

OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS MULTI DG PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN METODE *FLOWER POLLINATION ALGORITHM* (FPA)

Yoga Alif Augusta¹, Wahyudi Budi Pramono²

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

¹14524073@students.uii.ac.id, ²wahyudi_budi_p@uii.ac.id

Abstrak

Pemasangan *Distributed Generation* (DG) adalah salah satu solusi untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas sistem distribusi listrik. Penelitian ini mencoba menemukan solusi terbaik pemasangan multi DG pada sistem distribusi terkait posisi dan kapasitas DG menggunakan metode optimasi *Flower Pollination Algorithm* (FPA) untuk mengurangi rugi-rugi daya serta meningkatkan profil tegangan. Metode FPA adalah metode optimasi dengan meniru fenomena penyerbukan (polinasi) bunga di alam, tentu saja bunga yang terpolinasi merupakan bunga dengan penampilan terbaik. Model penelitian yang digunakan adalah sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Dari penelitian, optimasi penempatan serta kapasitas multi DG didapatkan rugi-rugi daya pada sistem turun sebesar 132,5092 kW dan profil tegangan naik dari nilai terendahnya 0,9134 pu menjadi 0,9729 pu untuk penempatan DG pada bus ke-14, 24, dan 30 dengan kapasitas berurutan 759 kW, 1.071 kW dan 1.099 kW. Dari hasil optimasi dapat disimpulkan pemasangan multi DG mampu menurunkan losses dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.

Kata Kunci: *Distributed Generation, Multi DG, Flower Pollination Algorithm.*

Abstract

Distributed generation (DG) application is one of the solution to improve quality of electrical distribution system. This research aimed to find a solution for multi DG placement and capacity with Flower Pollination Algorithm (FPA) to reduce losses and increase voltage profile in system. FPA optimization method is adapting how flower pollinated by pollinator in nature where the pollinated flower is the best flower. This research use a radial distribution system 33 buses from IEEE as a model. The result of this research is that the power losses decrease as much as 132,5092 kW and voltage profile increase from its lowest value 0,9134 pu into 0,9729 pu for DG installed on 14th, 24th, and 30th buses with 759 kW, 1,071 kW and 1,099 kW sequential capacities. Thus it can be conclude that multi DG application can drop the losses and increase voltage profile in IEEE 33 buses radial distribution system.

Keywords: *Distributed Generation, Multi DG, Flower Pollination Algorithm*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang berbanding lurus dengan konsumsi daya listrik, menyebabkan jaringan listrik khususnya sistem distribusi mengalami penurunan kualitas. Penurunan kualitas pada sistem distribusi berhubungan dengan nilai rugi-rugi daya dan profil tegangan. Salah satu penyelesaian dalam masalah penurunan kualitas pada jaringan kelistrikan adalah dengan pemasangan *Distributed Generation* (DG). DG sendiri didefinisikan sebagai pembangkit listrik skala kecil, dengan kapasitas pembangkitan dari beberapa kilo Watt (kW) hingga beberapa Mega Watt (MW) (Moradi and Abedini, 2016). Pemasangan DG pada saluran distribusi listrik dapat meningkatkan efisiensi, meningkatkan keandalan dan juga memperbaiki kualitas daya pada sistem (Luthfi dan Handoko 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi penempatan dan kapasitas multi DG untuk mengurangi rugi-rugi daya aktif serta meningkatkan profil tegangan pada sistem. Penelitian akan dilakukan dengan model sistem distribusi 33 bus dengan standar IEEE dan menggunakan metode *Flower Pollination Algorithm* (FPA). FPA merupakan metode optimasi sistem yang terinspirasi oleh proses penyerbukan pada bunga yang disebabkan oleh pollinator di alam. Metode FPA digunakan karena telah diteliti pada penelitian sebelumnya, bahwa lebih efisien dibandingkan dengan metode yang sering digunakan pada proses optimasi seperti metode *Genetic Algorithm* (GA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Yang 2012).

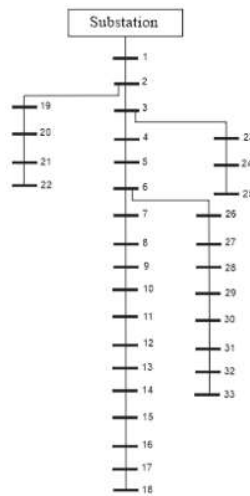
Distributed Generation (DG)

DG merupakan pembangkit listrik dengan kapasitas pembangkitan berskala kecil, dan ditempatkan dekat dengan sumber beban. Menurut *Institute of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE), DG didefinisikan sebagai pembangkit energi listrik yang berkapasitas tidak lebih tinggi dari pembangkit listrik pusat pada sistem tenaga listrik, sehingga dimungkinkan untuk DG dapat ditempatkan hampir di semua sistem tenaga listrik. Jenis dan kapasitas DG mulai dari Mikro sampai Besar memiliki kapasitas antara 1 W sampai 300 MW (Santosa dkk, 2016).

Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang terdekat dengan sumber beban. Sistem distribusi listrik merupakan lanjutan dari jaringan transmisi, dimana level tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi pada jaringan transmisi diturunkan ke level tegangan sistem distribusi primer. Selanjutnya adalah sistem distribusi sekunder, dengan level tegangan 240 V dan 120 V. pada sistem distribusi sekunder daya akan mengalir ke rumah-rumah konsumen untuk digunakan pada beban alat elektronik ataupun fasilitas publik (D. Steven Jr, 1990).

Model sistem distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem distribusi IEEE 33 bus dengan tegangan kerja 12,66 kV, total beban 3,715 MW, dan 2,3 MVAR. Diagram garis tunggal untuk rangkaian sistem distribusi IEEE 33 bus dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Distribusi Radial IEEE 33 bus

Flower Pollination Algorithm (FPA)

Metode optimasi FPA merupakan metode optimasi dengan meniru konsep penyerbukan (polinasi) pada bunga. Inti dari proses penyerbukan bunga adalah bagaimana serbuk sari jatuh ke kepala putik. Jatuhnya serbuk sari ke kepala putik tentu dengan berbagai alasan seperti tertiuip angin, terbawa oleh serangga bahkan burung. Subjek yang membantu proses penyerbukan, disebut Polinator. Pada metode ini tentu saja bunga yang terpilih untuk dihinggapi polinator merupakan bunga dengan penampilan terbaik, atas dasar tersebut metode FPA dijalankan.

Pada metode FPA terdapat dua langkah kunci yaitu polinasi lokal dan polinasi global. Polinasi lokal adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator abiotik seperti angin dan hujan, polinasi lokal terjadi saat serbuk sari suatu bunga jatuh pada putik bunga itu sendiri. Polinasi global adalah polinasi yang dilakukan oleh polinator biotik seperti serangga yang melakukan gerakan unik serangga (*Levy Flights*) dimana serbuk sari dapat jatuh pada putik dibunga lain (Djalal dkk 2017). Pada polinasi global serbuk sari dapat dengan jauh dibawa oleh polinator, hal tersebut untuk memastikan suatu solusi dengan hasil terbaik, solusi terbaik (*fitness*) di representasikan dengan g_* . Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan (1)

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(x_i^t - g_*), \quad (1)$$

Dimana :

x_i^t = serbuk sari i atau solusi vektor x_i pada itersasi ke- t ,

L = persamaan jarak terbang serangga (polinator).

L pada persamaan (1) biasa disebut dengan fungsi *Levy*. Parameter L merupakan kekuatan dari penyerbukan. Fungsi *Levy* dapat dinyatakan dengan persamaan (2).

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta^{1+\lambda}}, \quad (\delta \gg \delta_0 > 0) \quad (2)$$

Untuk penyederhanaan, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu bunga dan bunga tersebut hanya memproduksi satu serbuk sari, dapat disimpulkan sebuah solusi x_i sebanding dengan jumlah bunga. Pada Tabel 1 terlampir istilah dalam metode optimasi FPA (Djalal, 2017).

Tabel 1. Istilah dalam Metode FPA

Istilah	Metode FPA
Fenomena Penyerbukan	Pemasalahan Optimasi
Populasi Bunga	Data Bus dan Saluran
Tingkat Kecocokan Bunga	Fungsi Objektif DG
Usaha Penyerbukan	Iterasi
Kemungkinan Terjadinya Polinasi Global atau Lokal	<i>Probability Switch</i>
Banyaknya Solusi yang ingin Didapatkan	Dimensi

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data IEEE 33 bus sebagaimana Tabel 2 dan Tabel 3. Diagram alur metode optimasi FPA dapat dilihat pada Gambar 2, adapun penjelasan dari gambar tersebut adalah sebagai berikut:

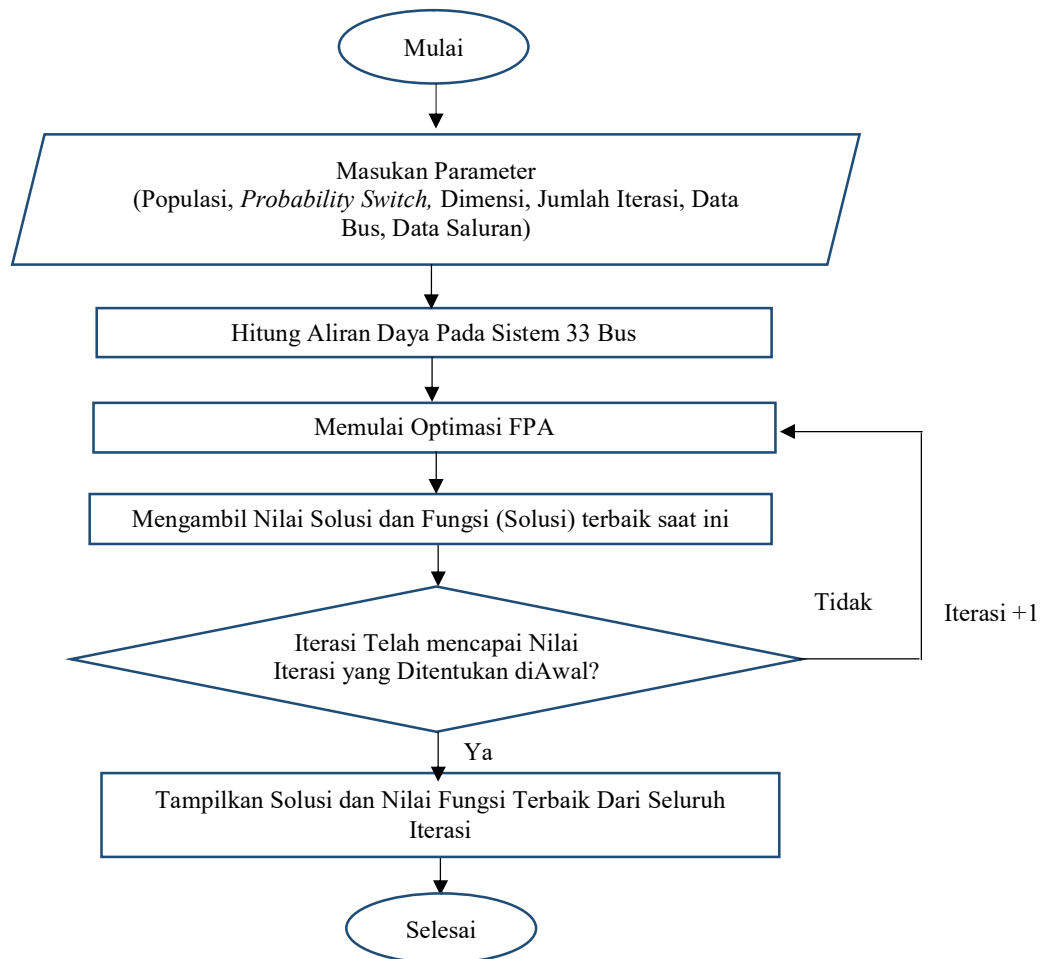
1. Memasukkan beberapa parameter metode FPA seperti populasi, jumlah iterasi *probability switch*, dan dimensi, serta memasukkan data bus.
2. Melakukan perhitungan aliran daya pada sistem IEEE 33 bus.
3. Memulai metode FPA dimana proses dilakukan untuk mendapatkan solusi serta nilai fungsi terbaik dengan persamaan, dimana solusi merupakan bagian dari persamaan tersebut.
4. Mengambil solusi dan nilai fungsi terbaik pada suatu iterasi.
5. Apa bila nilai iterasi belum mencapai jumlah iterasi yang ditentukan diawal maka akan dilakukan proses optimasi FPA. Apabila iterasi telah mencapai jumlah iterasi yang ditentukan maka akan berlanjut pada tahap berikutnya.
6. Mengambil solusi serta nilai fungsi terbaik dari yang terbaik pada keseluruhan iterasi. Nilai solusi dan fungsi terbaik akan ditampilkan sebagai hasil akhir dari metode FPA.

Tabel 2. Data Bus IEEE 33 Bus

Bus	P (kW)	Q(kVAR)	Bus	P (kW)	Q(kVAR)
1	0	0	18	90	40
2	100	60	19	90	40
3	90	40	20	90	40
4	120	80	21	90	40
5	60	30	22	90	40
6	60	20	23	90	50
7	200	100	24	420	200
8	200	100	25	420	200
9	60	20	26	60	25
10	60	20	27	60	25
11	45	30	28	60	20
12	60	35	29	120	70
13	60	35	30	200	600
14	120	80	31	150	70
15	60	10	32	210	100
16	60	20	33	60	40
17	60	20			

Tabel 3. Data Line IEEE 33 Bus

Dari bus ke bus	R(Ω)	X(Ω)	Dari bus ke bus	R(Ω)	X(Ω)
0 – 1	0	0	17 – 18	0,732	0,574
1 – 2	0,0922	0,047	2 – 19	0,164	0,1565
2 – 3	0,493	0,2511	19 – 20	1,5042	1,3554
3 – 4	0,366	0,1864	20 – 21	0,4095	0,4784
4 – 5	0,3811	0,1941	21 – 22	0,7089	0,9373
5 – 6	0,819	0,707	3 – 23	0,4512	0,3083
6 – 7	0,1872	0,6188	23 – 24	0,898	0,7091
7 – 8	0,7114	0,2351	24 – 25	0,896	0,7011
8 – 9	1,03	0,74	6 – 26	0,203	0,1034
9 – 10	1,044	0,74	26 – 27	0,2842	0,1447
10 – 11	0,1966	0,065	27 – 28	1,059	0,9337
11 – 12	0,3744	0,1238	28 – 29	0,8042	0,7006
12 – 13	1,468	1,155	29 – 30	0,5075	0,2585
13 – 14	0,5416	0,7129	30 – 31	0,9744	0,963
14 – 15	0,591	0,526	31 – 32	0,3105	0,3619
15 – 16	0,7463	0,545	32 – 33	0,341	0,5302
16 – 17	1,289	1,721			



Gambar 2. Diagram Alur Metode Optimasi FPA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi ini dilakukan dengan kekangan kapasitas DG tidak melebihi 5 MW dan profil tegangan setelah optimasi harus bernilai 0,95 pu – 1,05 pu. Data hasil studi aliran daya dari sistem distribusi radial IEEE 33 bus sebagaimana Tabel 4. Dari hasil studi aliran daya didapatkan rugi-rugi daya aktif total pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus sebesar 201,8925 kW dan profil tegangan terendah berada pada bus ke-18 dengan nilai 0,9134 pu, hal tersebut disebabkan bus ke-18 adalah bus terjauh dari bus utama (Gardu Induk).

Tabel 4. Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial 33 bus

Dari Bus ke bus	Ploss (kW)	Qloss (kVAR)	V (pu)	Sudut Fase
0 – 1	0	0	1	0
1 – 2	12,1927	6,2154	0,997	0,0003
2 – 3	51,5711	26,2668	0,983	0,0017
3 – 4	19,7934	10,0806	0,9755	0,0029
4 – 5	18,5931	9,4697	0,9682	0,0041
5 – 6	38,0256	32,8256	0,9498	0,0025
6 – 7	1,9131	6,3238	0,9463	-0,0015
7 – 8	4,8342	1,5976	0,9415	-0,0009
8 – 9	4,1773	3,0012	0,9352	-0,0023
9 – 10	3,5575	2,5216	0,9294	-0,0035
10 – 11	0,5531	0,1829	0,9286	-0,0033
11 – 12	0,8802	0,2911	0,9271	-0,0032
12 – 13	2,6638	2,0958	0,921	-0,0048
13 – 14	0,7286	0,959	0,9187	-0,0063
14 – 15	0,3569	0,3176	0,9173	-0,0069
15 – 16	0,2813	0,2054	0,916	-0,0074
16 – 17	0,2515	0,3358	0,914	-0,0088
17 – 18	0,0531	0,0416	0,9134	-0,0089
2 – 19	0,161	0,1536	0,9965	0,0001
19 – 20	0,8322	0,7498	0,9929	-0,0011
20 – 21	0,1008	0,1177	0,9922	-0,0015
21 – 22	0,0436	0,0577	0,9916	-0,0018
3 – 23	3,1812	2,1737	0,9794	0,0012
23 – 24	5,1432	4,0613	0,9727	-0,0004
24 – 25	1,2873	1,0073	0,9694	-0,0012
6 – 26	2,594	1,3213	0,9479	0,0032
26 – 27	3,3211	1,6909	0,9453	0,0043
27 – 28	11,2766	9,9424	0,9339	0,0059
28 – 29	7,818	6,8108	0,9257	0,0074
29 – 30	3,8881	1,9805	0,9222	0,0093
30 – 31	1,5928	1,5742	0,918	0,0079
31 – 32	0,2131	0,2484	0,9171	0,0075
32 – 33	0,0132	0,0205	0,9168	0,0074
	201,8925			

Optimasi Multi DG

Optimasi multi DG dilakukan dengan jumlah DG sebanyak 3 unit. Optimasi dengan menggunakan metode FPA dijalankan hingga mencapai nilai konvergen. Konvergensi tercapai saat 4000–5000 kali iterasi. Dari hasil optimasi multi DG didapatkan data Tabel 5. Posisi optimal untuk pemasangan DG adalah pada bus 14, 24 dan 30 dengan kapasitas berurutan 759,0857 kW, 1.071,1179 kW, dan 1.099,9134 kW. Hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 5. Penempatan DG pada bus 14 dimaksudkan untuk mengkompensasi drop tegangan pada bus ke-18, penempatan DG pada bus ke 24 dimaksudkan untuk mengampu beban pada bus ke 23 dan 25 yang cukup besar, sedangkan pemasangan DG pada bus ke-30 adalah untuk mengkompensasi drop tegangan serta mengampu beban pada cabang bus 26 – bus 33. Hasil studi aliran daya setelah dilakukan pemasangan 3 unit DG terlampir pada Tabel 6, adapun perbedaan rugi-rugi daya dan profil tegangan sebelum dan setelah pemasangan multi DG terlampir pada Tabel 7, sedangkan grafik profil tegangan terlampir pada Gambar 3.

Tabel 5. Hasil Optimasi Multi DG

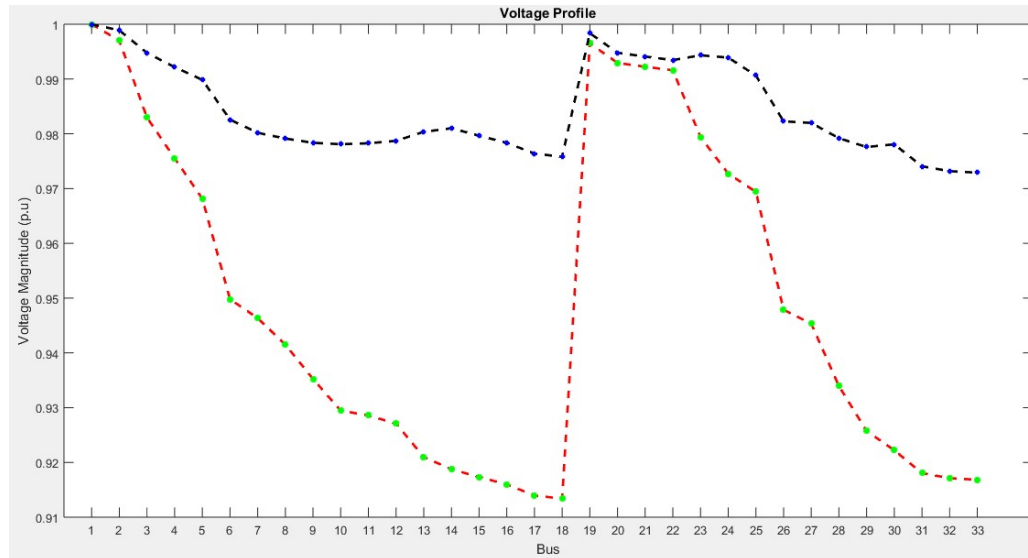
Iterasi ke-	No. Bus			Kapasitas DG (kW)		
	500	24	29	12	917,3225	1032,0773
1000	24	30	14	992,7769	1128,1994	770,6284
1500	24	24	30	742,3753	1067,9138	1119,0965
2000	30	14	24	1100,2132	759,6622	1070,8141
2500	14	24	30	759,111	1071,0551	1099,8965
3000	14	24	30	759,1174	1071,1379	1099,9444
3500	14	24	30	759,0822	1071,1112	1099,929
4000	14	24	30	759,085	1071,1164	1099,9319
4500	14	24	30	759,0855	1071,1179	1099,9312
5000	14	24	30	759,0857	1071,1179	1099,9134

Tabel 6. Hasil Studi Aliran Daya Sistem Distribusi Radial 33 bus Setelah Pemasangan Multi DG

Dari Bus ke bus	Ploss (kW)	Qloss (kVAR)	V (pu)	Sudut Fase
0 – 1	0	0	1	0
1 – 2	3,4374	1,7522	0,9989	0,0011
2 – 3	13,9302	7,0951	0,9948	0,0072
3 – 4	6,2289	3,1723	0,9922	0,0106
4 – 5	5,7180	2,9123	0,9899	0,014
5 – 6	11,6941	10,0949	0,9826	0,0213
6 – 7	0,4330	1,4313	0,9802	0,0208
7 – 8	0,8270	0,2733	0,9791	0,0225
8 – 9	0,6794	0,4881	0,9784	0,025
9 – 10	0,7012	0,4971	0,9781	0,0277
10 – 11	0,1445	0,0478	0,9783	0,0281
11 – 12	0,2880	0,0952	0,9787	0,0289
12 – 13	1,3014	1,0239	0,9804	0,033
13 – 14	0,5769	0,7593	0,981	0,0353
14 – 15	0,3127	0,2783	0,9796	0,0348
15 – 16	0,2465	0,1800	0,9783	0,0345
16 – 17	0,2203	0,2942	0,9764	0,0335
17 – 18	0,0465	0,0365	0,9758	0,0334
2 – 19	0,1603	0,1530	0,9984	0,0009
19 – 20	0,829	0,7470	0,9948	-0,0002
20 – 21	0,1004	0,1173	0,9941	-0,0006
21 – 22	0,0435	0,0575	0,9935	-0,0009
3 – 23	0,6327	0,4323	0,9943	0,0088
23 – 24	1,2082	0,9540	0,9939	0,0121
24 – 25	1,2327	0,9646	0,9906	0,0114
6 – 26	1,2288	0,6259	0,9823	0,0227
26 – 27	1,6844	0,8576	0,982	0,0247
27 – 28	6,1989	5,4654	0,9792	0,0329
28 – 29	4,7329	4,1232	0,9776	0,0393
29 – 30	2,9297	1,4923	0,9781	0,0427
30 – 31	1,4147	1,3981	0,9741	0,0418
31 – 32	0,1892	0,2206	0,9732	0,0415
32 – 33	0,0117	0,0182	0,9729	0,0414
	69,3831			

Tabel 7. Perbandingan Total Rugi-Rugi Daya Aktif dan Profil Tegangan pada Sistem Sebelum dan Setelah Pemasangan Multi DG

Metode FPA		
	Sebelum Pemasangan DG	Setelah Pemasangan DG
Ploss Total (kW)	201,8925	69,3833
Profil Tegangan (pu)	0,9134	0,9729



Gambar 3. Grafik Profil Tegangan Sebelum (Merah) dan Setelah (Biru) Pemasangan Multi DG

PENUTUP

Simpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa optimasi penempatan dan kapasitas DG dengan menggunakan Metode FPA pada sistem radial IEEE 33 bus terbukti dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif sebesar 132,5092 kW serta meningkatkan profil tegangan pada sistem dari nilai terendahnya 0,9134 pu menjadi 0,9729 pu. Penempatan DG yang optimal terletak pada bus 14, dengan kapasitas 759,0857 kW, bus 24 dengan kapasitas 1.071,1179 kW, dan bus 30 dengan kapasitas 1.099,9134 kW.

Saran

Berdasarkan hasil pembahasan serta kesimpulan, penulis dapat menentukan beberapa saran sebagai berikut

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan metode optimasi ataupun jenis sistem distribusi yang berbeda agar dapat dibandingkan dengan penelitian ini.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengimplementasi hasil penelitian ini pada sistem distribusi secara langsung, dan dapat dibuktikan apakah metode optimasi secara teori dapat sesuai dengan praktiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- D. Steven Jr, William. 1990. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. 4 ed. diedit oleh K. Idris. Bandung: Erlangga.
- Djalal, M.Ruswandi, Yusuf Yunus, dan Andi Imran. 2017. "Flower Pollination Algorithm Pada Pengendalian Kecepatan Motor Induksi.", Vol. 15, No. 1.
- Luthfi, Nur Ilham dan Susatyo Handoko. 2013. "Optimasi Penempatan Distributed Generation Pada IEEE 30 Bus System Menggunakan Bee Clony Algorithm Metode." *ejournal3.undip.ac.id*, hal. 757-63.
- M.Rifki Ali, Sarijiya, Avrin Nur W. 2015. "Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Distributed Generation Dengan Metode Flower Pollination Algorithm." *etd.repository.ugm.ac.id*.
- Moradi, M. H. dan M. Abedini. 2016. "Electrical Power and Energy Systems A novel method for optimal DG

- units capacity and location in Microgrids.” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*No.75, hal. 236–44.
- Pinilla, Henry Giovanni dan Carlos Andrés Forero. 2016. “Modeling of Distributed Generators in 13 Nodes IEEE Test Feeder.”, Vol. 4, No. 2.
- Prakash, D. B. dan C. Lakshminarayana. 2016. “Multiple DG Placements in Distribution System for Power Loss Reduction Using PSO Algorithm.” *Procedia Technology* 25(Raerest), hal. 785–92.
- Reddy, B.Venkatesh. 2014. “Sizing of DG Units Using Exact Loss Formula to Improve Efficiency of Radial Distribution System.”, hal. 10.
- Santosa, Erwin Prawira, Ontoseno Penangsang, dan Ni Ketut Aryani. 2016. “Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA).”, Vol. 5, No.2.
- Yang, Xin-she. 2012. “Flower Pollination Algorithm for Global Optimization.” *Unconventional Computation and Natural Computation: 11th International Conference*, hal. 240–49.