

# Bat Intelligence For Tuning Power System Stabilizer at Barru Power Plant

Muhammad Ruswandi Djalal<sup>1</sup>, Andareas Pangkung<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>Department of Energy Generation Engineering  
State Polytechnic of Ujung Pandang  
Makassar, Indonesia  
E-mail : <sup>1</sup>wandi@poliupg.ac.id

Sonong<sup>3</sup>, Apollo<sup>4</sup>  
<sup>3,4</sup>Department of Conversion Energy Engineering  
State Polytechnic of Ujung Pandang  
Makassar, Indonesia  
E-mail : <sup>3</sup>sonong@poliupg.ac.id

**Abstrak** - Perubahan beban pada sistem tenaga tiba-tiba, dapat menyebabkan gangguan dinamis. Gangguan ini tidak dapat direspon dengan baik oleh generator, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas sistem yang dinamis, seperti terjadinya kecepatan osilasi dan sudut rotor. Kontrol eksitasi konvensional dan gubernur, juga tidak dapat memperbaiki osilasi, sehingga diperlukan pengendali tambahan seperti Power System Stabilizer (PSS). Dalam penggunaan PSS, ada beberapa masalah yang sering muncul, yaitu penyetelan parameter PSS yang benar. Dalam penelitian ini, kami mengusulkan metode komputasi cerdas berdasarkan algoritma bat, untuk menyetel parameter PSS. Dari hasil analisis dapat disimpulkan, kinerja kinerja generator barru meningkat dengan pemasangan Power System Stabilizer dengan parameter PSS optimal, dengan parameter masing-masing  $K_{pss} = 44,0828$ ,  $T_1 = 0,0284$ ,  $T_2 = 0,0146$ ,  $T_3 = 0,7818$ ,  $T_4 = 1,2816$ .

**Kata kunci:** Power System Stabilizer, Bat Algorithm, Overshoot, Settling Time, Speed

*Abstract - Changes in load on the power system suddenly, can cause dynamic disruption. This disturbance can not be responded well by the generator, so it can affect the system dynamic stability, such as the occurrence of oscillation speed and rotor angle. Conventional control of excitation and governor, also unable to repair the oscillations, so that additional controllers such as Power System Stabilizer (PSS) are required. In the use of PSS, there are several problems that often arise, namely the correct tuning of PSS parameters. In this research, we proposed a method of smart computing based on bat algorithm, for tuning PSS parameters. From the analysis results can be concluded, the performance performance of generator barru increased with the installation of Power System Stabilizer with optimal PSS parameter, with parameters respectively  $K_{pss} = 44.0828$ ,  $T_1 = 0.0284$ ,  $T_2 = 0.0146$ ,  $T_3 = 0.7818$ ,  $T_4 = 1.2816$ .*

**Keywords:** Power System Stabilizer, Bat Algorithm, Overshoot, Settling Time, Speed

## I PENDAHULUAN

Sebuah generator pada sistem tenaga listrik pada dasarnya membebaskan pengontrolan sepenuhnya pada governor dan eksitasi. Pada pengoperasiannya peralatan governor dan eksitasi bekerja secara bersama untuk melakukan control pada generator berdasarkan perubahan beban. Akan tetapi keterbatasan peralatan tersebut menyebabkan generator tidak bekerja secara optimal dalam melayani beban. Salah satu upaya yang dapat dilakukan

untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit adalah penambahan controller tambahan seperti Power System Stabilizer (PSS). PSS banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk memperbaiki kestabilan dinamik. PSS digunakan sebagai kontroler sistem eksitasi untuk menambahkan redaman pada osilasi rotor. Untuk menghasilkan komponen redaman PSS memproduksi komponen torsi elektrik yang sesuai dengan deviasi pada kecepatan rotor. PSS harus ditala dengan tepat, untuk membantu exciter dalam meredam osilasi.

Sistem kelistrikan Sulawesi selatan, tenggara, dan barat (Sulselrabar) merupakan suatu system yang besar. Sistem ini beroperasi pada tegangan 150 kV dengan beberapa pusat beban seperti Makassar, Barru, Maros, Pangkep, Pare-Pare, sampai Mamuju. Besarnya perkembangan konsumen menyebabkan system harus menyesuaikan. Salah satu masalah dalam sebuah system yang kompleks adalah permasalahan kestabilan. Gangguan seperti perubahan beban akan sering terjadi, yang menyebabkan system mengalami osilasi. Salah satu komponen system yang merasakan kejadian ini adalah generator. Pada system Sulselrabar terdapat beberapa generator pada setiap daerah pusat-pusat beban, seperti PLTU di Makassar - Barru, PLTD di Pare-Pare, PLTA di Pinrang, dan lain-lain. Studi kestabilan generator merupakan suatu hal yang diperlukan untuk melihat perilaku generator saat mengalami gangguan, sebagai upaya perencanaan operasi system.

Penerapan metode kecerdasan buatan pada system tenaga listrik sudah semakin banyak, dan menunjukkan hasil yang baik. Salah satu metode cerdas yang mengadopsi perilaku makhluk hidup adalah kecerdasan kelelawar. Perilaku kelelawar dalam mencari sumber makanan pada kegelapan malam, menjadikan suatu perilaku yang bias diadaptasikan dalam menyelesaikan suatu permasalahan optimasi yang memerlukan perhitungan yang berulang (iterasi). Algoritma ini dibuat oleh [1] pada tahun 2010, dan telah digunakan beberapa peneliti untuk menyelesaikan permasalahan optimasi.

Pada penelitian ini diusulkan suatu studi kestabilan generator pada generator barru. Barru merupakan salah satu pusat beban besar, dan mempunyai generator yang berkontribusi besar ke system Sulselrabar. Oleh karenanya penting untuk melihat karakteristik generator bbarru ketika

mengalami gangguan, dan sebagai solusi ditambahkan peralatan control tambahan PSS dengan penalaan berbasis

algoritma kelelawar. Penerapan algoritma kelelawar sebagai metode penalaan untuk PSS sudah banyak dilakukan pada beberapa system multi-machine, diantaranya [2-4] Beberapa studi yang pernah dilakukan pada system kelistrikan Sulselrabar diantaranya, aliran daya [5], hubung singkat [6], peramalan beban [7], kestabilan [3, 8, 9].

III MODEL SISTEM TENAGA

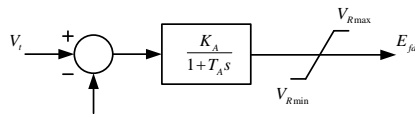
A. Pemodelan Generator

Pemodelan generator yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan transformasi park, generator sinkron dapat dimodelkan sebagai berikut [10].

$$\begin{bmatrix} \Delta v_d \\ -\Delta v_f \\ 0 \\ \Delta v_q \\ 0 \\ \Delta T_m \\ 0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & \omega v_{Lq} & \omega v_{M_Q} & \dot{\lambda}_{q0} & 0 \\ 0 & r_F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\omega v_{Ld} & -\omega v_{M_F} & -\omega v_{M_D} & r & 0 & -\dot{\lambda}_{d0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q & 0 & 0 \\ \frac{\dot{\lambda}_{q0} - L_{d1} \dot{q}_0}{3} & \frac{-kM_F \dot{q}_0}{3} & \frac{-kM_D \dot{q}_0}{3} & \frac{-kM_Q \dot{q}_0}{3} & \frac{kM_Q \dot{q}_0}{3} & -D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_f \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_d & kM_F & kM_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_F & L_F & M_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & kM_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kM_Q & L_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -r_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_f \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \end{bmatrix} \quad (1)$$

B. Pemodelan Eksitasi

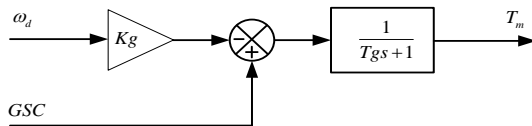
Pemodelan eksitasi ditampilkan pada gambar berikut, di mana eksitasi berfungsi untuk mengatur variabel output generator seperti, tegangan, arus dan pf [10].



Gambar 1. Block Diagram Exciter

C. Pemodelan Governor

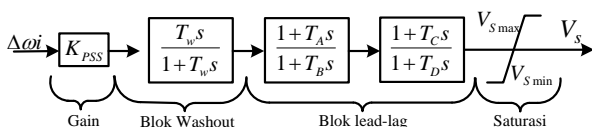
Peralatan governor berfungsi sebagai pengatur torsi mekanik yang menjadi input dari generator. Berikut pemodelan governor [10].



Gambar 2. Governor Modelling

D. Pemodelan Power System Stabilizer

Perangkat PSS digunakan sebagai damping tambahan untuk memproduksi torsi listrik. Berikut pemodelan PSS [11].



Gambar 3. Block Diagram PSS

II ALGORITMA KELEAWAR [12]

Kelelawar merupakan hewan yang sangat mengagumkan. Kelelawar merupakan satu-satunya binatang mamalia yang memiliki sayap untuk terbang dan mempunyai kemampuan canggih dalam ekolokasi. Kelelawar menggunakan tipe sonar yang disebut ekolokasi untuk mendeteksi makanan, menghindari rintangan dan mencari sarangnya dalam kegelapan. Kelelawar memancarkan pulsa bunyi dengan frekuensi tinggi dan mendengarkan gema yang memantul kembali dari objek

sekitarnya. Pulsa yang dipancarkan oleh kelelawar bervariasi dan dapat dihubungkan dengan strategi berburu hewan tersebut tergantung jenis spesies kelelawar itu. Kebanyakan kelelawar menggunakan frekuensi pendek sinyal termodulasi sekitar satu oktaf, sementara yang lain lebih sering menggunakan sinyal frekuensi konstan untuk ekolokasi. Sinyal bandwidth/lebar pita dapat bervariasi tergantung pada spesies dan seringkali dapat meningkat secara harmonik.

Meskipun masing-masing pulsa hanya berlangsung beberapa seper seribu detik (sekitar 8 sampai 10 ms), namun kelelawar memiliki frekuensi konstan di wilayah 25 kHz sampai 150 kHz. Kisaran frekuensi sebagian besar spesies kelelawar berada pada 25 kHz dan 100 kHz, meskipun beberapa spesies dapat memancarkan frekuensi hingga 150 kHz. Setiap pancaran suara ultrasonik 5 ms sampai 20 ms, kelelawar dapat memancarkan frekuensi 10 ms sampai 20 ms. Ketika berburu mangsa, tingkat emisi pulsa dapat meningkat hingga sekitar 200 pulsa per detik. Bahkan dalam studi menunjukkan waktu integrasi telinga kelelawar biasanya sekitar 300 mikro detik hingga 400 mikro detik. Kecepatan suara di udara v = 340 m/s, dengan lambda panjang gelombang dari pancara suara ultrasonik dengan frekuensi f konstan didapatkan lambda dimana jarak antara 2 mm sampai 14 mm dari frekuensi 25 kHz sampai 150 kHz. Panjang gelombang tersebut dalam ukuran mangsa yang sama.

Dengan kemampuan ekolokasi yang canggih kelelawar dapat terbang di kegelapan malam mencari makanan tanpa menabrak sesuatu apapun. Dari karakteristik ekolokasi kelelawar tersebut, dapat dikembangkan algoritma yang terinspirasi dari perilaku kelelawar didasarkan pada tiga aturan ideal sebagai berikut :

- Kelelawar menggunakan ekolokasi untuk mensensor jarak dan membedakan antara makanan dan rintangan bahkan didalam kegelapan.
- Kelelawar terbang secara acak untuk mencari makanan dengan kecepatan vi pada posisi xi dengan frekuensi tetap fi, variasi panjang gelombang lambda i, dan tingkat kebisingan (Ai) untuk mencari makanan.
- Tingkat kebisingan dapat bervariasi melalui beberapa cara, dapat diasumsikan tingkat

kebisingan bervariasi dari maksimum (positif) ( $A_0$ ) ke nilai konstan minimum ( $A_{min}$ ).

Untuk mensimulasikan *Bat Algorithm* kita telah menetapkan kaidah dimana posisi ( $x_i$ ), kecepatan ( $v_i$ ), dimensi ( $d_i$ ) untuk mencari jarak/ruang yang diperbarui. Solusi baru adalah  $x$  dan kecepatan  $v$  waktu  $t$  didapat persamaan berikut ini

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\beta \quad (2)$$

$$v \frac{t+1}{i} = v \frac{t}{i} + (x \frac{t}{i} - x) f_i \quad (3)$$

$$x \frac{t+1}{i} = v \frac{t}{i} + v \frac{t}{i} \quad (4)$$

$\beta \in [0,1]$  merupakan vektor acak yang diambil dari distribusi seragam. Disini  $x^*$  lokasi terbaik dari (solusi) seluruh kelelawar setelah membandingkan semua solusi diantara semua kelelawar  $n$  pada setiap iterasi  $t$ . Sebagai hasil perkalian antara  $\lambda_i f_i$  adalah kenaikan kecepatan.  $f_i$  atau ( $\lambda_i$ ) dapat digunakan untuk menyesuaikan perubahan kecepatan sementara  $\lambda_i$  (or  $f_i$ ) memperbaiki factor yang lain, tergantung jenis persoalan yang akan diselesaikan. Dalam implementasi, kita akan menggunakan  $f_{min} = 0$  dan  $f_{max} = 0$  (1), tergantung dari ukuran masalah yang dominan pada penyelesaian. Tahapan awal setiap kelelawar diambil frekuensi acak secara seragam dari [ $f_{max}$ ,  $f_{min}$ ].

Untuk bagian pencarian lokasi, salah satu solusi yang dipilih adalah diantara solusi yang terbaik, untuk mendapatkan solusi baru setiap kelelawar membangkitkannya ditempat menggunakan *random walk*

$$x_{new} = x_{old} + \epsilon A^t \quad (5)$$

Dimana  $\epsilon$  merupakan vektor acak yang diambil dari [-1, 1], sementara itu  $A^t$  adalah jumlah kenyaringan semua kelelawar setiap waktu.

Langkah utama dari BA adalah dimulai dari inisialisasi populasi sekumpulan kelelawar yang masing – masing ditentukan oleh posisi awal sebagai solusi awal. Populasi sekumpulan kelelawar membangkitkan pulsa dan kebisingan secara acak serta menentukan frekuensi. Selama proses berulang/*looping* kelelawar akan bergerak dari solusi awal menuju solusi terbaik. Setelah pindah, jika ada kelelawar menemukan solusi yang lebih baik, maka kelelawar akan memperbarui tingkat pancaran pulsa dan kebisingan. Selama proses iterasi solusi terbaik selalu diperbarui. Proses iterasi diulang sampai kriteria berhenti dan kriteria solusi terbaik telah terpenuhi. Solusi terbaik adalah solusi bagi permasalahan yang diselesaikan oleh melalui proses algoritma ini.

Berikut ini adalah *Pseudo code* dari *Algoritma kelelawar* adalah sebagai berikut [12]:

*Fungsi Objektif*  $f(x)$ , dengan  $x=(x_1, \dots, x_n)$

*Inisialisasi populasi Bat algorithm*  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ ,

dan  $v_i$  secara acak

*Definisikan frekuensi*  $f_i$  dengan merujuk pada  $x_i$

*Inisialisasi tingkat pulsa*  $r_i$  dan *loudness* (kebisingan)

$A_i$  secara acak

**While** ( $t < \text{Maksimum Iterasi}$ )

Bangkitkan solusi baru dengan mengatur frekuensi

Perbarui kecepatan dan lokasi/ solusi

menggunakan persamaan berikut,

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min}) \beta,$$

$$v = v + (x - x^*) f_i,$$

$$x = x + v,$$

**if**  $rand > r_i$

Pilih solusi dari yang terbaik

Bangkitkan solusi lokal dari solusi terbaik yang terpilih

**end if**

**if** ( $rand < A_i$ ) && ( $f(x_i) < f(x^*)$ )

Didapatkan solusi baru

Naikkan nilai  $r_i$  dan kurangi nilai  $A_i$

**end if**

**end while**

#### IV FUNGSI OBYEK

Untuk melihat respon system, model linier system dibentuk kedalam persamaan state space berikut.

$$\Delta \dot{x} = A \Delta x + B \Delta u \quad (2)$$

$$\Delta y = C \Delta x + D \Delta u \quad (3)$$

Dari matriks A di atas, eigenvalue system dapat diketahui dan kestabilan system juga dapat diketahui. Berdasarkan eigenvalue system tersebut, selanjutnya dievaluasi berdasarkan Comprehensive Damping Index (CDI), dengan persamaan berikut.

$$\lambda_i = \sigma_i + j \omega_i \quad (4)$$

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \omega_i^2}} \quad (5)$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \quad (6)$$

Untuk mencari parameter PSS yang optimal, maka digunakan algoritma kelelawar untuk menala parameter PSS yaitu  $K_{pss}$ ,  $T_w$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , dan  $T_4$ . Hasil dari penalaan ini kemudian dianalisa untuk mendapatkan respon yang baik. Fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan system berdasarkan Comprehensive Damping Index (CDI). Parameter algoritma kelelawar yang digunakan dalam metode optimisasi ini secara lengkap ditunjukkan dalam Tabel berikut.

TABEL 1. PARAMETER ALGORITMA KELELAWAR

Parameter	Nilai
Populasi	35
Kebisingan	0.5
Rasio Pulsa	0.6
Alpha / Gamma	0.9
Freq Minimum	0
Freq Maksimum	100
Iterasi	50

Tabel 2 menunjukkan batasan penalaan parameter PSS, untuk nilai  $T_w = 10$ .

TABLE 2. PARAMETER ALGORITMA KELELAWAR

No	Parameter	Lower Limit	Upper Limit
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

V. HASIL & PEMBAHASAN

Untuk melihat kestabilan generator baru terlebih dahulu melihat profil aliran daya pada masing-masing bus. Data beban yang digunakan adalah tanggal 12 April 2012, pada beban puncak malam hari. Berikut aliran daya normal system Sulselrabar pada beban puncak malam hari.

TABLE 3. PROFIL ALIRAN DAYA NORMAL

Bus	Voltage (p.u)	Angle (°)	Bus	Voltage (p.u)	Angle (°)
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 3 menunjukkan profil aliran daya system Sulselrabar kondisi normal, di mana pada keadaan ini terjadi gangguan pada bus slack yang ada pada PLTA Bakaru sebesar 0.05 pu. Respon system yang akan ditinjau adalah system tanpa PSS dan system dengan PSS yang detuning menggunakan algoritma kelelawar.

Tabel 4 menunjukkan hasil penalaan parameter PSS dengan menggunakan algoritma kelelawar, masing-masing yaitu  $K_{pss}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , dan  $T_4$ .

TABLE 4. RESULTS OF OPTIMIZATION PSS PARAMETERS

$K_{pss}$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
44.0828	0.0284	0.0146	0.7818	1.2816

Setelah penambahan perangkat PSS, respon generator semakin membaik dengan overshoot yang semakin diredam dan osilasi sudut rotor yang lebih baik. Berikut perbandingan respon generator sebelum dan setelah

penambahan PSS yang dituning menggunakan algoritma kelelawar.

TABLE 5. RESPON OSILASI KECEPATAN GENERATOR BARRU

Generator	No PSS	PSS Bat
Barru	-0.08467 & 0.03666	-0.03627 & 0.0001224

Gambar 4 dan 5 menunjukkan respon kecepatan dan sudut rotor sebelum dan setelah penambahan PSS. Dari grafik perbandingan terlihat overshoot yang semakin diredam setelah penambahan PSS dan penalaan yang optimal, di mana untuk kondisi tanpa PSS respon system berosilasi sebesar -0.08467 pu to 0.03666 pu dan setelah penambahan PSS respon system semakin diredam yaitu sebesar -0.03627 pu to 0.0001224 pu. Sedangkan settling time juga semakin membaik dengan kondisi system yang semakin cepat menuju ke kondisi steady state.

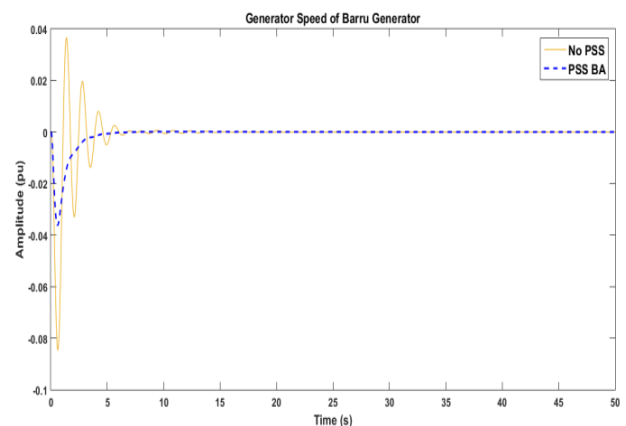


Figure 4. Speed Deviation ( $\Delta\omega$ ) G. Barru

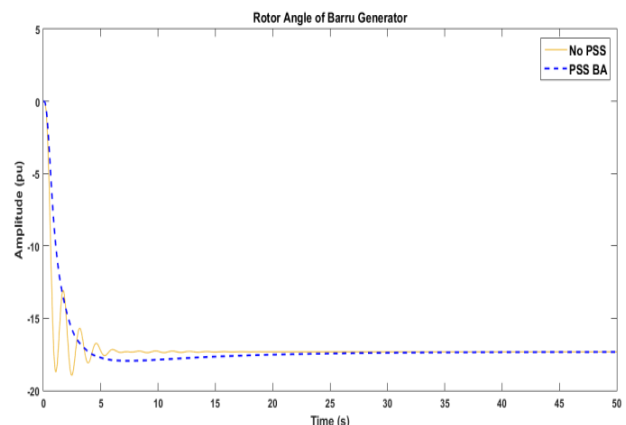


Figure 5. Variations of Angle Rotor G. Barru

VI KESIMPULAN

Dari hasil analisa algoritma kelelawar dapat dengan baik melakukan penalaan parameter PSS, dengan nilai masing-masing sebesar  $K_{pss} = 44.0828$ ,  $T_1 = 0.0284$ ,  $T_2 = 0.0146$ ,  $T_3 = 0.7818$ ,  $T_4 = 1.2816$ . Kondisi generator yang diusulkan adalah beroperasi dengan controller tambahan, yaitu dengan penambahan PSS.

Overshoot yang dihasilkan semakin diredam setelah penambahan PSS dan penalaan yang optimal, di mana untuk kondisi tanpa PSS respon system berosilasi sebesar -0.08467 pu to 0.03666 pu dan setelah penambahan PSS respon system semakin diredam yaitu sebesar -0.03627 pu to 0.0001224 pu. Sedangkan settling time juga semakin membaik dengan kondisi system yang semakin cepat menuju ke kondisi steady state.

## VII REFERENSI

- [1] X.-S. Yang, "A new metaheuristic bat-inspired algorithm," *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)*, pp. 65-74, 2010.
- [2] D. Sambariya, R. Gupta, and R. Prasad, "Design of optimal input–output scaling factors based fuzzy PSS using bat algorithm," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, pp. 991-1002, 2016.
- [3] M. R. Djalal, M. Y. Yunus, H. Nawir, and A. Imran, "Optimal Design of Power System Stabilizer In Bakaru Power Plant Using Bat Algorithm," *2017*, vol. 1, p. 6, 2017-11-10 2017.
- [4] B. V. Kumar and N. Srikanth, "Bat algorithm and firefly algorithm for improving dynamic stability of power systems using UPFC," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, p. 164, 2016.
- [5] M. R. Djalal, M. A. Haikal, T. M. P. N. U. Pandang, and T. E. I. P. Aceh, "Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan)," 2014.
- [6] H. Agil and M. R. Djalal, "Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulselrabar)," presented at the Nasread Universitas Darul 'Ulum Jombang, Teknik Elektro Universitas Darul 'Ulum Jombang, 2014.
- [7] M. R. Djalal and F. Faisal, "Intelligent Fuzzy Logic - Cuckoo Search Algorithm Method for Short-Term Electric Load Forecasting in 150 kV Sulselrabar System," *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, pp. 154-165% @ 2541-5832, 2017-12-05 2017.
- [8] 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.
- [9] 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, pp. 250-259, 2017.
- [10] P. Kundur, *Power system stability and control* vol. 7.
- [11] I. Robandi, "Modern Power System Control," *Penerbit ANDI, Yogyakarta*, 2009.
- [12] Suharto, "PENALAN POWER SYSTEM STABILIZER (PSS) UNTUK PERBAIKAN STABILITAS DINAMIK PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN BAT ALGORITHM (BA)," Undergraduate, ITS Surabaya, 2015.