

Optimasi Injeksi *Distributed Generation* Menggunakan Algoritma *Cat Swarm* *Optimization* dan *Krill Herd Algorithm*

Galuh Prawestri Citra Handani¹, Hadi Suyono², Rini Nur Hasanah³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Email: galuhpch@gmail.com, hadis@ub.ac.id, rini.hasanah@ub.ac.id

Abstract—The use of electricity as an effort to create green energy requires an action that supports efficient energy production by using one or more alternative energy that can be combined into a distributed energy source. The main problem of demand for energy sources is the quality of power associated with reducing the value of electric power losses and the value of voltage drops. The addition of distributed generation (DG) to the existing system is considered capable of reducing power quality problems. This study discusses DG injection optimization using the Cat Swarm Optimization algorithm and the Krill Herd Algorithm on Pujon Feeders. Optimization is done by applying 4 injection scenarios, that is injection of 1 bus, 2 buses, 3 buses, and 4 buses. The best results are obtained in the fourth scenario by injection at 4 bus locations. The application of CSO algorithm produces a power loss of 0.006 MW and KHA of 0.004 MW from before the injection of 0.043 MW. The percentage of power loss with CSO is 0.13% and the KHA is 0.08%. Improvements to the voltage profile with the two algorithms are rated better than before injection, which is above 0.96 p.u which meets the limit 0.95 p.u $V_{bus} \leq 1.05$ p.u. Overall, this study indicates that the KHA algorithm is better than the CSO algorithm.

Index Terms—Cat Swarm Optimization, Distributed Generation, electrical power losses, Krill Herd Algorithm.

Abstrak—Pemanfaatan energi listrik sebagai upaya menciptakan green energy memerlukan suatu tindakan yang mendukung produksi energi yang efisien dengan menggunakan satu atau lebih energi alternatif yang dapat digabungkan menjadi sumber energi terdistribusi. Permasalahan pokok permintaan sumber energi adalah kualitas daya yang berkaitan dengan pengurangan nilai rugi daya listrik dan nilai jatuh tegangan. Penambahan distributed generation (DG) pada sistem *eksisting* dinilai mampu mengurangi permasalahan kualitas daya. Penelitian ini membahas optimasi injeksi DG dengan menggunakan algoritma *Cat Swarm Optimization* dan *Krill Herd Algorithm* pada Penyulang Pujon. Optimasi dilakukan dengan menerapkan 4 skenario injeksi, yaitu injeksi 1 bus, 2 bus, 3 bus, dan 4 bus. Hasil terbaik diperoleh pada skenario keempat dengan injeksi pada 4 lokasi bus. Penerapan algoritma CSO menghasilkan rugi daya sebesar 0,006 MW dan KHA sebesar 0,004 MW dari sebelum injeksi yaitu 0,043 MW. Prosentase rugi daya dengan CSO adalah 0,13 % dan KHA sebesar 0,08 %. Perbaikan profil tegangan dengan kedua algoritma dinilai lebih baik dari sebelum injeksi yaitu di atas 0,96 p.u yang memenuhi batasan $0,95 \text{ p.u} \leq V_{bus} \leq 1,05 \text{ p.u}$. Secara keseluruhan, penelitian ini mengindikasikan bahwa algoritma KHA lebih baik daripada algoritma CSO.

Kata Kunci—Cat Swarm Optimization, Distributed Generation, rugi daya listrik, Krill Herd Algorithm.

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup manusia. Akibat semakin menipisnya ketersediaan sumber energi konvensional, maka perlu dilakukan pemberdayaan energi alternatif. Solusi yang dapat digunakan adalah melakukan interkoneksi sistem tenaga listrik dengan mengintegrasikan sistem *eksisting* dan sumber energi alternatif yang disebut *Distributed Generation* (DG) atau pembangkit tersebar. *Distributed Generation* adalah pembangkit tenaga listrik dalam jaringan distribusi atau di sisi pelanggan jaringan [1].

Pemilihan lokasi injeksi DG harus sesuai dengan skenario injeksi yang tepat melalui proses optimasi untuk meningkatkan kualitas daya. Penyelesaian injeksi DG harus memperhatikan aspek teknis dengan penggunaan metode penelitian. Metode penelitian merupakan meneliti dalam bentuk kegiatan bersifat rasional, empiris, dan sistematis untuk memperoleh data dan mencapai tujuan tertentu [2]. Metode optimasi terdiri dari metode heuristik dan metaheuristik. Metode heuristik merujuk pada proses mendapatkan sesuatu dari pengalaman sebelumnya. Metaheuristik adalah penyelesaian masalah dengan memberikan solusi terbaik, terdiri dari dua kriteria utama yaitu difersifikasi (pencarian solusi) dan intensifikasi (pemanfaatan solusi) [3].

Salah satu metode optimasi untuk injeksi DG adalah menggunakan metode pendekatan *swarm*. Penelitian pada sistem distribusi menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Cat Swarm Optimization* (CSO) menunjukkan bahwa CSO memiliki kinerja yang lebih baik dalam menemukan *economic dispatch* yang optimal daripada PSO [4]. Pengujian alokasi DG menggunakan algoritma *Genetic Algorithm* (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Krill Herd Algorithm* (KHA) diperoleh hasil pengurangan rugi daya yang signifikan dengan menerapkan KHA [5].

Penelitian ini berfokus pada penentuan lokasi injeksi DG di GI Sengkaling Penyulang Pujon dengan menggunakan pendekatan metode metaheuristik dengan algoritma *Cat Swarm Optimization* (CSO) dan *Krill Herd Algorithm* (KHA). Pemilihan kedua algoritma ini karena menurut pemaparan dan penelitian yang telah dilakukan,

memiliki tingkat keefektifan dalam penentuan nilai yang mendekati nilai yang diinginkan daripada penggunaan GA dan PSO. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan solusi dalam memperbaiki kualitas daya serta memberi dampak positif injeksi DG yang tepat.

II. DISTRIBUTED GENERATION (DG)

Distributed Generation adalah sumber energi tambahan yang digunakan untuk membantu memenuhi permintaan beban tinggi. DG menggunakan generator yang memiliki kapasitas daya lebih kecil dari pembangkit utama, cenderung lebih dekat dengan beban, serta menggunakan energi terbarukan yang dihubungkan pada jaringan distribusi. Pengelompokan DG berdasarkan kapasitas pembangkitannya dijelaskan pada Tabel I.

TABEL I
KLASIFIKASI DISTRIBUTED GENERATION

Klasifikasi Distributed Generation	Kapasitas Distributed Generation
Micro DG	~ 1 Watt < 5 kW
Small DG	5 kW < 5 MW
Medium DG	5 MW < 50 MW
Large DG	50 MW < ~ 300 MW

Permasalahan injeksi DG dapat diselesaikan menggunakan fungsi *fitness* dengan meminimalkan kerugian sistem, yang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Rugi\ sistem_{min} = \sum_s P_{gs} - \sum_t P_{dt} \quad (1)$$

dimana,

P_{gs} : daya pembangkitan generator s

P_{dt} : daya pembebanan t

III. CAT SWARM OPTIMIZATION (CSO)

Cat Swarm Optimization (CSO) dikembangkan pada tahun 2006 oleh Shu-Chuan Chu dan Pei-Wei Tsai. Algoritma CSO adalah algoritma optimasi yang mengamati perilaku kucing, berkaitan dengan perilaku pengamatan dan perburuan mangsa. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penyelesaian optimasi menggunakan algoritma CSO.

Algoritma CSO terdiri dari 2 mode, yaitu :

1. *Seeking mode* (mode pencarian)
 - Seeking mode* terbagi menjadi 4 sub bagian :
 - a. *Seeking Memory Pool* (SMP)

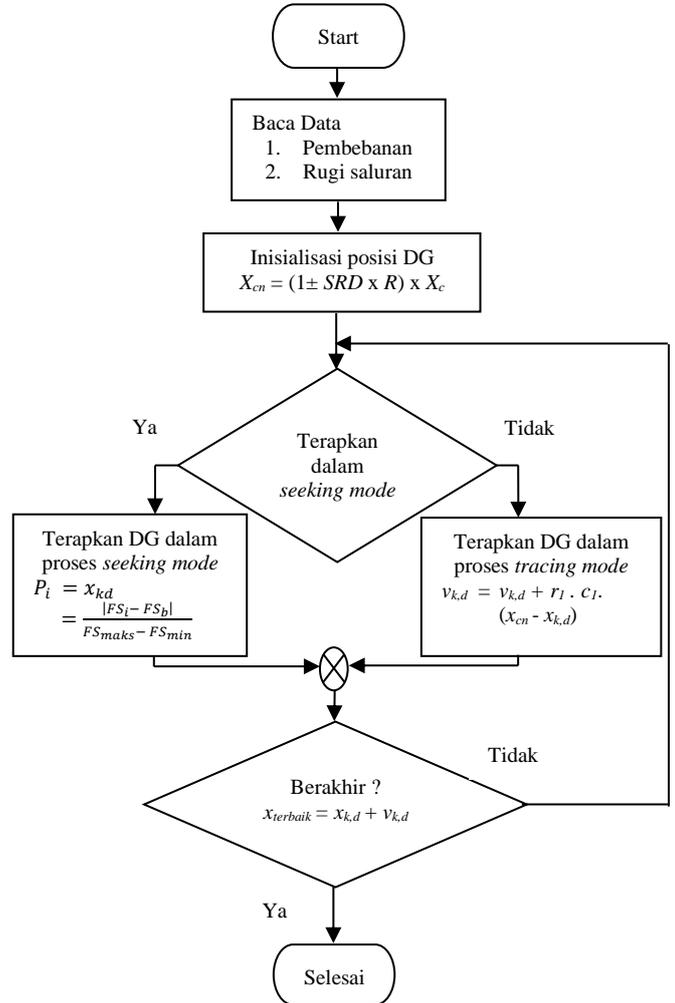
SMP menentukan ukuran memori kucing untuk menentukan jumlah solusi acak.
 - b. *Seeking Range of the selected Dimension* (SRD)

SRD menunjukkan mutasi untuk dimensi yang dipilih. Perbedaan nilai antara lama dan baru dari dimensi yang dipilih untuk mutasi memiliki kemungkinan yang tidak terlalu jauh.

- c. *Counts of Dimension to Change* (CDC)

CDC digunakan untuk menentukan banyaknya dimensi yang akan divariasikan.
- d. *Self Position Consideration* (SPC)

SPC merupakan nilai boolean (0 dan 1) yang mengindikasikan posisi perlu dipindahkan atau tidak.



Gambar 1. Diagram alir optimasi injeksi DG dengan CSO

- Tahapan *seeking mode* dituliskan sebagai berikut.
- (1) Membuat salinan j posisi saat ini kucing k , dimana $j = SMP$. Jika nilai *SPC* benar, misalkan $j = (SMP-1)$, maka simpan posisi saat ini sebagai satu dari kandidat.
 - (2) Untuk setiap salinan, berdasarkan *CDC*, secara acak plus atau minus nilai persentase *SRD* saat ini dan gantikan yang lama.

$$X_{cn} = (1 \pm SRD \times R) \times X_c \quad (2)$$
 dimana,
 - X_{cn} : posisi baru
 - R : nomor acak (antara 0 dan 1)
 - X_c : posisi saat ini
 - (3) Menghitung nilai *fitness* (FS) semua kandidat.
 - (4) Jika semua FS tidak sama persis, maka harus menghitung probabilitas ($P_i = x_{kd}$) yang dipilih dari setiap titik kandidat.

$$P_i = \frac{|FS_i - FS_b|}{FS_{maks} - FS_{min}} \quad (3)$$

dimana, $0 < i < j$

- P_i : probabilitas kucing saat ini
- FS_i : nilai fitness kucing
- FS_{maks} : nilai maksimum fungsi fitness
- FS_{min} : nilai minimum fungsi fitness
- $FS_b = FS_{maks}$: menemukan solusi minimum
- $FS_b = FS_{min}$: menemukan solusi maksimum

(5) Secara acak pilih berpindah dari titik kandidat dan gantikan posisi kucing k .

2. *Tracing mode* (mode pelacakan)

Langkah-langkah *tracing mode* dapat dijelaskan sebagai berikut.

(1) Perbarui kecepatan untuk setiap dimensi ($v_{k,d}$).

$$v_{k,d} = v_{k,d} + r_1 \cdot c_1 \cdot (x_{cn} - x_{k,d}) \quad (4)$$

(2) Cek jika kecepatan berada pada kisaran kecepatan maksimum. Dalam kasus kecepatan baru adalah melebihi kisaran, maka diatur sama dengan batasnya.

(3) Perbarui posisi kucing k .

$$x_{terbaik} = x_{k,d} + v_{k,d} \quad (5)$$

dimana

- $x_{terbaik,d}$: posisi kucing yang memiliki nilai fitness terbaik
- $x_{k,d}$: posisi kucing k
- c_1 : konstanta
- r_1 : nilai acak kisaran [0, 1]

IV. KRILL HERD ALGORITHM (KHA)

Krill Herd Algorithm (KHA) adalah pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang dikembangkan oleh Gandomi dan Alavi pada tahun 2012 dengan menggunakan *krill* sebagai objek pengamatan untuk menemukan solusi yang tepat. *Krill* adalah sejenis udang kecil di laut lepas dan tergolong spesies yang banyak dijadikan makanan oleh paus, cumi-cumi, maupun burung. Setiap individu *krill* dalam kelompoknya diamati pergerakannya dalam jarak antar individu dan jarak makanan yang dapat dibedakan menjadi 3 pergerakan, yaitu :

- a. Gerakan yang disebabkan kehadiran individu *krill* lainnya.
- b. Gerakan *krill* dalam pencarian makanan.
- c. Difusi fisik

Model Lagrangian digunakan untuk menggambarkan ketiga pergerakan *krill*, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{dx_i}{dt} = N_i + F_i + D_i \quad (6)$$

dimana,

- N_i : gerakan disebabkan individu *krill* lainnya
- F_i : gerakan *krill* dalam pencarian makanan
- D_i : difusi acak
- i : *krill* ke - ...
- t : generasi

Pergerakan pertama, dapat dituliskan sebagai berikut.

$$N_i^{baru} = N^{maks} \alpha_i + \omega_n N_i^{lama} \quad (7)$$

dimana,

- N_i^{baru} : pergerakan baru *krill*
- N^{maks} : kecepatan maksimum
- α_i : arah pergerakan *krill*
- ω_n : berat inersia dalam [0,1]
- N_i^{lama} : pergerakan *krill* sebelumnya

Pergerakan kedua, yaitu gerakan mencari makanan dipengaruhi lokasi makanan dan pengalaman sebelumnya berkaitan dengan lokasi makanan. Gerakan *krill* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_i = V_f \beta_i + \omega_f F_i^{lama} \quad (8)$$

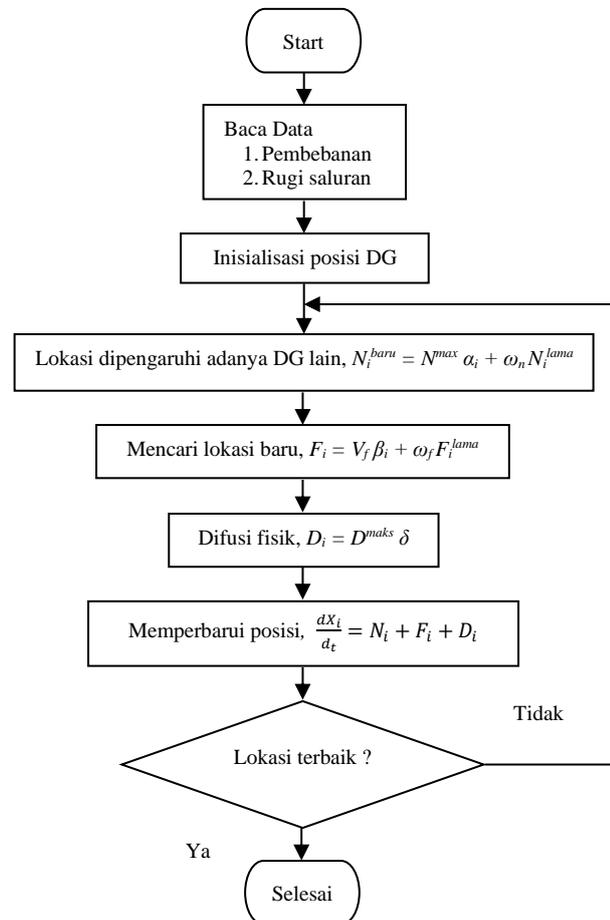
dimana,

- F_i : pergerakan *krill*
- V_f : kecepatan pencarian makanan
- β_i : arah pergerakan *krill*
- ω_f : berat inersia dalam [0,1]
- F_i^{lama} : pergerakan pencarian sebelumnya

Pergerakan ketiga, yaitu difusi fisik yang merupakan vektor acak dan tidak berkurang secara terus menerus dengan adanya peningkatan jumlah iterasi. Pergerakan berkaitan dengan kecepatan difusi maksimum dan vektor acak berikut ini.

$$D_i = D^{maks} \delta \quad (9)$$

Gambar 2 menunjukkan diagram alir penyelesaian optimasi menggunakan algoritma KHA.



Gambar 2. Diagram alir optimasi injeksi DG dengan KHA

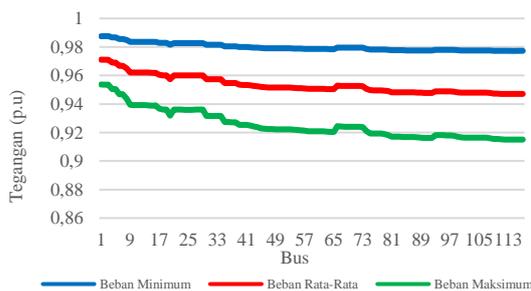
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi injeksi DG menggunakan data sistem distribusi radial 20 kV yang diperoleh dari PT. PLN APJ Malang Raya, terdiri dari 11 Gardu Induk (GI) dan 74 penyulang. GI Sengkaling terinterkoneksi dengan GI Kebonagung yang terhubung dengan dua buah transformator yaitu trafo III 150/20 kV yang memiliki kapasitas 30 MVA / 866 A dan trafo IV 150/20 kV dengan kapasitas 60 MVA / 1732 A. Trafo III melayani 4 penyulang antara lain Penyulang Junrejo, Penyulang Pujon, Penyulang Karangploso, dan Penyulang Wastra Indah dengan pembatas arus sebesar 300 A. Trafo IV melayani 4 penyulang berbeda yaitu Penyulang Seleкта, Penyulang Batu, Penyulang Tegalgondo, dan Penyulang Dinoyo dengan pembatas arus sebesar 320 A.

Penelitian ini menggunakan salah satu penyulang GI Sengkaling yaitu Penyulang Pujon. Pada penyulang Pujon yang dilayani oleh trafo III terdapat 71 unit gardu distribusi 20 kV/380 V dan panjang saluran distribusi sejauh 59,624 kms dengan total 117 bus. Saluran terpanjang adalah dari GI ke bus 1 sejauh 7,112 km, sedangkan saluran terpendek yaitu dari bus 91 ke bus 92 sejauh 0,016 km.

A. Aliran Daya Sebelum Optimasi

Proses optimasi injeksi DG memerlukan mempertimbangkan analisis aliran daya menggunakan algoritma Newton Raphson untuk mengetahui nilai parameter pada setiap bus. Parameter yang diperoleh antara lain tegangan dan daya. Langkah awal proses analisis aliran daya adalah menghitung kondisi beban minimum, beban rata-rata, dan beban maksimum. Perbandingan hasil perhitungan aliran daya sebelum injeksi DG dapat dilihat pada Gambar 3.

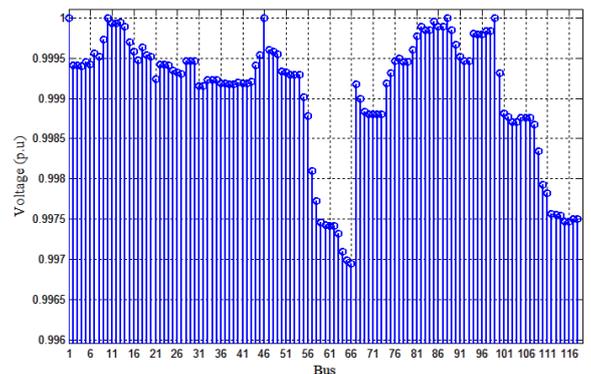


Gambar 3. Profil tegangan bus untuk kondisi beban minimum, rata-rata, dan maksimum

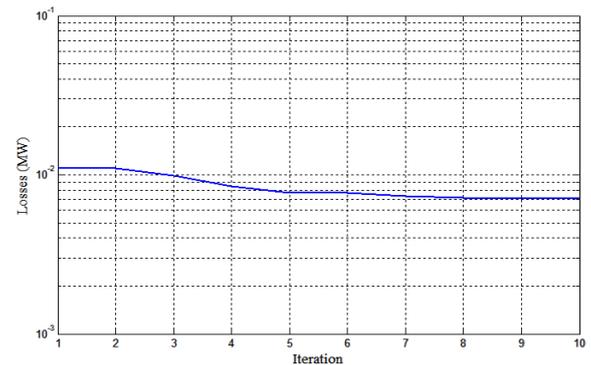
Besarnya nilai rugi daya kondisi beban maksimum dapat dijadikan acuan untuk pertimbangan penambahan DG. Hal ini dikarenakan kondisi beban maksimum memiliki indikasi penurunan profil tegangan lebih rendah jika dibandingkan dengan kondisi beban minimum maupun beban rata-rata. Maka dalam penelitian ini digunakan beban maksimum dalam proses optimasi injeksi DG.

B. Optimasi Injeksi Distributed Generation dengan Algoritma Cat Swarm Optimization

Proses optimasi dengan algoritma CSO dilakukan dengan menggunakan empat cara. Cara pertama yaitu skenario 1 dengan injeksi pada lokasi 1 bus, nilai daya injeksi adalah 20 % dari daya beban maksimum. Cara kedua adalah skenario 2 dengan injeksi pada lokasi 2 bus, daya injeksi sebesar 30 % dari daya beban maksimum. Cara ketiga adalah skenario 3 dengan injeksi pada 3 lokasi bus, daya injeksi 40 % dari daya beban maksimum. Cara keempat, injeksi pada 4 lokasi bus dengan injeksi daya 50 % dari daya beban maksimum. Setiap skenario dilakukan 15 kali percobaan untuk mendapatkan nilai total rugi daya, titik bus injeksi, serta daya DG yang diinjeksi. Hasil percobaan diperoleh skenario 4 merupakan skenario terbaik, karena terjadi penurunan rugi daya lebih tinggi daripada skenario 1, 2, dan 3. Gambar profil tegangan dan losses per bus untuk skenario 4 dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Profil tegangan bus algoritma CSO untuk skenario 4



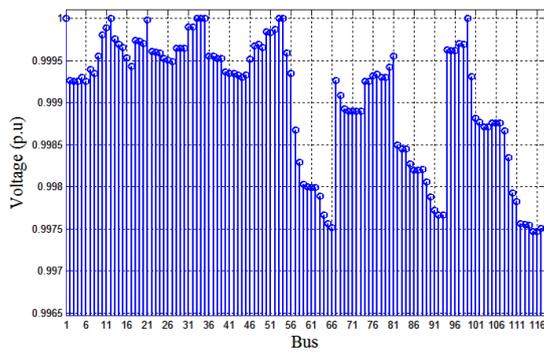
Gambar 5. Losses per iterasi algoritma CSO untuk skenario 4

Hasil optimasi pada skenario 4 menunjukkan bahwa injeksi DG ditempatkan pada bus 99, bus 10, bus 88 dan bus 46 dengan masing-masing daya sebesar 1,218 MW, 1,337 MW, 0,621 MW, dan 0,909 MW. Rugi daya aktif yang dihasilkan sebesar 0,006 MW dengan prosentase 0,13 % dan rugi daya reaktif sebesar 0,005 MVAR dengan prosentase 0,18 %. Lokasi bus diperoleh pada iterasi kedelapan dalam waktu 78,3 detik.

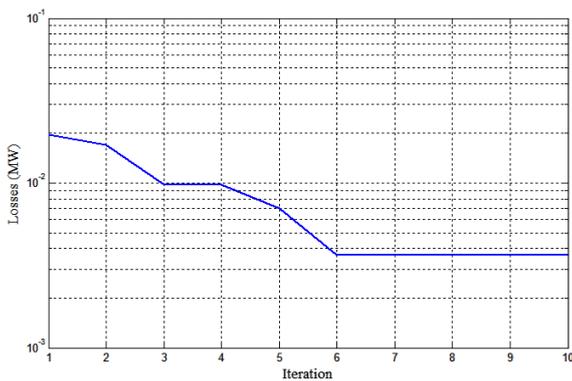
C. Optimasi Injeksi Distributed Generation dengan Krill Herd Algorithm

Krill Herd Algorithm adalah algoritma kedua dalam optimasi injeksi DG. Parameter KHA terdiri dari tiga hal utama yaitu berkaitan dengan perpindahan posisi antara lain parameter *movement effect* (pergerakan akibat individu lain), *foraging effect* (pergerakan akibat perubahan makanan), serta *diffusion effect* (pergerakan akibat lingkungan). Proses optimasi algoritma KHA juga menggunakan 4 skenario yang sama dengan CSO dan dilakukan dengan 15 kali percobaan. Hasil optimasi diperoleh skenario 4 adalah skenario terbaik untuk injeksi DG dengan batas bawah pembangkitan 0,5 kW dan batas atas pembangkitan 2,08 kW.

Injeksi DG ditempatkan pada bus 33, bus 99, bus 53 dan bus 12 dengan masing-masing daya sebesar 0,673 MW, 1,701 MW, 0,803 MW, dan 0,911 MW. Rugi daya aktif yang dihasilkan sebesar 0,004 MW dengan prosentase 0,08 % dan rugi daya reaktif sebesar 0,003 MVAR dengan prosentase 0,11 %. Lokasi bus diperoleh pada iterasi keenam dalam waktu 166,2 sekon. Penggambaran profil tegangan dan rugi daya ditampilkan pada 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Profil tegangan bus algoritma KHA untuk skenario 4



Gambar 7. Losses per iterasi algoritma KHA untuk skenario 4

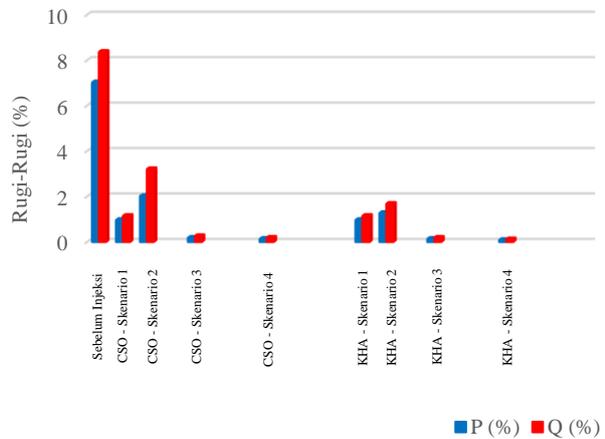
D. Analisis Perbandingan Algoritma Cat Swarm Optimization dan Krill Herd Algorithm

Analisis aliran daya sebelum injeksi DG diperoleh daya yang dibangkitkan sebesar 4,471 MW dan 2,811 MVAR. Daya pembebanan adalah 4,157 MW dan 2,576 MVAR dengan rugi daya aktif sebesar 0,314 MW dan daya reaktif sebesar 0,235 MVAR. Prosentase rugi daya aktif adalah 7,02 % dan rugi daya reaktif sebesar 8,36 %.

Algoritma optimasi CSO dan KHA digunakan untuk membandingkan lokasi terbaik injeksi DG. Selain itu, profil tegangan juga mengalami peningkatan dengan nilai yang berbeda yang memenuhi batasan $0,95 \text{ p.u.} \leq V_{bus} \leq 1,05 \text{ p.u.}$ Pada Tabel II dituliskan hasil perbandingan daya pembangkitan dan losses dari proses optimasi.

TABEL II
HASIL PERBANDINGAN ALGORITMA CSO DAN KHA

Algoritma	Skenario	Lokasi Bus	Injeksi DG		Rugi-Rugi		% Rugi-Rugi		Waktu Running (sekon)	
			P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (%)	Q (%)		
Tanpa DG	-	-	-	-	0,314	0,235	7,02	8,36	-	-
CSO	1	113	0,830	0,043	0,032	0,96	1,14	3	210,4	
		91	1,000	0,090	0,090	2,01	3,20	4	73,7	
	2	81	1,656	0,008	0,007	0,18	0,25	9	74,9	
		10	1,240							
		44	1,190							
		99	1,218							
	3	10	1,337	0,006	0,005	0,13	0,18	8	78,3	
		88	0,621							
		46	0,909							
		113	0,830							
	KHA	1	113	0,830	0,043	0,032	0,96	1,14	8	212,4
			88	1,250	0,057	0,047	1,27	1,67	2	97,6
2		111	1,250	0,006	0,005	0,13	0,18	5	93,1	
		67	1,469							
		10	1,555							
		100	1,198							
3		33	0,673	0,004	0,003	0,08	0,11	6	166,2	
		99	1,701							
		53	0,803							
		12	0,911							



Gambar 8. Hasil Perbandingan Skenario Algoritma CSO dan KHA

Tabel II menunjukkan adanya perbandingan daya pembangkitan. Pada skenario 1, daya pembangkitan dan rugi daya bernilai sama. Perbedaan terletak pada waktu iterasi, dimana KHA lebih lama daripada CSO. Pada skenario 2, 3, dan 4 terdapat selisih daya aktif maupun reaktif. Skenario 2 dengan algoritma CSO, pengurangan rugi daya aktif sebesar 2,01 % dan daya reaktif 3,02 %. Algoritma KHA, prosentase rugi daya aktif dan reaktif masing-masing sebesar 1,27 % dan 1,67 %.

Skenario 3 dengan penambahan 3 DG, didapatkan prosentase rugi daya sebesar 0,18 % dan 0,25 % dengan CSO. KHA menghasilkan rugi daya aktif 0,13 % dan rugi daya reaktif 0,18 %. Skenario 4, dengan menggunakan KHA diperoleh rugi daya aktif sebesar 0,08 % dan rugi daya reaktif sebesar 0,11 %. CSO menghasilkan rugi daya aktif maupun reaktif masing-masing sebesar 0,13 % dan 0,18 %. Penggambaran hasil optimasi keempat skenario dapat dilihat dalam Gambar 8.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan tentang optimasi injeksi *distributed generation* menggunakan algoritma *Cat Swarm Optimization* dan *Krill Herd Algorithm*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penentuan lokasi injeksi DG dilakukan dengan menerapkan 4 skenario injeksi, yakni injeksi 20 % dengan 1 lokasi bus, 30 % dengan 2 lokasi bus, 40 % dengan 3 lokasi bus, dan 50 % dengan 4 lokasi bus.
2. Rugi daya aktif dan reaktif sebelum adanya injeksi DG sebesar 0,314 MW dan 0,235 MVAR. Optimasi menggunakan skenario 1 algoritma CSO dan KHA menghasilkan nilai rugi daya dan lokasi bus yang sama. Skenario 2, CSO menghasilkan rugi daya aktif sebesar 2,01 %, sedangkan KHA sebesar 1,27 %. Skenario 3, prosentase rugi daya aktif CSO adalah 0,18 % dan KHA 0,13 %. Skenario 4, menghasilkan perbedaan rugi daya aktif CSO dan KHA masing-masing sebesar 0,13 % dan 0,08 %.
3. Secara keseluruhan, penerapan kedua algoritma dapat mengurangi rugi daya sistem dan memperbaiki profil tegangan. Algoritma KHA memiliki waktu *running* iterasi yang lebih lama

dari CSO, namun KHA dinilai lebih baik dari algoritma CSO karena menghasilkan pengurangan rugi daya yang lebih signifikan dari CSO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. 2000. *Distributed Generation : a Definition*. Electric Power System Research 57 (2001) 195-2014.
- [2] Semiawan, Conny R. 2010. *pcta Penelitian Kualitatif*. Jakarta: Grasindo.
- [3] Talbi, El-Ghazali. 2009. *Metaheuristics From Design To Implementation*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Hwang, J.C., Chen, J.C., Pan, J.S., & Huang, Y.C. 2010. *CSO Algorithm for Economic Dispatch Decision of Hybrid Generation System*. New Aspects of Applied Informatics, Biomedical Electronics & Informatics and Communications, ISBN : 978-960-474-216-5.
- [5] Sultana, Sneha & Roy P.K. 2015. *Krill Herd Algorithm for Optimal Location of Distributed Generator in Radial Distribution*.
- [6] Bhumkittipich, K. & Phuangsornpitak, W. 2013. *Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation for Power Loss Reduction using Particle Swarm Optimization*. Energi Procedia 34 (2013). Power and Energi System Research Centre, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand.
- [7] ChithraDevi, S.A., Lakshminarasimman, & L., Balamurugan, R. 2017. *Stud Krill Herd Algorithm for Multiple DG Placement and Sizing in a Radial Distribution System*. Engineering Science and Technology, an International Journal 20 (2017). 2215-0986/ © 2016 Karabuk University.
- [8] Chu, S.C. & Tsai, P.W. 2007. *Computational Intelligence Based on the Behaviour of Cats*. International Journal of Innovative Computing, Information, and Control Volume 3, Number 1, February 2007.
- [9] El-Ela, A.A.A., El-Sehiemy, R.A., Kinawy, A.M., & Ali, E.S. 2016. *Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation Units Using Different Cat Swarm Optimization Algorithms*. 978-1-4673-9063-7/16/\$31.00 ©2016 IEEE.
- [10] Gandomi, A.H. & Alavi, A.H. 2012. *Krill herd : A new bio-inspired optimization algorithm*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat 17 (2012) 4831-4845.