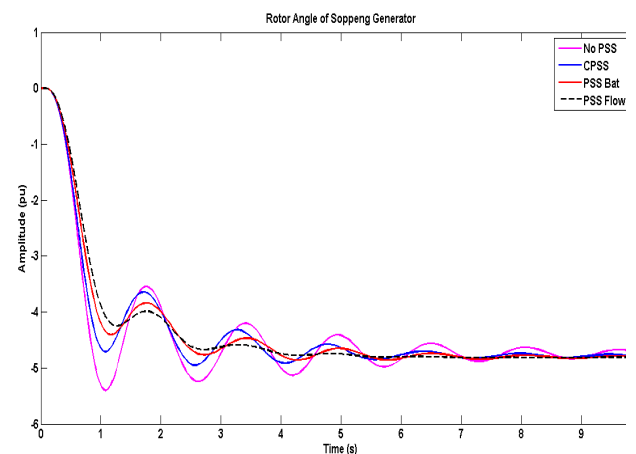
Mode Osilasi	No PSS	PSS Trial	PSS Bat	PSS FPA	
Inter-Area	-0.3293 + 4.0844i	-0.3866 + 4.1585i	-0.3998 + 4.1319i	-0.8193 + 4.1117i	
	-0.4445 + 4.6156i	-0.4115 + 4.8611i	-0.3998 + 4.1319i	-0.8193 + 4.1117i	
	-0.5049 + 4.5409i	-0.5265 + 4.7428i	-0.5485 + 4.6249i	-0.7139 + 4.5911i	
	-0.5121 + 4.5346i	-1.1615 + 4.8375i	-0.9558 + 4.8517i	-2.1247 + 4.2097i	
	Lokal	-0.9043 + 7.9670i	-0.9777 + 8.0685i	-1.3357 + 9.6487i	-1.7300 + 11.1800i
		-1.0640 + 7.0827i	-1.4331 + 7.6725i	-3.4321 + 8.9903i	3.3900 + 6.3900i
-0.8539 + 6.9713i		-0.8813 + 6.5170i	-1.2971 + 8.0693i	-1.2900 + 8.2600i	
-1.4632 + 6.2010i		-1.4562 + 6.2509i	0.8059 + 6.6000i	-1.9900 + 7.2600i	
-0.7864 + 5.3303i		-1.3826 + 5.9581i	-1.5896 + 7.0991i	-2.5200 + 6.4500i	
-1.2476 + 5.8462i		-0.8172 + 5.4685i	-1.3056 + 5.9783i	-1.5600 + 5.7200i	
-0.9347 + 5.5081i		-0.9577 + 5.5469i	-1.2159 + 5.6866i	-1.5500 + 5.1800i	
-1.1487 + 5.6546i		-1.1404 + 5.6963i	-1.3738 + 5.3179i	-1.9700 + 5.0500i	
-0.9912 + 5.4670i		-1.1799 + 5.7046i	-1.3519 + 5.5805i	-1.7600 + 5.4000i	
-1.1527 + 5.6600i		-1.1096 + 5.5396i	-1.2857 + 5.5425i	-1.6400 + 5.3800i	

tanpa pemasangan PSS adalah sebesar 0.01152 pu sampai -0.0248 pu, dengan menggunakan PSS *trial* sebesar 0.007014 pu sampai -0.02174 pu, dengan menggunakan PSS algoritma kelelawar sebesar 0.003972 pu sampai -0.01865 pu, dan dengan menggunakan metode yang diusulkan PSS FPA sebesar 0.002149 pu sampai -0.01678 pu.

PSS FPA mempunyai respons paling baik dibandingkan tanpa PSS dan dengan PSS *trial* dan PSS kelelawar, seperti yang digunakan dalam [5], [6]. *Settling time* yang dihasilkan juga semakin cepat menuju ke kondisi tunak saat diberikan perubahan beban dengan menggunakan PSS FPA dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol dan PSS dengan penalaan lain. Kinerja PSS FPA ini juga mempunyai respons yang lebih baik dalam konversi daya listrik di turbin angin dibandingkan menggunakan PSS PSO [19].



Gambar 6. Deviasi kecepatan ($\Delta\omega$) generator Pajalesang Soppeng



Gambar 7. Variasi sudut rotor generator Pajalesang Soppeng

IV. KESIMPULAN

Kinerja generator Pajalesang Soppeng saat diberikan tambahan beban menunjukkan respons deviasi kecepatan ($\Delta\omega$) dan sudut rotor yang lebih baik saat menggunakan PSS FPA dibandingkan tanpa PSS dan menggunakan PSS *trial* dan PSS algoritma kelelawar. Penalaan PSS FPA optimal adalah dengan $K_{pss}=8.5956$, $T_1=0.0247$, $T_2=0.2484$, $T_3=0.4776$ dan $T_4=0.8827$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Djalal, D. Ajiatmo, A. Imran, and I. Robandi, "Desain Optimal Kontroler PID Motor DC Menggunakan Cuckoo Search Algorithm," dalam Prosiding *SENTIA 2015*, vol. 7, 2015.
- [2] M. R. Djalal, and M. A. Haikal, "Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV

- Sulawesi Selatan)," *Jurnal Teknik Mesin SINERGI*, vol. 12, no.1, pp. 35-49, 2014.
- [3] M. R. Djalal, H. Nawir, H. Setiadi, and A. Imran, "An Approach Transient Stability Analysis Using Equivalent Impedance Modified in 150 kV South of Sulawesi System," *Journal of Electrical and Electronic Engineering UMSIDA*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [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 *2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 2015, pp. 147-152.
- [5] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Nawir, and A. Imran, "Application of Smart Bats Algorithm for Optimal Design of Power Stabilizer System at Sengkang Power Plant," *International Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 1, no. 2, pp. 47-53, 2017.
- [6] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Nawir, and A. Imran, "Optimal Design of Power System Stabilizer In Bakar Power Plant Using Bat Algorithm," *Journal of Electrical and Electronic Engineering UMSIDA*, vol. 1, no. 2, pp. 7-12, 2017.
- [7] M. Y. Yunus, M. R. Djalal, and Marhatang, "Optimal Design Power System Stabilizer Using Firefly Algorithm in Interconnected 150 kV Sulsebar System, Indonesia," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 12, pp. 250-259, 2017.
- [8] M. R. Djalal and F. Faisal, "Intelligent Fuzzy Logic - Cuckoo Search Algorithm Method for Short-Term Electric Load Forecasting in 150 kV Sulsebar System," *Lontar Komputer: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 3, pp. 154-165, 2017.
- [9] A. Ameli, M. Farrokhifard, A. Ahmadifar, A. Safari, and H. A. Shayanfar, "Optimal Tuning of Power System Stabilizers in a Multi-machine System using Firefly Algorithm," in *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2013, pp. 461-466.
- [10] H. Shayeghi, A. Safari, and H. Shayanfar, "Multimachine Power System Stabilizers Design using PSO Algorithm," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 226-233, 2008.
- [11] K. Hongesombut, Y. Mitani, and K. Tsuji, "Power System Stabilizer Tuning in Multimachine Power System Based on a Minimum Phase Control Loop Method and Genetic Algorithm," in *Proc. of Power Systems Computation Conference*, 2002.
- [12] M. Jalali, R. Pouaghababa, and M. Nouhi, "Power System Stabilizers Optimization Based on Neural Network using linear Optimal Control," *University of Pitesti—Electronics and Computer Science, Scientific Bulletin*, vol. 8, no. 2, 2008.
- [13] R. Syahputra and I. Soesanti, "Power System Stabilizer Model Based on Fuzzy-PSO for Improving Power System Stability," in *2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, 2015, pp. 121-126.
- [14] M. M. Linda and N. K. Nair, "Optimal Design of Multi-machine Power System Stabilizer using Robust Ant Colony Optimization Technique," *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 34, pp. 829-840, 2012.
- [15] B. S. Theja, A. Raviteja, A. Rajasekhar, and A. Abraham, "Coordinated Design of Power System Stabilizer using Thyristor Controlled Series Compensator Controller: An Artificial Bee Colony Approach," in *2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2012, pp. 606-611.
- [16] D. Chitara, A. Swarnkar, N. Gupta, K. Niazi, and R. Bansal, "Optimal Tuning of Multimachine Power System Stabilizer using Cuckoo Search Algorithm," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 30, pp. 143-148, 2015.
- [17] K. M. Hassanin, A. A. Abdelsalam, and A. Y. Abdelaziz, "Optimal PMUs Placement for Full Observability of Electrical Power Systems using Flower Pollination Algorithm," in *2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, Canada, 2017.
- [18] T. Balachander, P. A. Jeyanthi, and D. Devaraj, "Short Term Hydro Thermal Scheduling using Flower Pollination Algorithm," in *2017 IEEE International Conference Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, India, 2017, pp. 1-5.
- [19] D. Lastomo, "Simulasi Pengendali Sudut Pitch Blade Pada Turbin Angin Dengan Flower Pollination Algorithm (FPA) untuk Mengoptimalkan Konversi Daya Listrik," Master Thesis, Institut Teknologi Surabaya, 2016.