

Penentuan Lokasi dan Kapasitas *Distributed Generation* Pada Sistem Distribusi Penyulang Semanu Dengan *Flower Pollination Algorithm*

Tegar Prasetyo^{1*}, Muhammad Amri Yahya², Dyah Utari Yusa Wardhani³, Ali Muhtar⁴, Fredi Prima Sakti⁵

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

⁴ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia.

⁵ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: tegar.prasetyo@polsri.ac.id

ABSTRAK

Pemasangan *Distributed Generation* (DG) memiliki manfaat diantaranya untuk mengurangi rugi-rugi daya, memperbaiki nilai tegangan dan meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi. Lokasi penempatan DG dan kapasitas DG yang tidak optimal pada sistem dapat meningkatkan rugi-rugi daya yang dapat mempengaruhi turunnya profil tegangan. Penelitian ini mengusulkan algoritma optimasi *Flower Pollination Algorithm* (FPA) untuk menentukan penempatan lokasi untuk mengurangi rugi-rugi daya dan menentukan kapasitas DG yang optimal pada studi kasus jaringan distribusi Semanu, Yogyakarta. Penelitian yang dibagi menjadi dua skenario dimana pada skenario pemasangan satu/*single* DG didapat lokasi yang optimal terletak di Bus 32, dengan kapasitas 8307,47 kW dan rugi-rugi daya menurun 70,41%. Pada skenario pemasangan dua/*multi*-DG lokasi yang optimal terletak di Bus 17 dan 37 masing-masing berkapasitas 4479,46 kW dan 5294,91 kW, dan rugi-rugi daya menurun 81,22%. Pemasangan *multi*-DG lebih andal dibandingkan dengan satu/*single* DG karena memiliki rugi-rugi daya yang lebih minimum.

Kata Kunci: *Distributed generation, FPA, rugi-rugi daya, profil tegangan*

Determination of Location and Capacity of Distributed Generation in the Semanu Feeder Distribution System Using the Flower Pollination Algorithm

ABSTRACT

Installing *Distributed Generation* (DG) has benefits, including minimize power losses, improve the voltage, and improve power quality on the system. DG location and capacity that are not optimal in the system can increase power losses, which then decreases the voltage profile. This study proposes the *Flower Pollination Algorithm* (FPA) to decide location to minimize power losses and optimize DG capacity in the case study Semanu Yogyakarta distribution network. The research was divided into two scenarios. In installing one/*single* DG, the optimal location was Bus 32 with had a capacity of 8307,47 kW, and power losses decreased by 70.41%. In the two/*multi*-DG installation scenario, the optimal locations were obtained on Buses 17 and 37 which have capacities of 4479,46 kW and 5294,91 kW, with active power losses decreasing by 81.22%. *Multi*-DG installations are more reliable than single DG because they have minimal power losses.

Keywords: *Distributed generation, FPA, power losses, voltage profile*

Correspondence author : Tegar Prasetyo, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia.
E-Mail: tegar.prasetyo@polsri.ac.id

PENDAHULUAN

Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik berukuran kecil yang dipasang dan menyalurkan daya listrik didaerah yang tidak terlalu jauh dari beban, baik langsung dihubungkan ke konsumen, dikoneksikan dengan sistem distribusi maupun keduanya. Di masa mendatang, DG diharapkan dapat memainkan peran penting pada sistem tenaga listrik dalam memaksimalkan pasokan energi listrik dan peningkatan kualitas daya listrik serta menawarkan alternatif untuk sistem tenaga listrik yang bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil [1]. Saat ini, pengembangan DG berkonsentrasi pada pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti angin, surya, dan biomas. Sumber energi ini dapat diperbaharui, memiliki emisi dan polusi yang rendah, dan tidak memiliki biaya operasi dan pemeliharaan yang tinggi. Oleh karena itu, pemanfaatan DG dengan sumber energi terbarukan ini terbilang meningkat dan memiliki banyak keuntungan. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui bagaimana pengaruh DG pada sistem distribusi tenaga Listrik [2]. Pemasangan DG pada sistem distribusi memiliki beberapa manfaat diantaranya mengurangi rugi-rugi daya [3], meningkatkan profil tegangan, keandalan dan meningkatkan kualitas daya [1][4][2]. Akan tetapi DG yang bersumber energi terbarukan ini juga memberikan tantangan baru dimana memiliki karakteristik yang stokastik tergantung pada kondisi alam, yang mana hal tersebut dapat mempengaruhi naik turunnya daya yang dihasilkan. Ketika daya yang dihasilkan kecil maka tidak akan berdampak besar pada sistem. Akan tetapi pada saat DG menghasilkan daya lebih besar dibandingkan beban yang berada di hilir, DG akan mengalirkan sisa daya kelebihan ke bagian hulu sistem yang mana akan menyebabkan aliran daya menjadi dua arah [5]. Selain itu penetrasi DG yang tinggi dan penentuan batasan penetrasi yang tidak sesuai juga berpotensi menyebabkan masalah seperti *over voltage*, *voltage deviation* [6][7].

Penempatan DG pada sistem distribusi harus dipertimbangkan dan direncanakan secara bijak dan menyeluruh agar berjalan secara optimal, mengingat penempatan DG berpengaruh terhadap aliran daya dan tegangan pada bus sistem. Tidak optimalnya penempatan DG pada sistem dapat menyebabkan rugi-rugi daya yang berdampak profil tegangan akan menurun [8][9][6]. Kemudian kapasitas dari DG yang akan diinjeksikan ke sistem juga harus diperhatikan dampak dari pemasangan DG yang dikenal sebagai *system support benefits*. Pengoptimalan penempatan dan kapasitas DG dapat meningkatkan kestabilan tegangan, keandalan sistem, nilai tegangan, dan rugi-rugi daya pada saluran berkurang [10][11].

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu adanya solusi untuk mengatasinya, adapun langkahnya yakni dengan menentukan lokasi penempatan DG dan membatasi kapasitas DG yang optimal. Optimisasi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk penentuan lokasi penempatan dan kapasitas DG optimal. Penelitian ini mengusulkan algoritma optimasi *Flower Pollination Algorithm* (FPA) untuk menentukan penempatan lokasi untuk meminimasi rugi-rugi daya sistem dan menentukan kapasitas DG yang optimal pada studi kasus jaringan distribusi Semanu Gunung Kidul, Yogyakarta. Metode optimasi FPA ini terinspirasi dari fenomena alam yaitu proses penyerbukan pada bunga. FPA diklaim memiliki hasil lebih baik dari metode metaheuristik yang telah banyak digunakan saat ini diantaranya *Genetic Algorithm* (GA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang mana hasil keluarannya lebih efisien, untuk mencapai konvergen lebih cepat dan stabil, serta tingkat keberhasilannya juga lebih baik [12].

METODE PENELITIAN

Fungsi Objektif

Fungsi objektif pada permasalahan ini yaitu meminimasi rugi-rugi daya atau *losses* pada sistem yang dapat diketahui pada setiap saluran yang memiliki arus dan resistansi, direpresentasikan dalam persamaan berikut.

$$L_i = R_i I_{Li}^2 \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

dimana:

L_i : Losses di saluran ke- i

I_{Li} : Arus di saluran ke- i

R_i : Resistansi di saluran ke- i

L_i merupakan nilai losses yang terdapat dalam saluran i . R_i merupakan resistansi yang terdapat pada saluran i . I_{Li} merupakan arus yang melalui saluran i . i merupakan indeks untuk saluran yang bernilai 1.... N . Nilai losses dihitung pada setiap saluran. Kemudian nilai losses yang digunakan dalam menentukan fungsi tujuan yakni penentuan lokasi dan kapasitas optimal DG[14].

Penentuan lokasi dan kapasitas DG ditentukan dari nilai losses atau rugi-rugi daya aktif yang paling minimum menggunakan persamaan berikut:

$$f(x) = \min(\sum_{i=1}^N P_{Li}) \quad (2)$$

dimana P_{Li} merupakan total power losses sistem yang dinyatakan pada persamaan berikut[15],

$$\sum P_{Li} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j - P_i Q_j)] \quad (3)$$

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (4)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (5)$$

dimana N adalah jumlah bus pada sistem, $V_i < \delta_i$ adalah tegangan kompleks pada saluran atau bus ke- i , P_i dan P_j adalah daya aktif diinjeksi pada saluran atau bus ke- i dan ke- j , Q_i dan Q_j adalah daya reaktif diinjeksi pada saluran atau bus ke- i dan ke- j , dan $r_{ij} + jx_{ij} = Z_{ij}$ adalah elemen ke- ij dari matriks impedans [Zbus].

Daya aktif yang diinjeksikan pada saluran atau bus i dimana DG ditempatkan, direpresentasikan oleh perdamaan berikut,

$$P_i = P_{Di} + P_{Li} - P_{DG_i} \quad (6)$$

dengan P_{Li} diabaikan,

$$P_i = P_{Di} - P_{DG_i} \quad (7)$$

P_i merupakan total daya aktif yang terdapat di saluran i , P_{Di} merupakan total daya beban pada saluran i , dan P_{Li} merupakan daya losses yang terdapat pada saluran i , serta P_{DG_i} merupakan daya yang diinjeksikan DG pada saluran i .

Kekangan Sistem

Penentuan lokasi dan kapasitas DG dapat dikatakan optimal jika tegangan pada setiap bus berada dalam batasan tegangan standar serta kapasitas daya masih memenuhi batas daya yang tersedia oleh DG. Peraturan standar jaringan listrik Jawa-Madura-Bali yang tertuang dalam *grid code* mengatur bahwa tegangan sistem untuk karakteristik operasi jaringan harus dijaga dalam batas tegangan nominal 20 kV dalam kondisi normal adalah +5% dan -10 % [16].

$$V_{min} < V_{bus\ i} < V_{max} \quad (8)$$

$$0,90\ p.u < V_{bus\ i} < 1,05\ p.u \quad (9)$$

untuk persamaan daya, dapat direpresentasikan melalui persamaan berikut,

$$P_{min} < P_{DG_i} < P_{max} \quad (10)$$

dengan $V_{bus\ i}$ merupakan tegangan pada bus i , P_{DG_i} merupakan kapasitas daya aktif DG yang terpasang pada bus i .

Flower Pollination Algorithm (FPA)

Flower Pollination Algorithm (FPA) merupakan algoritma metaheuristik yang biasa digunakan pada kasus optimasi. FPA ini terinspirasi dari proses penyerbukan bunga, dimana penyerbukan atau polinasi terdiri atas dua jenis yakni polinasi silang (*allogamy*) dan polinasi sendiri (penyerbukan lokal). Pada polinasi sendiri berarti terjadinya penyerbukan di satu bunga baik dengan serbuk sari bunga yang sama maupun dengan bunga berbeda namun masih berasal dari tanaman sama. Sedangkan polinasi silang yaitu penyerbukan dengan serbuk sari yang berasal dari tanaman berbeda, yang dibawa oleh pollinator seperti serangga dan burung yang dapat terbang jauh dan serbuk sari dapat berpindah dengan jarak yang jauh yang disebabkan oleh serangga yang dapat terbang dan berpindah pindah dengan jangkauan yang lebih jauh. Hal ini menandakan dan memastikan bahwa penyerbukan dan reproduksi yang paling cocok. Nilai *fitness* paling cocok diwakilkan sebagai g^* . Pada aturan pertama polinasi global dapat direpresentasikan kedalam persamaan berikut [17]:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(x_i^t - g^*) \quad (11)$$

dimana x_i^t merupakan serbuk sari atau vektor solusi i pada iterasi ke- t , dan g^* merupakan solusi terbaik paling baru pada iterasi terbaru. Parameter L yakni jarak polinasi atau ukuran langkah. Kemudian gerak *levy* mewakili karakteristik serangga yang berperan sebagai polinator, yang memungkinkan bergerak atau berpindah dengan jarak jauh dan dengan ukuran langkah berbeda-beda. Persamaan $L > 0$ diambil dari distribusi *levy*.

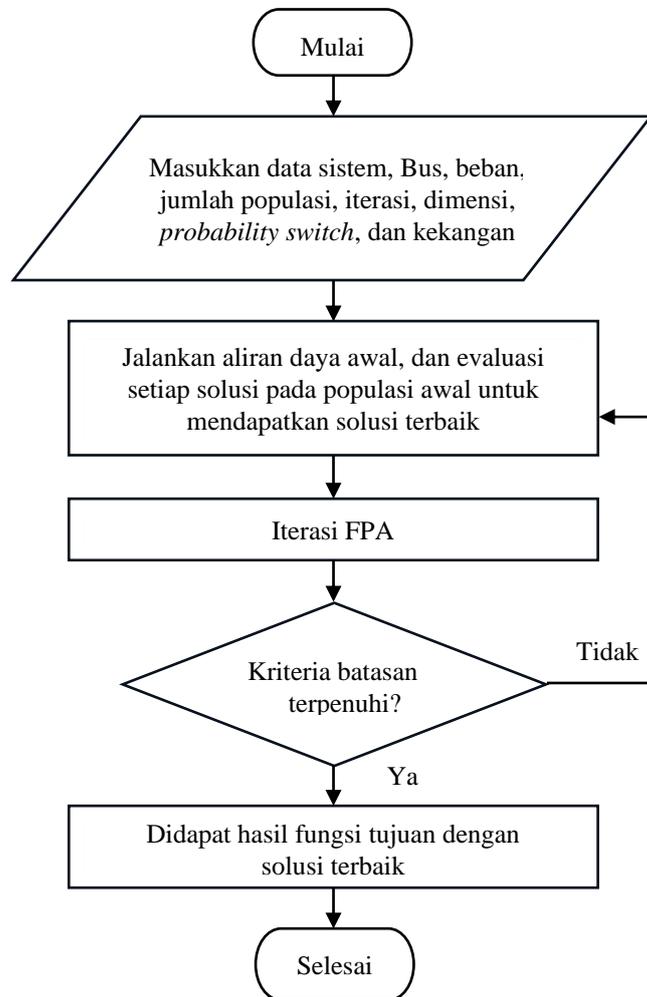
Pada aturan kedua atau polinasi lokal, hubungan bunga yang spesifik dinyatakan sebagai berikut,,

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (12)$$

dimana x_k^t dan x_j^t merupakan serbuk sari yang berasal dari bunga berbeda dengan spesies bunga yang sama. Apabila nilai ϵ merupakan distribusi seragam dari 0 hingga 1 dan x_k^t dan x_j^t berasal dari spesies bunga yang sama maka hal ini akan menjadi langkah acak lokal [12].

Alur penelitian menentukan lokasi penempatan dan kapasitas DG yang optimal menggunakan FPA dengan fungsi tujuan mengurangi rugi-rugi daya dijabarkan pada Gambar 1., dimulai dengan memasukkan data sistem meliputi data saluran, beban dan Bus. Selanjutnya menentukan parameter-parameter dari FPA untuk proses optimasi seperti jumlah populasi, nilai *probability switch*, jumlah iterasi, dan dimensi variabel. Variabel tersebut dalam kasus ini yang akan dioptimasi dan nantinya untuk dijadikan solusi terbaik ada dua variabel, yakni penentuan lokasi DG ditempatkan dan kapasitas DG optimal yang dapat diterima oleh sistem. Selanjutnya menentukan kekangan untuk memastikan solusi tidak melebihi standar batasan, dalam kasus ini yaitu level tegangan dan kapasitas besarnya daya dibangkitkan oleh DG yang diperbolehkan. Langkah selanjutnya membangkitkan populasi awal secara acak yang terdiri dari beberapa solusi dan menjalankan aliran daya untuk setiap solusi. Solusi yang dibangkitkan tersebut mempunyai nilai fungsi tujuan masing-masing, nantinya nilai terbaik dari fungsi tujuan yang paling mendekati tujuan yang diinginkan akan dipilih dan disimpan untuk dijadikan solusi terbaik saat ini. Kemudian memulai iterasi FPA diawali dengan penyerbukan atau polinasi pada masing-masing individu populasi yang telah dibangkitkan sebelumnya. untuk mendapatkan nilai fungsi tujuan terbaik yang akan digunakan sebagai solusi terbaik pada iterasi saat ini yakni dengan membandingkan nilai solusi terbaik yang sebelumnya dengan solusi terbaik yang terbaru. Hal yang sama dilakukan pada iterasi berikutnya secara berulang-ulang hingga iterasi selesai, kemudian hasil terbaik tersebut diuji dengan nilai batasan yang telah ditentukan untuk mengetahui apakah sudah memenuhi kriteria batasan atau belum hingga didapat hasil terbaik dari seluruh proses FPA. Hasil solusi terbaik disimpan dan ditampilkan meliputi lama waktu menjalankan

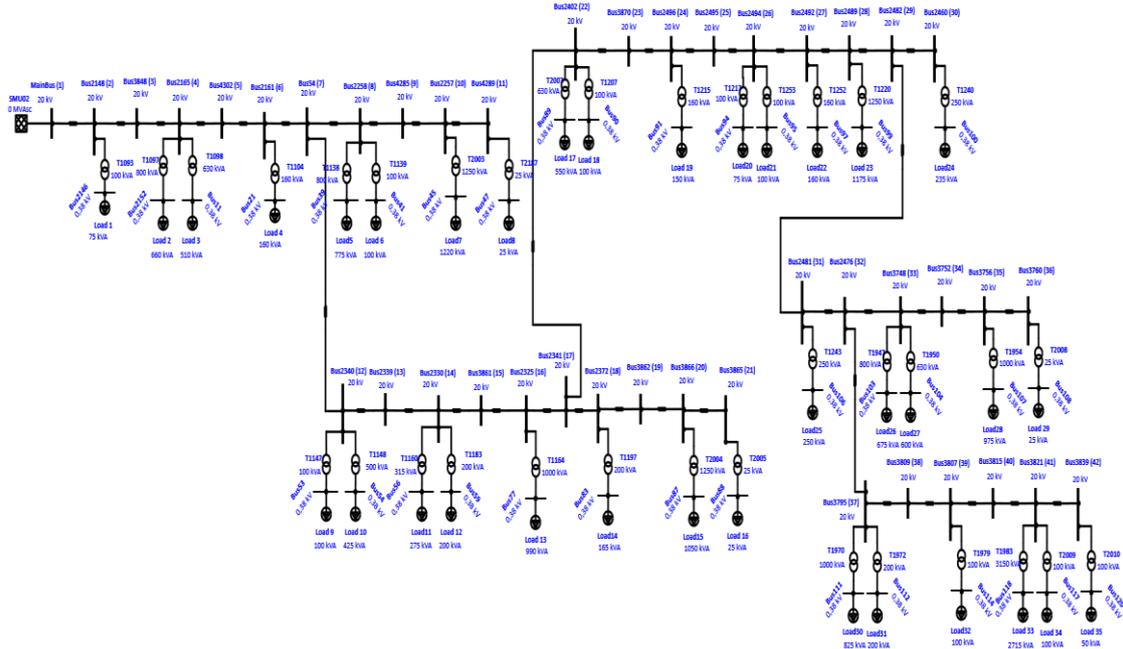
program, jumlah evaluasi yang dilakukan, nilai fungsi tujuan terbaik lokasi penempatan DG dan kapasitas DG optimal yang dapat diinjeksikan ke sistem.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Sistem Distribusi Semanu

Pada penelitian ini sistem distribusi yang digunakan adalah data sistem penyulang Semanu SMU02, Yogyakarta, yang merupakan jaringan distribusi radial utama 20 kV dan terdiri dari 42 bus dengan $pf = 0,9$ dan impedansi untuk tipe ACSR70 $R = 0,43 \Omega/km$ dan $X = 0,60 \Omega/km$, untuk tipe ACSR240 $R = 0,14 \Omega/km$ dan $X = 0,60 \Omega/km$. Diagram satu garis sistem distribusi penyulan Semanu ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram satu garis penyulang Semanu SMU02

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan optimasi menentukan lokasi penempatan DG dan kapasitas DG, maka perlu dilakukan simulasi perhitungan aliran daya pada kondisi eksisting seperti ditunjukkan pada Tabel 1. dimodelkan menggunakan OpenDSS [18] yang terintegrasi dengan Matlab. Jumlah iterasi sebanyak 500 kali dan jumlah populasi sebanyak 20 populasi di setiap iterasinya serta dengan nilai *probability switch* 0.8 [17]. Pada penelitian dibagi menjadi 2 (dua) skenario yaitu skenario satu penentuan lokasi dan kapasitas dengan pemasangan satu DG dan skenario dua penentuan lokasi dan kapasitas dengan multi-DG atau dua DG.

Tabel 1. Hasil Simulasi Pengujian Sistem Semanu SMU02 Kondisi Eksisting

Variabel	Nilai
$\sum P_{load}$ (kW)	14153,5
$\sum Q_{load}$ (kVAR)	9260,81
$\sum P_{loss}$ (kW)	1339,37
$\sum Q_{loss}$ (kVAR)	3054,65
V_{max} (p.u)	1,0451
V_{min} (p.u)	0,8384

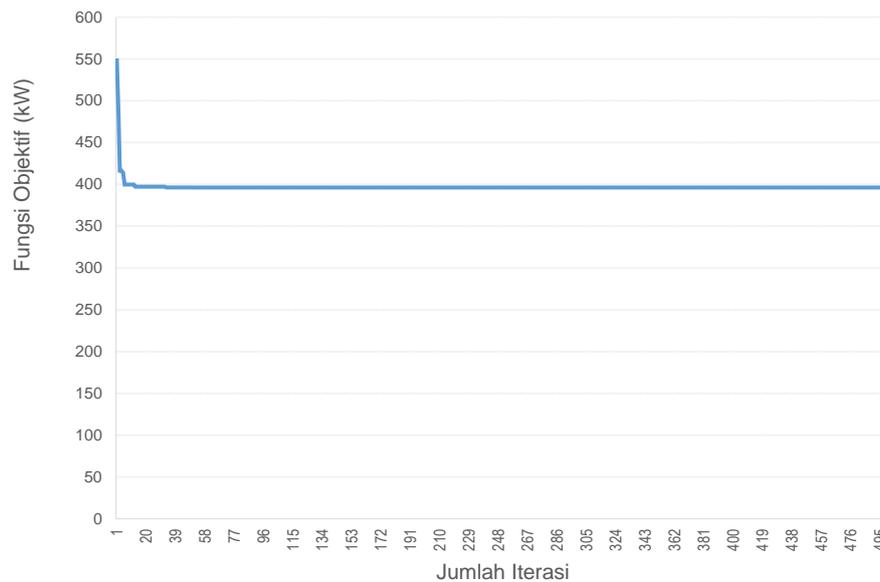
Skenario 1 (Pemasangan satu DG)

Simulasi dengan Skenario 1 (satu DG) dilakukan sebanyak 10 (sepuluh) kali pengulangan untuk melihat hasil optimal, dengan 20 populasi pada tiap iterasi yang diberikan. Total iterasi yang terdapat pada percobaan sebanyak 500 iterasi dan 0,8 nilai *probability switch*.



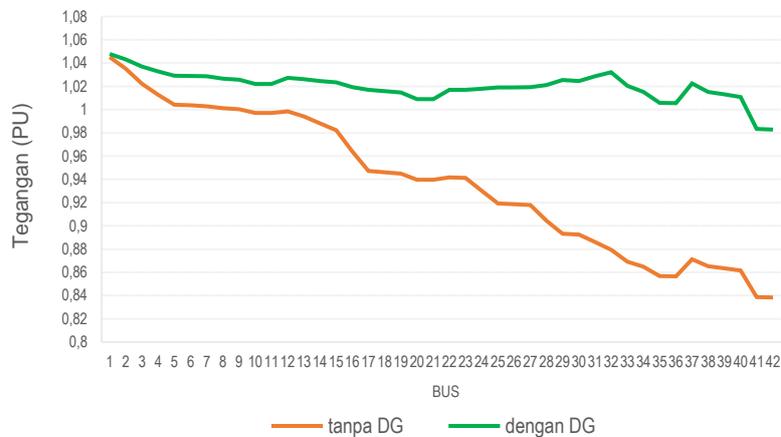
Tabel 2. Hasil Optimasi Fungsi Tujuan dengan Satu DG

Uji ke-	Jumlah iterasi Mencapai konvergen	Bus	Kapasitas (kW)	Penurunan Rugi-rugi daya (kW)
1	101	32	8306,89	396,19
2	77	32	8307,90	396,18
3	50	32	8307,01	396,18
4	176	32	8306,77	396,19
5	105	32	8307,75	396,18
6	95	32	8307,46	396,18
7	154	32	8306,57	396,19
8	58	32	8308,51	396,18
9	76	32	8308,03	396,18
10	89	32	8307,83	396,18
Mean	98	32	8307,47	396,18
Std. Dev	37,67	0	0,604	0,0015



Gambar 3. Konvergensi dengan satu DG

Hasil simulasi dengan metode FPA pada skenario satu ditunjukkan oleh Tabel 2. dan Gambar 3. bahwa iterasi ke 50 merupakan iterasi tercepat untuk mencapai konvergen dari nilai fungsi tujuan yaitu pada percobaan ke-3 dengan rugi-rugi daya sebesar 396,18 kW dan didapat lokasi terbaik pada bus 32 dengan rata-rata kapasitas pada nilai 8307,47 kW, serta total rugi-rugi daya 396,18 kW. Dimana rugi-rugi daya sebelum pemasangan dan setelah adanya pemasangan DG masing-masing sebesar 1339,37 kW dan 396,18 kW dengan persentase penurunan sebesar 70,41%. Pada profil tegangan nilai tegangan terendah sebelum dipasang DG 0,838 p.u, yang mana dibawah ambang batas yang diizinkan dan mengalami peningkatan setelah adanya pemasangan DG, dengan nilai tegangan terendah menjadi sebesar 0,98 p.u. sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil tegangan tanpa dan dengan satu DG

Skenario 2 (Pemasangan dua DG)

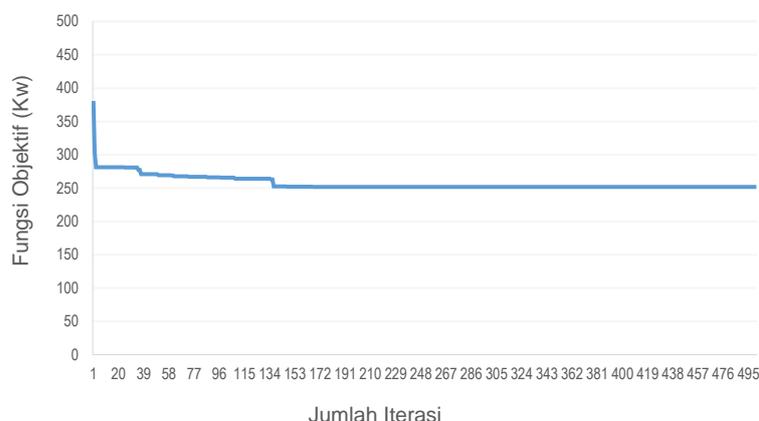
Simulasi dengan Skenario 2 (dua DG) dilakukan sebanyak 10 (sepuluh) kali pengulangan untuk melihat hasil optimal, dengan 20 populasi pada tiap iterasi yang diberikan. Total iterasi yang terdapat pada percobaan sebanyak 500 iterasi dan 0,8 nilai *probability switch*.

Tabel 3. Hasil Optimasi Fungsi Tujuan dengan Dua DG

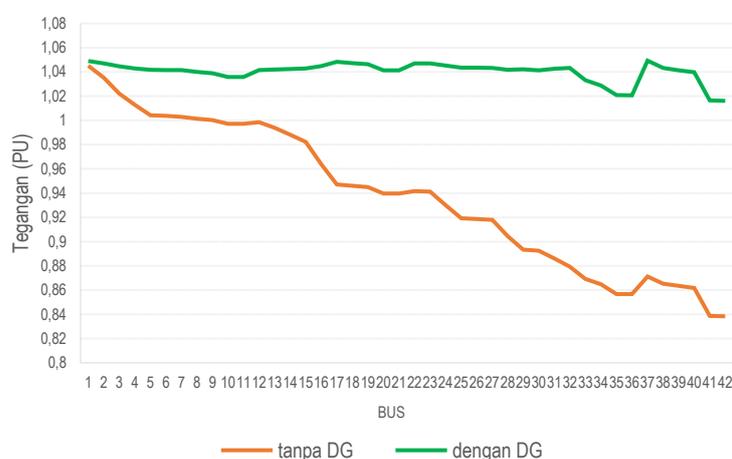
Uji ke-	Jumlah iterasi mencapai konvergen	Bus 1	Bus 2	Kapasitas 1 (kW)	Kapasitas 2 (kW)	Penurunan Rugi-rugi daya (kW)
1	322	17	37	4638,40	5184,13	251,21
2	282	17	37	4382,58	5399,16	251,68
3	239	17	37	4642,13	5166,60	251,20
4	380	17	37	4332,30	5378,58	251,65
5	390	17	37	4539,44	5203,89	251,24
6	244	17	37	4368,11	5410,18	251,73
7	337	17	37	4525,69	5272,15	251,31
8	380	17	37	4332,30	5378,58	251,65
9	203	17	37	4554,21	5260,89	251,29
10	171	17	37	4307,85	5418,53	251,78
Mean	295	17	37	4479,46	5294,91	251,44
Std. Dev	74,64	0	0	124,46	95,25	0,22

Hasil simulasi dengan metode FPA pada skenario dua ditunjukkan oleh Tabel 3. dan Gambar 5. bahwa iterasi ke 171 merupakan iterasi tercepat untuk mencapai konvergen dari nilai fungsi tujuan yaitu pada percobaan ke-10 dengan rugi-rugi daya sebesar 396,18 kW dan didapat lokasi terbaik pada bus 17 dan 37 dengan rata-rata kapasitas 4479,46 kW dan 5294,91 kW, serta rugi-rugi daya aktif 251,44 kW. Dimana untuk rugi-rugi daya sebelum dan setelah adanya pemasangan DG masing-masing sebesar 1339,37 kW dan 251,44 kW dengan persentase penurunan sebesar 81,22%. Sebelum pemasangan DG nilai tegangan terendah yaitu 0,838 p.u, yang mana dibawah ambang batas yang diizinkan dan mengalami peningkatan setelah adanya pemasangan DG, dengan nilai tegangan terendah menjadi sebesar 1,016 p.u. sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 5. Konvergensi dengan dua DG



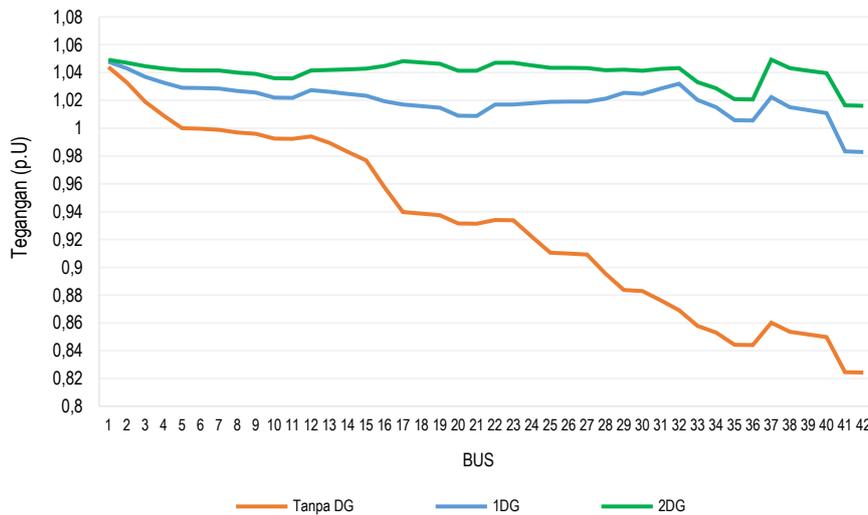
Gambar 6. Profil tegangan tanpa dan dengan dua DG

Perbandingan hasil optimasi setiap skenario

Hasil simulasi dengan dua skenario seperti ditunjukkan pada Tabel 4. dan Gambar 7. didapat hasil yaitu semakin banyak jumlah DG terpasang pada bus terpilih, maka akan berdampak positif terhadap perbaikan profil tegangan pada semua bus. Hal ini dikarenakan terjadinya penurunan suplai arus dari sumber menuju beban yang pada akhirnya berdampak positif pada penurunan rugi-rugi daya di setiap saluran. Pada skenario pertama diperoleh nilai tegangan terendah 0,98 p.u. dengan nilai tegangan tertingginya 1,047 p.u. Pada skenario kedua diperoleh nilai tegangan terendah 1,016 p.u. dengan nilai tegangan tertingginya 1,049 p.u. Pemasangan multi-DG lebih andal jika dibandingkan dengan satu/*single* DG karena memiliki rugi-rugi daya yang lebih minimum, yang disebabkan oleh lokasi penempatan DG ditempatkan pada beberapa titik yang berpotensi memiliki rugi-rugi daya besar. Sedangkan pada satu/*single* DG hanya pada satu titik dan berpotensi memiliki rugi-rugi daya besar yang tidak teratasi pada titik lainnya.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Optimasi Setiap Skenario

Jumlah DG	Bus 1	Bus 2	Kapasitas 1 (kW)	Kapasitas 2 (kW)	Rugi-rugi daya (kW)	Penurunan rugi-rugi daya (%)
1 DG	32	-	8307,47	-	396,18	70,41
2 DG	17	37	4479,46	5294,91	251,44	81,22



Gambar 7. Perbandingan profil tegangan setiap scenario

KESIMPULAN

Menurut hasil simulasi, FPA diusulkan untuk penentuan lokasi dan kapasitas DG penyulang Semanu SMU02 bahwa baik dengan pemasangan satu atau dua DG mampu meningkatkan nilai tegangan sistem dan mengurangi rugi-rugi daya. Pada skenario dengan pemasangan satu/*single* DG didapat lokasi yang optimal terletak di Bus 32, dengan kapasitas 8307,47 kW dan rugi-rugi daya aktif menurun 70,41%. Selanjutnya pada skenario pemasangan dua/*multi*-DG lokasi yang optimal terletak di Bus 17 dan 37 masing-masing berkapasitas 4479,46 kW dan 5294,91 kW, dan rugi-rugi daya aktif menurun 81,22%. Pemasangan *multi*-DG lebih andal dibandingkan dengan satu/*single* DG karena memiliki rugi-rugi daya yang lebih minimum, yang disebabkan oleh lokasi penempatan DG ditempatkan pada beberapa titik yang berpotensi memiliki rugi-rugi daya besar. Sedangkan pada satu/*single* DG hanya pada satu titik dan berpotensi memiliki rugi-rugi daya besar yang tidak teratasi pada titik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Mohammadi and M. Nafar, "Optimal placement of multitypes DG as independent private sector under pool/hybrid power market using GA-based Tabu Search method," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 51, pp. 43–53, 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.03.003.
- [2] M. S. Yahaya, M. F. Basar, Z. Ibrahim, M. N. N. Nasir, M. Y. Lada, and W. M. Bukhari, "A review on the impact of embedded generation to network fault level," *AIP Conf Proc*, vol. 1660, no. 1, p. 70044, May 2015, doi: 10.1063/1.4915762.
- [3] K. Nadhir, D. Chabane, and B. Tarek, "Firefly algorithm for optimal allocation and sizing of Distributed Generation in radial distribution system for loss minimization," 2013

- International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2013*, pp. 231–235, 2013, doi: 10.1109/CoDIT.2013.6689549.
- [4] M. Pesaran H.A, P. D. Huy, and V. K. Ramachandaramurthy, “A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, no. November 2016, pp. 293–312, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.071.
- [5] Jimmy Trio Putra, “Optimasi Daya Reaktif Distributed Generation untuk Pengaturan Tegangan Sistem Distribusi dan Transmisi Tenaga Listrik,” Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [6] A. K. Parizad. A, M. Kalantar, “Optimal Placement of Distributed Generation with Sensitivity Factors Considering Voltage Stability and Losses Indices,” *18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, pp. 848–855, doi: 10.1109/IRANIANCEE.2010.5506959.
- [7] S. R. A. Rahim, I. Musirin, M. H. Sulaiman, M. H. Hussain, and A. Azmi, “Assessing the Performance of DG in Distribution Network,” *2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference Melaka, Malaysia*, no. June, pp. 436–441, 2012, doi: 10.1109/PEOCO.2012.6230904.
- [8] V. Kumar, S. O. P. Rahi, V. Kumar, and J. S. Kuntal, “Optimal Placement Methods of Distributed Generation : A Review,” pp. 978–981, 2012, doi: 10.3850/978-981-07-1847-3.
- [9] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi, “Optimal Configuration of DG in Distribution System : An Overview,” vol. 7, pp. 1–5.
- [10] D. Agarwal, S. A. Siddiqui, and N. K. Swarnkar, “GA based Optimal DG Placement for Power Loss Reduction and Voltage Stability Improvement,” vol. 5, no. 04, pp. 558–563, 2016.
- [11] A. Ameli, S. Member, S. Bahrami, S. Member, and F. Khazaeli, “A Multiobjective Particle Swarm Optimization for Sizing and Placement of DGs from DG Owner ’ s and Distribution Company ’ s Viewpoints,” vol. 29, no. 4, pp. 1831–1840, 2014.
- [12] X.-S. Yang, “Flower Pollination Algorithm for Global Optimization BT - Unconventional Computation and Natural Computation,” J. Durand-Lose and N. Jonoska, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 240–249.
- [13] B. F. W. and G. B. S. Allen J Wood, “Power Generation Operation and Control 3rd edition”.
- [14] Dian Budi Santoso, “Optimisasi Penempatan Dan Kapasitas Wind-Based Distributed Generation Untuk Minimisasi Losses Menggunakan Flower Pollination Algorithm,” *Thesis. Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.*, vol. 101, p. 10, 2017.
- [15] B. V. Reddy, “Sizing of DG Units Using Exact Loss Formula to Improve Efficiency of Radial Distribution System,” *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*, vol. 10, no. 1, pp. 13–17, 2014, [Online]. Available: <http://www.iret.co.in/Docs/IJETEE/Volume 10/Issue11/3. Sizing of DG Units Using Exact Loss Formula to Improve Efficiency of Radial Distribution System.pdf>
- [16] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Peraturan Menteri ESDM No. 03 Tahun 2007 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali,” 2007.
- [17] Y. X.-S, *Flower Pollination Algorithm for Global Optimization*, vol. 9, no. 3. 2014. doi: 10.1016/j.arr.2010.02.003.
- [18] “OpenDSS.” Accessed: Des. 12, 2023. [Online]. Available: <https://sourceforge.net/projects/electricdss/>

