

# Optimisasi Penempatan dan Kapasitas *Wind-based Distributed Generation* untuk Minimisasi *Losses* Menggunakan Metode *Flower Pollination Algorithm*

Dian Budhi Santoso, Sarjiya, Sasongko Pramono Hadi

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia

dian.budhi.s@mail.ugm.ac.id, sarjiya@mti.ugm.ac.id, sasongko@te.ugm.ac.id

**Abstract**— Distributed generation (DG) is the technology of small-scale power generation that produces electrical power at a place closer to the consumer compared to the power station. Generating electrical power can be connected directly to the consumer or to the distribution and transmission systems. There are several types of DG based on the technology it uses, namely traditional combustion generators, and non-traditional combustion generators. One form of non-traditional DG combustion generators are wind turbine. Wind turbine energy is not new, but has been used for decades. Wind turbine power plants included in the category of environmentally friendly because it does not produce pollutants such as other plant species. DG placement can affect the power flow and voltage on the bus in the distribution system. Therefore, the placement of DG must be considered and planned in detail in order to work optimally. DG is not optimal placement may increase the losses in the system, so the effect on the voltage profile will decline. Placement and optimum DG capacity can affect the increase of the voltage profile, reduce losses, increase distribution capacity, and improve the reliability of the system. After the simulation is known that the determination of the location and capacity of DG using FPA method capable reduces losses amounted to 47.14% and improve the voltage profile on the system test systems IEEE 33-bus radial. In addition, the FPA is also able to determine the amount of wind-based DG which will be placed on a specific bus.

**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 [3]. Terdapat beberapa tipe DG berdasarkan teknologi yang digunakannya, yaitu *traditional combustion generators*, dan *non-traditional combustion generators*. Salah satu bentuk DG *non-traditional combustion generators* adalah *wind turbine*. *Wind turbine* bukan merupakan energi yang baru, melainkan sudah digunakan selama beberapa dekade. Dalam *wind turbine* terdiri dari rotor, *turbine blades*, dan generator. *Wind turbine* termasuk dalam kategori pembangkit listrik yang ramah

lingkungan karena tidak menghasilkan polusi seperti jenis pembangkit lain [2].

Penempatan DG dapat mempengaruhi aliran daya dan tegangan pada bus di sistem distribusi. Oleh karena itu, penempatan DG harus diperhitungkan dan direncanakan secara detail agar dapat bekerja secara optimal. Penempatan DG yang tidak optimal dapat meningkatkan *losses* pada sistem, sehingga berpengaruh terhadap profil tegangan yang akan menurun [4][5][6][7]. Selain itu, kapasitas DG harus diperhatikan untuk memberikan dampak positif dari pemasangan DG yang dikenal sebagai "*system support benefits*". Penempatan dan kapasitas DG yang optimal dapat berpengaruh kepada peningkatan profil tegangan, mengurangi *losses*, meningkatkan kapasitas distribusi, dan meningkatkan keandalan pada sistem [8][9]. Dalam prakteknya, pola beban di jaringan distribusi bervariasi berdasarkan waktu. Penempatan dan kapasitas DG yang optimal di beban yang bervariasi mungkin tidak optimal, karena permintaan beban selalu berbeda tiap waktu. Oleh karena itu, untuk tujuan perencanaan, penempatan dan kapasitas DG ditentukan dengan mempertimbangkan beban puncak, rata-rata atau kombinasi dari dua kondisi pembebanan untuk mendapatkan hasil maksimal [10].

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)[11].

Penentuan lokasi dan kapasitas DG menggunakan metode FPA diharapkan mampu menempatkan DG dengan kapasitas tertentu sehingga dapat mengurangi *losses* dan memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi. Dalam penelitian ini akan menggunakan sistem tes IEEE 33-bus dan akan membandingkan kondisi saat sistem dalam keadaan normal atau tanpa DG dan dengan adanya DG.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem daya listrik yang mengalirkan daya dari gardu induk menuju konsumen. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit umumnya dinaikkan menjadi 70 kV, 150 kV, dan 500 kV melalui transformator penaik tegangan pada saluran transmisi, sebelum diturunkan di gardu induk menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer diturunkan dalam gardu distribusi menjadi tegangan rendah yaitu 380/220 volt, selanjutnya disalurkan ke konsumen.

B. Wind Turbine (WT)

Wind turbine bukan merupakan energi yang baru, melainkan sudah digunakan selama beberapa dekade. Dalam wind turbine terdiri dari rotor, turbine blades, dan generator. Wind turbine termasuk dalam kategori pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi seperti jenis pembangkit lain [2].

Pada prakteknya, untuk mencegah kerusakan turbin angin, maka turbin angin dirancang agar memiliki kecepatan maksimal (cut-out) yang relatif besar yang ditunjukkan pada Fig. 1. untuk mengantisipasi kecepatan angin yang besar [12].

$$P_w = \begin{cases} 0 & V \leq V_i \\ \frac{V^n - V_i^n}{V_R^n - V_i^n} \times Pr & V_i \leq V \leq V_R \\ Pr & V_R \leq V \leq V_0 \\ 0 & V > V_0 \end{cases}$$

dengan:

- $P_w$  : daya output dari turbin angin (watt).
- $P_R$  : daya rata-rata angin.
- $V_i$  : kecepatan angin saat di awal (cut-in).
- $V_R$  : kecepatan rata-rata angin (rated).
- $V_0$  : kecepatan maksimal (cut-out).

Parameter turbin yang digunakan adalah sebagai berikut:

$V_i = 2.5m/s, V_R = 12.5m/s, V_0 = 25m/s, dan P_R = 100kW.$

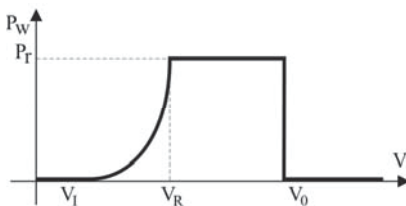


Fig. 1. Batasan Generator pada Turbin Angin

C. Metode Aliran Daya Sistem Radial

Matriks admittans tidak digunakan pada aliran daya jaringan distribusi, berbeda dengan metode aliran daya pada jaringan transmisi. Pada kasus ini, karena rendahnya keterhubungan antara saluran satu dengan lainnya, persamaan KVL dan KCL secara langsung dibentuk pada bagian saluran.

Dari sekian banyak metode, backward and forward sweep adalah metode yang efisien [13]. Pada backward sweep, dimulai dari titik ujung terjauh dari jaringan, arus beban pada titik beban. Oleh karena itu, arus yang mengalir pada saluran dihitung menurut asumsi atau hasil kalkulasi dari tegangan pada iterasi sebelumnya. Setelah menghitung arus yang mengalir pada saluran, pada forward sweep, dimulai dari titik sumber, tegangan dari masing-masing titik bus diperbarui. Setelah forward sweep, kompensasi arus injeksi dihitung. Lalu kriteria konvergensi diuji. Ada berbagai macam kriteria konvergensi yang disesuaikan dengan titik tegangan, beban atau arus saluran, dan masukan daya ke jaringan.

Berdasarkan penjelasan di atas, dikembangkan metode aliran daya distribusi untuk jaringan dengan jumlah sumber yang banyak.

D. Backward Sweep

Prosedur dari penyelesaian aliran daya dimulai dengan backward sweep. Pada iterasi pertama, tegangan dari semua titik diasumsikan sama dengan tegangan pada sumber utama. Jika ada beberapa sumber pada jaringan, arus injeksi kompensasi pada sumber tersebut bernilai nol pada iterasi pertama. Di sisi lain, tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi dihitung pada iterasi sebelumnya. Ketika tegangan pada masing-masing titik dan arus injeksi kompensasi sudah diketahui, arus beban dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$I_{lai} = \left[ \frac{P_i + jQ_i}{V_i} \right]^*$$

dengan,

$I_{lai}$  : Arus beban pada titik  $i$

$P_i$  : Kebutuhan daya aktif pada titik  $i$

$Q_i$  : Kebutuhan daya reaktif pada titik  $i$

$V_i$  : Tegangan pada titik  $i$

E. Forward Sweep

Pada forward sweep, dimulai dari titik sumber utama dimana nilai tegangannya diketahui, impedansi dan arus yang mengalir pada masing-masing saluran sudah diketahui, semua tegangan titik diperbarui mengabaikan sumber lainnya jika ada.

$$V_i = V_{Ui} - Z_i I_{Li} \quad i = 1, \dots, N$$

Dimana:

$V_i$  : Tegangan pada titik  $i$

$V_{Ui}$  : Tegangan pada atas dari titik  $i$

$Z_i$  : Impedansi saluran  $i$

$I_{Li}$  : Arus yang mengalir pada saluran  $i$

III. FUNGSI OBJEKTIF

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

$$f(x) = \min \left( \sum_{i=1}^N P_{Li} \right).$$

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" [14][15].

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

dengan,

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j). \quad (2)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j). \quad (3)$$

$V_i < \delta_i$  : Tegangan kompleks pada bus ke- $i$

$r_{ij} + jx_{ij} = Z_{ij}$  : Elemen ke- $ij$  dari matriks impedans [Zbus]

$P_i$  dan  $P_j$  : Injeksi daya aktif masing-masing pada bus ke- $i$  dan ke- $j$

$Q_i$  dan  $Q_j$  : Injeksi daya reaktif masing-masing pada bus ke- $i$  dan ke- $j$

$N$  : Jumlah bus

Diasumsikan  $a = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$  [14][15], maka keluaran daya reaktif DG dapat diekspresikan dengan persamaan berikut:

$$Q_{DGi} = a P_{DGi}. \quad (4)$$

Dengan,

$\text{sign} = +1$ : DG menginjeksi daya reaktif

$\text{sign} = -1$ : DG mengambil daya reaktif

$PF_{DG}$  adalah faktor daya dari DG

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

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di}. \quad (5)$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di} = a P_{DGi} - Q_{Di}. \quad (6)$$

Dari persamaan (1), (5), dan (6), rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{ \alpha_{ij} [(P_{DGi} - P_{Di}) P_j + (a P_{DGi} - Q_{Di}) Q_j] + \beta_{ij} [(a P_{DGi} - Q_{Di}) P_j - (P_{DGi} - P_{Di}) Q_j] \}. \quad (7)$$

Total rugi-rugi daya aktif pada sistem akan minimum jika turunan parsial dari persamaan (7) terhadap injeksi daya aktif dari DG ke bus  $i$  menjadi 0. Setelah disederhanakan dan penyusunan ulang, persamaan (7) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{DGi}} = 2 \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_j + a Q_j) + \beta_{ij}(a P_j - Q_j)] = 0 \quad (8)$$

Persamaan (8) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\alpha_{ii}(P_i + a Q_i) + \beta_{ii}(a P_i - Q_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) + a \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j) = 0 \quad (9)$$

$$\text{set} \begin{cases} X_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) \\ Y_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j). \end{cases} \quad (10)$$

Dari persamaan (5), (6), (9), dan (10), dapat dikembangkan persamaan (11),

$$\alpha_{ii}(P_{DGi} - P_{Di} + a P_{DGi} - a Q_{Di}) + \beta_{ii}(Q_{Di} - a P_{Di}) + X_i + a Y_i = 0 \quad (11)$$

Dari persamaan (11), nilai kapasitas DG optimal di setiap bus  $i$  untuk meminimalkan rugi daya aktif dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{DGi} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + a Q_{Di}) + \beta_{ii}(a P_{Di} - Q_{Di}) - X_i - a Y_i}{a^2 \alpha_{ii} + \alpha_{ii}}. \quad (12)$$

#### IV. 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,

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

Di mana  $x_i^{t+1}$  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*,

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

Dengan  $\Gamma(\lambda)$  adalah fungsi gamma standar,  $R$  adalah bilangan acak normal,  $\beta$  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.

Bunga mereproduksi keturunan mereka dengan cara penyerbukan. Bunga-bunga itu bisa menyebarkan serbuk sari ke bunga lainnya melalui serangga atau fenomena alam seperti angin atau air. Fig. 2. menjelaskan tentang serangga yang tertarik dengan warna dan keharuman bunga. Fig. 2. (a) menggambarkan serangga yang bergerak ke bunga  $X_{best}$  sambil mengumpulkan madu di bunga  $X_i$  agar serbuk sari bisa lewat antara bunga yang satu dan bungan yang lain. Operasi ini disebut penyerbukan biotik atau penyerbukan global. Fig. 2. (b) menunjukkan serbuk sari bunga  $X_j$  Dikirim ke bunga tetangga  $X_k$  melalui angin. Operasi ini disebut penyerbukan abiotik atau penyerbukan lokal. Melalui penyerbukan biotik dan abiotik, bunga akan menukarkan serbuk sari dengan cara yang lebih fleksibel [16].

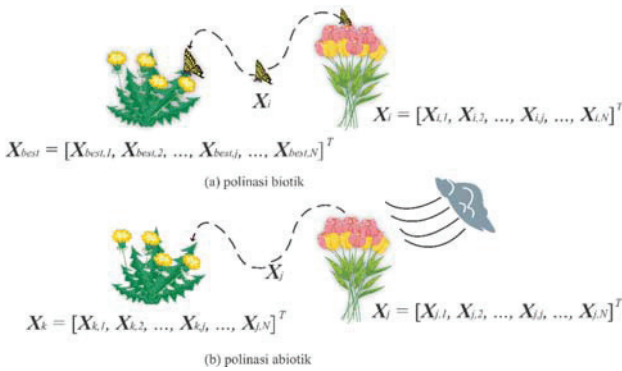


Fig. 2. Perilaku Penyerbukan Bunga

Kelompok bunga dapat diformulasikan kedalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$X = [X_{i,1}, X_{i,2}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{i,N}]^T$$

Dimana  $i$  mewakili jumlah bunga dan  $j$  mewakili dimensi posisi bunga [16]. Formulasi ini adalah gambaran dari lokasi *wind-based* DG yang akan ditempatkan pada bus yang memiliki total rugi-rugi daya paling minimal.

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

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

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  $\epsilon$  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].

V. PERANCANGAN SISTEM

Data yang diolah pada penelitian ini merupakan data sekunder. Data yang dibutuhkan untuk menjalankan penelitian ini adalah data resistansi (R), reaktansi (X), titik beban aktif (P) dan reaktif (Q), data titik saluran, panjang saluran yang digunakan untuk mendefinisikan sistem tes IEEE 33-bus ke dalam bentuk komputasi [17][18][19]. Level tegangan pada sistem tes menggunakan level tegangan basis 12,66 kV [20]. Metode yang diusulkan telah diuji pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus yang ditunjukkan pada Fig. 3. menggunakan MATLAB Version 7.6.0.324 (R2008a) dengan spesifikasi laptop Processor Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @2.20 Ghz (4 CPUs), RAM 8 GB dan sistem operasi Windows 10 Education 64-bit (English). Adapun diagram satu garis dari sistem tes IEEE 33-bus ditunjukkan pada Fig. 3. sebagai berikut:

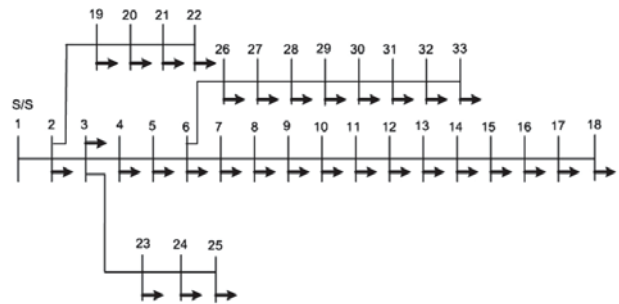


Fig. 3. Diagram Satu Garis Sistem Tes IEEE 33 bus

Dengan data saluran dan beban yang terhubung di bus tujuan yang ditunjukkan pada Table I. sebagai berikut [21][20][22][23]:

TABLE I. DATA SALURAN DAN BEBAN SISTEM TES IEEE 33 BUS

Branch No.	From bus	To bus	R (Ω)	X (Ω)	Load at to bus	
					P (kW)	Q (kW)
1	1	2	0.0922	0.0477	0	0
2	2	3	0.4930	0.2511	100	60
3	3	4	0.3660	0.1864	90	40
4	4	5	0.3811	0.1941	120	80
5	5	6	0.8190	0.7070	60	30
6	6	7	0.1872	0.6188	60	20
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.0300	0.7400	200	100
9	9	10	1.0400	0.7400	60	20
10	10	11	0.1966	0.0650	60	20
11	11	12	0.3744	0.1238	45	30
12	12	13	1.4680	1.1550	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	60	35
14	14	15	0.5910	0.5260	120	80
15	15	16	0.7463	0.5450	60	10
16	16	17	1.2890	1.7210	60	20
17	17	18	0.7320	0.5740	60	20
18	2	19	0.1640	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	40

23	23	24	0.8980	0.7091	90	50
24	24	25	0.8960	0.7011	420	200
25	6	26	0.2030	0.1034	420	200
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.0590	0.9337	60	25
28	28	29	0.8042	0.7006	60	20
29	29	30	0.5075	0.2585	120	70
30	30	31	0.9744	0.9630	200	600
31	31	32	0.3105	0.3619	150	70
32	32	33	0.3410	0.5302	210	100

Hasil optimisasi akan diterima ketika tegangan pada setiap titik bus memenuhi kekangan tegangan standar.

$$V_{min} < V_{bus} < V_{max}$$

Hasil optimisasi juga harus memenuhi ketersediaan batas kapasitas DG yang dijual di pasar.

$$P_{min} < P_{DG} < P_{max}$$

Berikut pada Fig. 4. merupakan diagram alir penelitian optimisasi penempatan dan kapasitas DG pada jaringan distribusi dengan fungsi tujuan rugi-rugi daya aktif minimal:

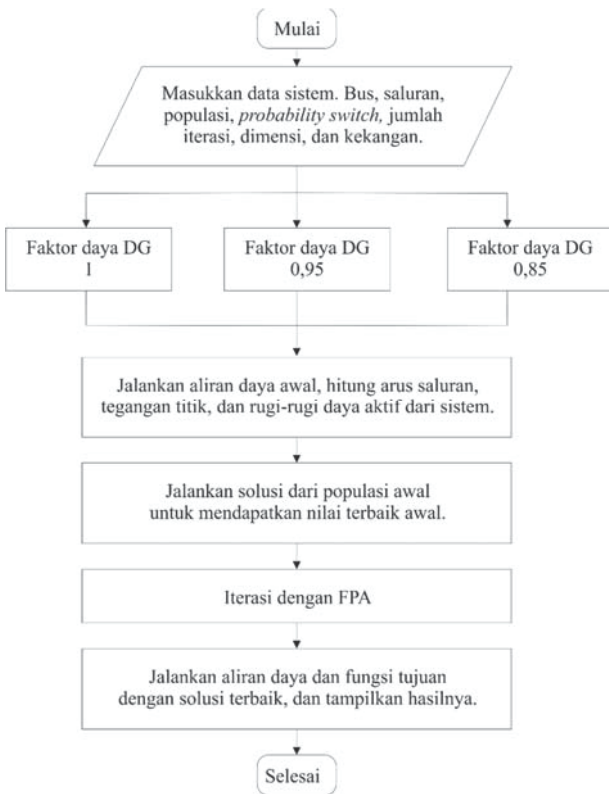


Fig. 4. Diagram Alir Optimisasi Fungsi Tujuan Rugi-rugi Daya Aktif Minimal

### VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai konvergen tercepat dengan menggunakan metode FPA terjadi pada iterasi ke 87 dengan  $f_{min}$  atau total rugi-rugi daya sebesar 111,0465 kW pada sistem tes IEEE 33-bus yang ditunjukkan pada Fig. 5.

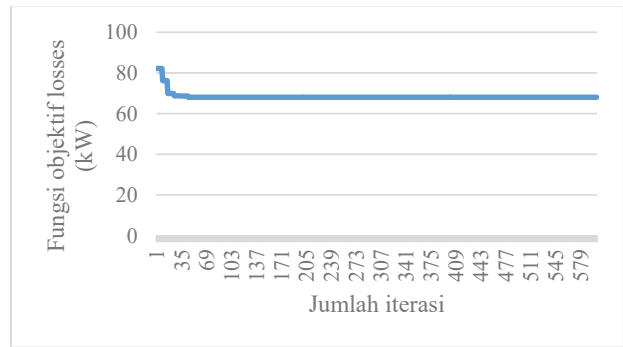


Fig. 5. Grafik Konvergensi Terbaik Optimisasi Penempatan dan Kapasitas DG untuk Meminimalkan Rugi-rugi Daya dengan Metode FPA

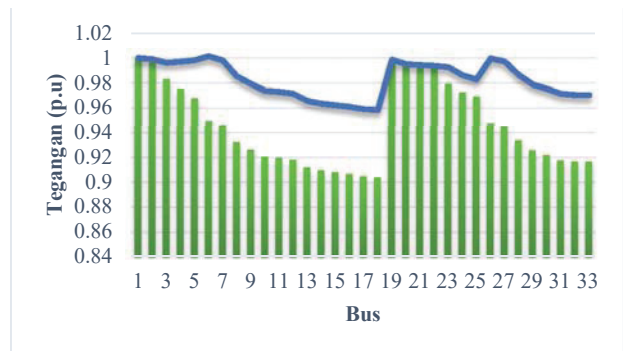


Fig. 6. Profil Tegangan Sistem Tes IEEE 33 bus dengan Fungsi Tujuan Meminimalkan Rugi-rugi Daya

Pada Fig. 5. menunjukkan bahwa selain memberikan manfaat yang besar, penambahan DG pada saluran distribusi juga akan mengurangi rugi-rugi daya aktif, Fig. 6. menunjukkan manfaat penempatan DG dalam hal memperbaiki kualitas profil tegangan. Berdasarkan hasil optimisasi didapatkan rugi-rugi daya aktif sebelum pemasangan DG sebesar 210,059 kW dan setelah pemasangan DG menjadi 111,046 kW, sehingga manfaat pengurangannya sebesar 47,14 %. Pada profil tegangan, nilai tegangan minimum sebelum dipasang DG sebesar 0,91 p.u., sedangkan nilai tegangan minimum setelah pemasangan DG menjadi 0,97 p.u.

TABLE II. PERBANDINGAN FPA DENGAN METODE LAIN

Keterangan	Hasil uji pada sistem tes IEEE 33-bus			
	FPA	Analytical [44]	BSOA [43]	FPA
Bus optimal	7	6	8	8
Kapasitas DG (kW)	2.755	2.490	1.857	2.145
$\Sigma P_{loss}$ kW (dengan DG)	111,046	115,15	118,120	117,95
Pengurangan losses (%)	47,14	45,43	43,77	43,85

Berdasarkan Tabel II. dapat disimpulkan hasil optimisasi pengurangan rugi-rugi daya akibat penempatan DG di bus 7 dengan kapasitas 2.755,9943 kW dengan metode FPA memiliki

penurunan rugi-rugi daya sebesar 47,14 % dari rugi-rugi daya sebelum dipasang DG yaitu sebesar 210,059 kW menjadi 111,046 kW. Nilai ini termasuk nilai yang terbaik jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan metode analitikal dengan pengurangan rugi-rugi daya sebesar 45,43 %, dan metode BSOA dengan pengurangan rugi-rugi daya sebesar 43,77 %.

#### VII. KESIMPULAN

Penempatan dan kapasitas DG optimal untuk meminimalkan rugi-rugi daya aktif pada jaringan distribusi dengan asumsi faktor daya DG 1 pada sistem tes IEEE 33-bus terletak pada bus 7 dengan kapasitas 2.755 kW dengan rata-rata jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai nilai konvergen sebanyak 166,87 iterasi dalam rata-rata waktu 19,717 detik dan standar deviasi sebesar 40,149. Optimisasi penempatan dan kapasitas DG pada jaringan distribusi memiliki manfaat dari segi perbaikan profil tegangan, dan rugi-rugi daya aktif. Hal ini direpresentasikan dengan nilai penurunan rugi-rugi daya aktif setelah dipasang DG sebesar 111,046 kW atau 47,14 %. Metode optimisasi dengan FPA memberikan hasil yang lebih baik dalam kasus penempatan DG jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.

#### REFERENCES

- [1] A. A. B. Rujula, J. M. Amada, J. M. Y. Loyo, and D. Navarro, "Definitions for Distributed Generation : a revision Keywords :", vol. 1, no. 3, pp. 340–343, 2005.
- [2] M. M. A. Salama, "Distributed generation technologies , definitions and benefits," vol. 71, no. August 2002, pp. 119–128, 2004.
- [3] Ackermann, T. G. (2011). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57 195–204.
- [4] V. Kumar, S. O. P. Rahi, V. Kumar, and J. S. Kuntal, "Optimal Placement Methods of Distributed Generation : A Review," pp. 978–981, 2012.
- [5] K. Mahesh, P. Nallagownden, and I. Elamvazuthi, "Optimal Configuration of DG in Distribution System : An Overview," vol. 7, pp. 1–5.
- [6] A. Parizad, "Optimal Placement of Distributed Generation with Sensitivity Factors Considering Voltage Stability and Losses Indices."
- [7] 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. 4, pp. 558–563, 2016.
- [8] Ameli SBA, Khazaeli F, Haghifam MR. A multiobjective particle swarm optimization for sizing and placement of DGs from DG owner's and distribution company's viewpoints. *IEEE Trans Power Delivery* 2014;29(4):1831–40.
- [9] Rahim S, Musirin I, Sulaiman M, Hussain M, Azmi A. Assessing the performance of DG in distribution network. In: 2012 IEEE international power engineering and optimization conference (PEDCO). Melaka (Malaysia); 2012. p. 436–41.
- [10] Nekooei K, Farsangi MM, Nezamabadi-Pour H, Lee KY. An improved multi-objective harmony search for optimal placement of DGs in distribution systems. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4:557–67.
- [11] Yang X-S. Flower pollination algorithm for global optimization. In: *Unconventional computation and natural computation*. Springer; 2012. p. 240–9.
- [12] S. Shojaeian and K. Branch, "Optimal sizing and allocating of wind turbines based on probabilistic methods," vol. 2, no. 2, 1843.
- [13] Shateri, H. S. "Load Flow Method for Distribution Networks with Multiple Sources Nodes," *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, 987-1-4244-2895-3/08, 2008.
- [14] B. V. Reddy, "Sizing of DG Units Using Exact Loss Formula to Improve Efficiency of Radial Distribution System," vol. 10, 2014.
- [15] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, R. C. Bansal, and S. Member, "Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks," vol. 25, no. 3, pp. 814–820, 2010.
- [16] S. Huang, S. Member, P. Gu, W. Su, X. Liu, and T. Tai, "Application of Flower Pollination Algorithm for Placement of Distribution Transformers in A Low-Voltage Grid," pp. 1280–1285, 2015.
- [17] Parasher, R, "Load Flow Analysis of Radial Distribution Network Using Linear Data Structure," Kota: Yagyavalkya Institute of Technology, Jaipur Rajasthan Technical University, 2013.
- [18] Sirisumrannukul, S, "Network Reconfiguration for Reliability Worth Enhancement in Distribution Systems by Simulated Annealing," *Simulated Annealing, Theory with Applications*, Rui Chibante (Ed.). InTech, 2010.
- [19] Baran, M. E, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and load Balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, 1989.
- [20] Naik, S. N, "Analytical Approach for Optimal Siting and Sizing of Disributed Generation in Radial Distribution Networks," *ET Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 9, Iss. 3, pp. 209–220 doi: 10.1049/iet-gtd.2014.0603, 2015.
- [21] E. Afzalan, M. A. Taghikhani, and M. Sedighzadeh, "Optimal Placement and Sizing of DG in Radial Distribution Networks Using SFLA," vol. 2, no. 3, pp. 73–77, 2012.
- [22] A. Wazir and N. Arbab, "Analysis and Optimization of IEEE 33 Bus Radial Distributed System Using Optimization Algorithm," vol. 1, no. 2, 2016.
- [23] K. S. Kumar and T. Jayabarathi, "Electrical Power and Energy Systems Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 13–17, 2012.