

Penentuan Lokasi dan Kapasitas *Wind-Based* DG pada Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan *Flower Pollination Algorithm*

Dian Budhi Santoso[#]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jalan H.S. Ronggowaluyo, Telukjambe, Karawang, Jawa Barat 41361, Indonesia
[#]dian.budhi@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Lokasi dan kapasitas *distributed generation* (DG) memiliki dampak yang sangat penting dalam mengurangi rugi-rugi daya pada saluran distribusi. Selain itu, lokasi dan kapasitas DG yang tepat dapat memperbaiki profil tegangan pada saluran distribusi dalam hal ini sistem distribusi 20kV di PLN Karawang. Sebuah metode metaheuristik digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada saluran distribusi 20kV di PLN Karawang. *Flower Pollination Algorithm* (FPA) merupakan metode metaheuristik yang memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode lain yang sejenis. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi dan menentukan kapasitas dari *wind-based* DG menggunakan FPA. Untuk mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi 20kV di PLN Karawang, maka digunakan *single* DG dan *multi* DG. Lokasi dan kapasitas *wind-based* DG akan dianalisis untuk ditempatkan pada penyulang yang telah dipilih oleh FPA. Sebelum sistem distribusi 20kV dipasang DG, nilai tegangan minimum sebesar 0,91 p.u. Namun setelah dipasang DG, hasil simulasi menggunakan FPA menunjukkan peningkatan pada nilai tegangan minimum menjadi 0,97 p.u. Lokasi optimal DG yang dipilih oleh FPA adalah pada penyulang 8, penyulang 6, dan penyulang 10 dengan kapasitas setiap DG adalah 341,18 Watt (penyulang 8), 557,38 Watt (penyulang 6), dan 799,63 Watt (penyulang 10). Penempatan DG yang sesuai pada penyulang di sistem distribusi PLN Karawang dapat mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada saluran distribusi.

Kata kunci: *Flower Pollination Algorithm*, pembangkitan tersebar, *losses*, profil tegangan, sistem distribusi

Abstract

The location and capacity of distributed generation (DG) has a very important impact in reducing power losses in distribution lines. In addition, the exact location and DG capacity can improve the voltage profile on the distribution lines, in this case the 20kV distribution system at PLN Karawang. A metaheuristic method is used to solve problems on the distribution lines. Flower pollination algorithm (FPA) is a metaheuristic method that has a higher success rate when compared to other similar methods. This study aims to determine the location and the capacity of wind-based DG using FPA. To reduce power losses and improve the voltage profile on the 20kV distribution system at PLN Karawang, single DG and multi DG are used. The location and capacity of the wind-based DG will be analyzed to be placed on feeders that have been selected by the FPA. Before the 20kV distribution system was installed DG, the minimum voltage value was 0.91 p.u. However, after DG was installed, the simulation results using FPA showed an increase in the minimum voltage value to 0.97 p.u. Whereas the optimal DG location chosen by FPA is on 8 feeders, 6 feeders, and 10 feeders with the capacity of each DG is 341.18 Watts (8 feeders), 557.38 Watts (6 feeders), and 799.63 Watts (10 feeders). Placement of DG in the PLN Karawang distribution system can reduce power losses and improve the voltage profile on the distribution line.

Keywords: *Flower Pollination Algorithm, distributed generation, losses, voltage profile, distribution system*

I. PENDAHULUAN

Distributed Generation (DG) adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang

menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pusat pembangkit listrik. Pembangkit energi listrik ini dapat dihubungkan secara langsung ke

konsumen atau ke sistem distribusi maupun transmisi [1]. Tujuan dari DG adalah untuk menyuplai daya aktif tanpa harus memberikan daya reaktif [2]. *Wind turbine* termasuk dalam kategori pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi seperti jenis pembangkit lain [3], [4]. Penentuan lokasi dan kapasitas DG sangat penting dilakukan agar dapat mengurangi *losses* dan memperbaiki profil tegangan pada saluran distribusi secara optimal. Salah satu cara yang ditempuh untuk menentukan lokasi dan kapasitas DG adalah dengan menggunakan optimisasi.

Beberapa metode optimisasi banyak yang bermunculan mulai dari optimisasi klasikal, pendekatan analitis, sampai yang terbaru yaitu metaheuristik. Salah satu metode optimisasi metaheuristik terbaru adalah *Flower Pollination Algorithm* (FPA) yang merupakan metode optimisasi yang terinspirasi dari proses penyerbukan bunga. FPA lebih efisien dengan menghasilkan hasil yang lebih baik dan memiliki kecepatan konvergen yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode metaheuristik lainnya seperti *Genetic Algorithm* (GA) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) [5]. FPA dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *real optimization* [6], [7]. Selain itu FPA mampu menghasilkan keluaran yang lebih baik, memiliki kecepatan konvergen yang lebih tinggi, dan memiliki tingkat keberhasilan yang lebih optimal jika dibandingkan dengan metode metaheuristik lainnya seperti GA dan PSO [5], [8].

Pada penelitian ini, FPA digunakan untuk menentukan lokasi dan kapasitas *wind-based* DG yang optimal dengan *single* DG dan *multi* DG untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem gardu induk (GI) Pinayungan 10 *feeder* dan meningkatkan profil tegangan. Selain itu, jumlah dan kapasitas *wind-based* DG yang dipasang pada bus terpilih akan diperhitungkan. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya tentang penempatan dan lokasi DG pada saluran distribusi [9].

II. METODE PENELITIAN

A. Turbin Angin

Pada prakteknya, untuk mencegah kerusakan turbin angin, maka turbin angin dirancang agar memiliki kecepatan maksimal (*cut-out*) yang relatif besar (seperti ditunjukkan pada Gambar 1) untuk mengantisipasi kecepatan angin yang besar [9]. Daya keluaran turbin angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_w = \begin{cases} 0, & V \leq V_I \\ \frac{V^n - V_I^n}{V_R^n - V_I^n} P_R, & V_I \leq V \leq V_R \\ P_R, & V_R \leq V \leq V_0 \\ 0, & V > V_0 \end{cases} \quad (1)$$

dengan P_w adalah daya output dari turbin angin, P_R adalah daya rata-rata angin, V_I adalah kecepatan angin saat di awal (*cut-in*), V_R adalah kecepatan rata-rata angin (*rated*), dan V_0 adalah kecepatan maksimal (*cut-out*). Parameter turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah $V_I = 2,5 \text{ m/s}$, $V_R = 12,5 \text{ m/s}$, $V_0 = 25 \text{ m/s}$, dan $P_R = 100 \text{ kW}$ [10].

B. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah fungsi tujuan untuk meminimalisasi rugi-rugi daya aktif pada saluran dengan persamaan utama sebagai berikut:

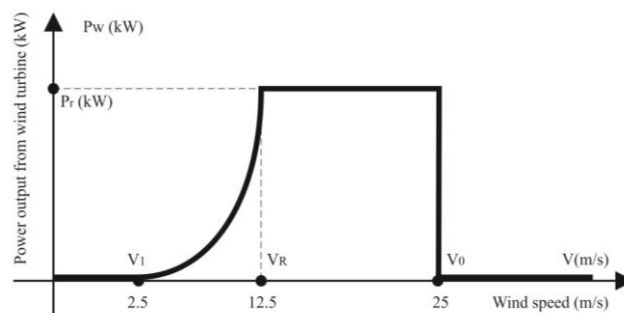
$$f(x) = \min(\sum_{i=1}^N P_{Li}) \quad (2)$$

dengan N adalah jumlah saluran (9 saluran) dan i adalah saluran.

Pendekatan pertama dilakukan dengan pendekatan analitis. Total rugi-rugi daya aktif pada sistem tenaga listrik direpresentasikan dengan persamaan di atas, atau yang populer disebut "*exact loss formula*" [11], [12] yang digunakan untuk mencari rugi-rugi daya pada saluran sebagai berikut:

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

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



Gambar 1. Batasan generator pada turbin angin [10]

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

dengan $V_i < \delta_i$ adalah tegangan kompleks pada bus ke- i , $r_{ij} + jx_{ij} = Z_{ij}$ adalah elemen ke- ij dari matriks impedansi, P_i dan P_j adalah injeksi daya aktif pada *feeder* ij , Q_i dan Q_j adalah injeksi daya reaktif pada *feeder* ij , dan N adalah jumlah *feeder*.

Dengan asumsi $a = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$ [10], [11], maka keluaran daya reaktif DG dapat diekspresikan dengan persamaan berikut:

$$Q_{DGi} = aP_{DGi} \quad (6)$$

dengan $\text{sign} = +1$ jika DG menginjeksi daya reaktif, $\text{sign} = -1$ jika DG mengambil daya reaktif dan PF_{DG} adalah faktor daya dari DG.

Daya aktif dan daya reaktif yang diinjeksikan pada bus i , dimana DG terletak, diekspresikan dengan persamaan berikut:

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

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = aP_{DGi} - Q_{Di} \quad (8)$$

Dari persamaan (3), (7), dan (8), rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \alpha_{ij} [(P_{DGi} - P_{Di})P_j + (aP_{DGi} - Q_{Di})Q_j] + \beta_{ij} [(aP_{DGi} - Q_{Di})P_j - (P_{DGi} - P_{Di})Q_j] \} \quad (9)$$

Total rugi-rugi daya aktif pada sistem akan minimum jika turunan parsial dari persamaan (9) terhadap injeksi daya aktif dari DG ke bus i menjadi 0. Setelah disederhanakan dan penyusunan ulang, persamaan (9) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_j + aQ_j) + \beta_{ij}(aP_j - Q_j)] = 0 \quad (10)$$

Persamaan (8) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\alpha_{ii}(P_i + aQ_i) + \beta_{ii}(aP_i - Q_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) + a \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) = 0 \quad (11)$$

$$\text{set} \begin{cases} X_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}P_j - \beta_{ij}Q_j) \\ Y_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij}Q_j - \beta_{ij}P_j) \end{cases} \quad (12)$$

Dari persamaan (7), (8), (11), dan (12), dapat dikembangkan persamaan (13),

$$\alpha_{ii}(P_{DGi} - P_{Di} + a^2P_{DGi} - aQ_{Di}) + \beta_{ii}(Q_{Di} - aP_{Di}) + X_i + aY_i = 0 \quad (13)$$

Dari persamaan (13), nilai kapasitas DG optimal di setiap bus i untuk meminimalkan rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{DGi} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + aQ_{Di}) + \beta_{ii}(aP_{Di} - Q_{Di}) - X_i - aY_i}{a^2\alpha_{ii} + \alpha_{ii}} \quad (14)$$

C. Flower Pollination Algorithm

Pada kehidupan nyata, setiap tumbuhan dapat memiliki beberapa bunga, dan masing-masing bunga mengeluarkan ribuan bahkan jutaan gamet serbuk sari. Pada FPA, untuk penyederhanaannya, diasumsikan setiap tumbuhan hanya memiliki satu buah bunga dan setiap bunga tersebut hanya memproduksi satu buah gamet serbuk sari. Penyederhanaan ini berarti satu buah solusi x_i ekuivalen dengan satu bunga dan/atau satu gamet serbuk sari. Dua langkah kunci pada algoritma ini yaitu polinasi global dan polinasi lokal. Pada langkah polinasi global, serbuk sari dibawa oleh polinator dan dapat berpindah dengan jarak yang jauh. Hal ini memastikan polinasi dan reproduksi yang paling optimal (nilai *fitness* terbaik) dan nilai *fitness* tersebut direpresentasikan sebagai g^* . Aturan pertama sekaligus hubungan spesifik bunga dapat direpresentasikan secara matematis sebagai berikut:

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

dengan x_i^{t+1} adalah serbuk sari i atau vektor solusi x_i pada iterasi ke- t dan g^* adalah solusi terbaik terbaru dari semua solusi pada generasi atau iterasi terbaru. Parameter L adalah kekuatan polinasi yang secara esensial adalah ukuran langkah. Karena serangga sebagai polinator mungkin bergerak pada jarak yang jauh dengan berbagai ukuran langkah. Gerak *levy* digunakan untuk merepresentasikan karakteristik ini. Persamaan $L > 0$ diambil dari distribusi *levy* sebagai berikut:

$$L = Z \frac{R \left(\frac{\Gamma(1 + \beta) \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) \beta \frac{\beta - 1}{2}} \right)}{|R|^{\frac{1}{\beta}}}$$

dengan $\Gamma(\lambda)$ adalah fungsi gamma standar, R adalah bilangan acak normal, β adalah faktor penyekala langkah *levy* yang pada penelitian ini bernilai 3/2, dan Z adalah konstanta langkah *levy* yang pada penelitian ini bernilai 0,01.

Pada polinasi lokal atau aturan kedua, hubungan spesifik bunga direpresentasikan sebagai:

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

dimana x_k^t dan x_j^t adalah serbuk sari dari bunga yang lain pada jenis yang sama. Secara matematis, jika x_k^t dan x_j^t datang dari jenis yang sama atau dipilih dari populasi yang sama, akan menjadi langkah acak lokal jika nilai ϵ merupakan distribusi seragam dari 0 hingga 1. Kebanyakan aktivitas penyerbukan bunga dapat terjadi pada skala lokal maupun global. Para praktiknya, bunga yang

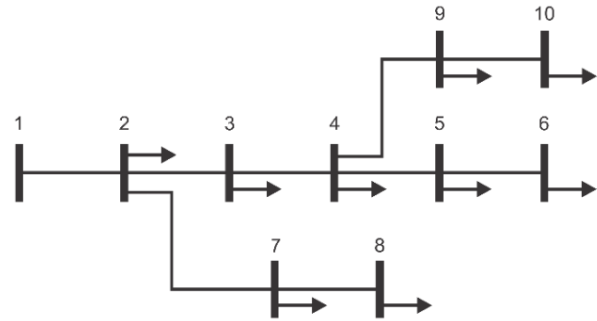
berdekatan lebih sering terpolinasi dari serbuk sari bunga lokal. Oleh karena itu, digunakan kemungkinan pergantian seperti pada aturan keempat atau kemungkinan pendekatan p untuk berganti dari polinasi global bersama menjadi polinasi lokal yang intensif. Untuk memulai, dapat digunakan $p = 0,5$ sebagai nilai awal, dan telah diteliti bahwa untuk simulasi, nilai $p = 0,8$ bekerja lebih baik pada kebanyakan aplikasi [6].

D. Perancangan Sistem

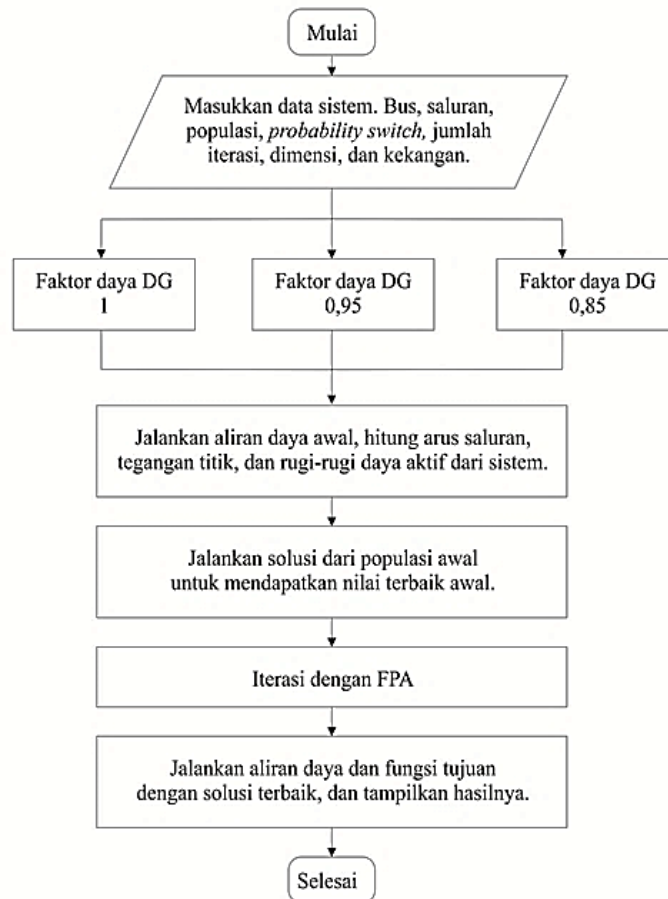
Data yang dibutuhkan untuk menjalankan penelitian ini adalah data resistansi (R), reaktansi (X), titik beban aktif (P), data titik saluran digunakan untuk mendefinisikan sistem *feeder* pada gardu induk ke dalam bentuk komputasi. Level tegangan pada sistem *feeder* menggunakan level tegangan basis 12,66 kV [9]. Gambar 2 merupakan diagram satu garis sistem GI Pinayungan dengan 10 *feeder* dengan data saluran dan beban disajikan pada Tabel 1.

Hasil optimisasi akan diterima ketika tegangan pada setiap titik *feeder* memenuhi keangan tegangan standar yang ditentukan yaitu $V_{min} < V_{bus} < V_{max}$. Hasil optimisasi juga harus memenuhi ketersediaan batas kapasitas DG yang ada di

pasaran yaitu $P_{min} < P_{DG} < P_{max}$. Jenis DG yang digunakan pada penelitian ini adalah *wind-based* DG. Hal ini dikarenakan *wind-based* DG lebih fleksibel digunakan dan dipasang di beberapa lokasi dengan kecepatan angin rendah, sedang, maupun tinggi. Adapun data kecepatan angin di GI Pinayungan 10 *feeder* dapat dilihat pada Tabel 2. Diagram alir penelitian lokasi dan kapsitas DG pada jaringan distribusi untuk mrngurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram satu garis sistem GI Pinayungan 10 feeder



Gambar 3. Diagram alir dengan fungsi tujuan meminimalkan losses

Tabel 1. Data saluran dan beban GI Pinayungan 10 feeder

Feeder no.	From feeder	To feeder	R (Ω)	X (Ω)	Beban feeder	
					P (kW)	Q (kVAR)
1	1	2	0,0044	0,0229	0	0
2	2	3	0,0044	0,0229	443	148,8
3	3	4	0,0044	0,0229	279,3	92,2
4	4	5	0,0044	0,0229	443	148,8
5	5	6	0,0044	0,0229	116	76,1
2	2	7	0,0044	0,0229	160	76,1
7	7	8	0,0044	0,0229	105	84,9
4	4	9	0,0044	0,0229	201	76,1
9	9	10	0,0044	0,0229	219,3	84,9

Tabel 2. Data kecepatan angin GI Pinayungan 10 feeder

Feeder No.	VI (m/s)	VR (m/s)	Vo (m/s)	PR (kW)	Vangin
1	2,5	12,5	25	100	1
2	2,5	12,5	25	100	2
3	2,5	12,5	25	100	3
4	2,5	12,5	25	100	4
5	2,5	12,5	25	100	5
6	2,5	12,5	25	100	6
7	2,5	12,5	25	100	7
8	2,5	12,5	25	100	8
9	2,5	12,5	25	100	9
10	2,5	12,5	25	100	10

Dengan menggunakan aplikasi MATLAB, dari Gambar 3 di atas dapat dilihat, mulai dari *input* nilai sampai penentuan nilai faktor daya kemudian menjalankan metode penyelesaian aliran daya pada jaringan distribusi. Selanjutnya, iterasi dengan FPA dimulai dengan melakukan polinasi dari setiap individu populasi yang dibangkitkan. Setelah itu dibandingkan nilai fungsi tujuan dengan solusi terbaik sebelumnya dengan solusi terbaik yang baru. Nilai fungsi tujuan yang terbaik diantara keduanya akan dijadikan solusi terbaik untuk iterasi saat ini. Iterasi selanjutnya dilakukan dengan prosedur yang sama saat dimulainya iterasi pertama. Hal ini berlangsung berulang-ulang sampai akhir dari iterasi dan didapatkan hasil terbaik dari seluruh proses FPA. Hasil inilah yang akan ditampilkan pada akhir metode FPA meliputi berapa jumlah evaluasi yang dilakukan, lokasi DG optimal, kapasitas DG optimal, nilai fungsi tujuan terbaik, dan lama waktu menjalankan program.

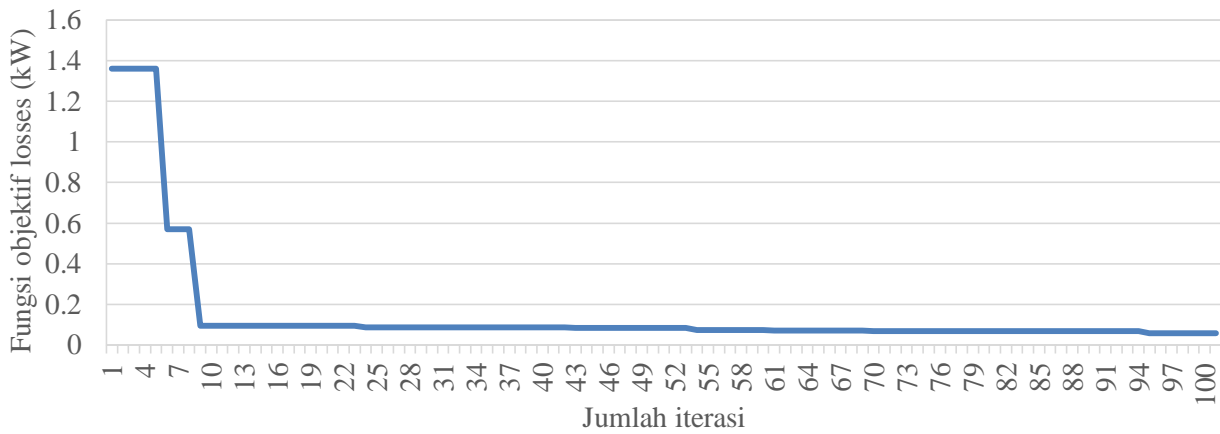
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan 30 (tiga puluh) kali optimisasi yang berulang untuk melihat hasil yang optimal dan memenuhi syarat distribusi normal. Jumlah iterasi yang diberikan sebanyak 100 iterasi dengan populasi 20 di setiap iterasi dengan nilai *probability switch* 0,8 dan jumlah *wind-based* DG tiga titik. Grafik konvergensi dari proses optimisasi

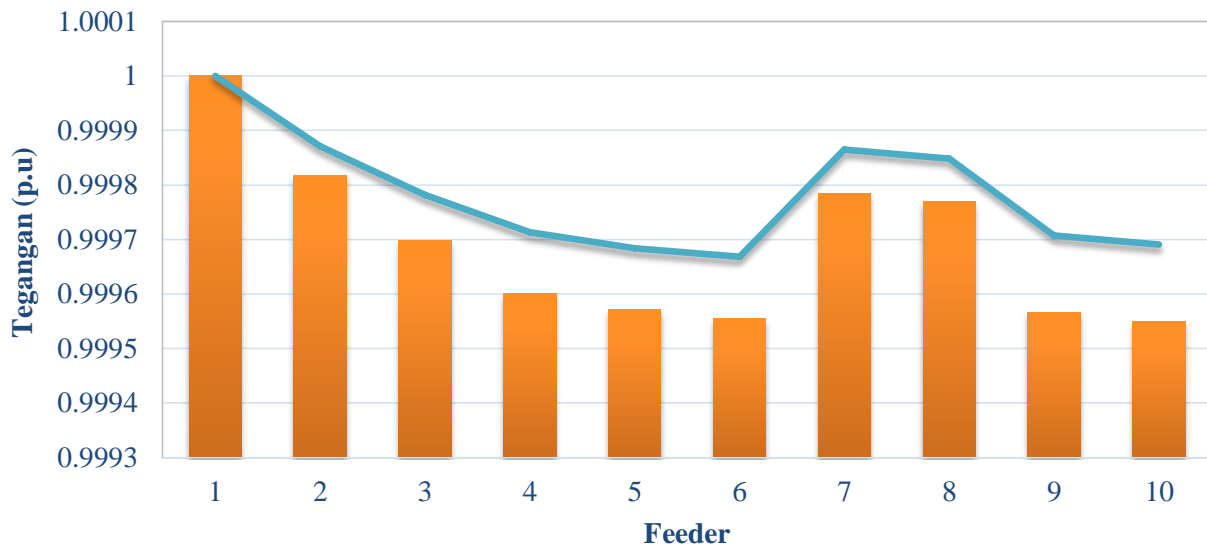
yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai konvergen tercepat terjadi pada iterasi ke-95 dengan total rugi-rugi daya sebesar 59,16 Watt pada sistem feeder GI Pinayungan Karawang. Hal ini disebabkan oleh tingginya beban pada setiap penyulang di sistem distribusi 20 kV PLN Karawang.

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai tegangan minimum sebelum dipasang DG sebesar 0,91 p.u., sedangkan nilai tegangan minimum setelah pemasangan DG 0,97 p.u. Hal ini membuktikan dengan adanya penambahan DG dapat mempertahankan nilai tegangan agar selalu berada pada nilai yang ditentukan. Adapun untuk penempatan *wind-based* DG yaitu terletak pada feeder 8, feeder 6, dan feeder 10 dengan kapasitas masing-masing adalah 341,18 Watt, 557,38 Watt, dan 799,63 Watt.

Berdasarkan hasil penelitian secara keseluruhan, lokasi dan kapasitas *wind-based* DG dapat ditentukan dengan metode FPA. Dengan menggunakan metode ini diharapkan dapat mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada saluran distribusi. Perbandingan performansi metode ini dengan metode lainnya seperti GA dan PSO [5]-[7] belum dapat dilakukan. Namun, berdasarkan kajian pustaka, metode FPA memiliki performa yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode optimisasi lainnya [8].



Gambar 4. Grafik konvergensi terbaik optimasi penempatan dan kapasitas *wind based-DG*



Gambar 5. Profil tegangan GI Pinayungan 10 feeder

IV. KESIMPULAN

Penentuan lokasi dan kapasitas *wind-based* DG di sistem distribusi PLN Karawang menggunakan FPA telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode yang diusulkan telah berhasil dengan baik menentukan lokasi dan kapasitas DG. Optimasi penempatan dan kapasitas DG pada jaringan distribusi memiliki manfaat dari segi perbaikan profil tegangan, dan rugi-rugi daya aktif. Metode optimisasi dengan FPA memberikan hasil yang lebih baik dalam kasus penempatan DG jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Penelitian selanjutnya yang diperlukan yaitu proses optimasi harus mampu mengestimasi kebutuhan biaya untuk pemasangan.

REFERENSI

[1] A. A. B. Rájula, J. M. Amada, J. M. Y. Loyo, and D. Navarro, "Definitions for Distributed Generation : a revision Keywords," in *International*

Conference on Renewable Energy and Power Quality March, 2005, pp. 16-18.

[2] T. Ackermann and G. Andersson, "Electricity Market Regulations and their Impact on Distributed Generation," in *International conference on electric utility deregulation and restructuring and power technologies*, 2000, 608-613.

[3] H. H. Zeineldin, S. Member, and M. M. A. Salama, "Distributed Generation Micro- Grid Operation : Control and Protection ctelygiing," in *2006 Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources*, IEEE, 2006, pp. 105-111.

[4] W. El-Khattam and M. M. Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," *Electric power systems research*, vol. 71, no. 2, pp. 119-128, 2004.

[5] V. K. Shrivastava, O. P. Rahi, V. K. Gupta, and J. S. Kuntal, "Optimal placement methods of distributed generation: a review," *IEEE Transactions on Power Systems*, pp. 978-981, 2012.

[6] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi, "Optimal Configuration of DG in Distribution

- System: An Overview,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2016, pp. 01007.
- [7] A. Parizad, A. Khazali, and M. Kalantar, “Optimal placement of distributed generation with sensitivity factors considering voltage stability and losses indices,” in *18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, IEEE, 2010, p. 848-855.
- [8] D. Agarwal, S. A. Siddiqui, and N. K. Swarnkar, “GA based Optimal DG Placement for Power Loss Reduction and Voltage Stability Improvement,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 5, no. 4, pp. 558-563, 2016.
- [9] X. Yang, “Flower Pollination Algorithm for Global Optimization,” in *International conference on unconventional computing and natural computation*, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 240-249.
- [10] M. Musofa, M. Pambudy, S. P. Hadi, and H. R. Ali, “Flower Pollination Algorithm for Optimal Control in Multi-Machine System with GUPFC,” in *2014 6th International conference on information technology and electrical engineering (ICITEE)*, IEEE, 2014, pp. 1-6.
- [11] H. A. Attia, “Optimal voltage profile control and losses minimization of radial distribution feeders,” in *2008 12th Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2008*, 2008, pp. 453-458.

