

OPTIMASI KAPASITAS DG PADA SISTEM DISTRIBUSI UNTUK MENGURANGI RUGI DAYA MENGGUNAKAN ANT COLONY OPTIMIZATION

Fa'ano Hia^{*)}, Juningtyastuti, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*) E-mail : hia.faaano@gmail.com

Abstrak

DG merupakan penerapan pembangkit yang terhubung pada jaringan distribusi tenaga listrik. Pemanfaatan DG selain sebagai alternatif penyediaan pasokan energi listrik dapat pula memberikan pengaruh pada penurunan rugi daya sistem, peningkatan kualitas tenaga dan keandalan sistem. Pada Penelitian ini, dilakukan optimasi kapasitas DG menggunakan *Ant Colony Optimization* untuk melihat pengaruh pemasangan DG terhadap rugi daya sistem distribusi tenaga listrik. Parameter fungsi objektif pada metode *Ant Colony Optimization* ini adalah meminimalisasi rugi daya aktif sistem yang diperoleh dari pemasangan DG berkapasitas yang tepat sehingga profil tegangan pada tiap bus memenuhi standar. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan pada variasi pengujian pemasangan DG pada bus kritis 8, 14, 15 sistem distribusi IEEE 15 bus diperoleh penurunan nilai rugi daya aktif total sebesar 0,102 MW dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,031 MW setelah pemasangan DG.

Kata kunci : Sistem distribusi tenaga listrik, DG, Ant Colony Optimization

Abstract

Distributed Generation (DG) relates to generation applied at electrical distribution network. DG utilization other than as an electrical energy supply also to reduce system losses, improve power quality and reability. On this research, capacity optimization of DG using Ant Colony Optimization performed to observe it's use to of power grid losses reduction. The function on this Ant Colony Optimization is to minimize the total power grid losses by installing DG with it's optimal capacity so that effect on system profile voltage. The results shows the optimal capacity of DG installation at critical buses 8, 14, 15 causes to decrease power grid losses to 0,102 MW from 0,133 MW to 0,031 MW.

Keywords : Power distribution network, DG, Ant Colony Optimization

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi listrik tentu harus diiringi dengan peningkatan pasokan energi listrik. Pemanfaatan DG sebagai alternatif untuk memenuhi pertumbuhan beban juga dapat memberikan pengaruh pada sistem distribusi tenaga listrik.

DG merupakan penerapan pembangkit yang terhubung ke jaringan distribusi tenaga listrik. Pemasangan DG pada sistem dapat mengurangi rugi daya, peningkatan kualitas daya dan peningkatan keandalan sistem[1].

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, pemasangan DG pada lokasi dan kapasitas yang tepat dapat mempengaruhi nilai rugi daya dan tegangan sistem distribusi tenaga listrik. Menurut Bawan dalam

penelitiannya menyatakan pemasangan DG pada bus sistem distribusi memberikan pengaruh penurunan rugi daya sistem distribusi tenaga listrik[2]. Menurut Falagi dkk dalam penelitiannya menyatakan *ant colony optimization* dapat digunakan sebagai solusi optimasi pemasangan pembangkit tersebar[3]. Budiman dalam jurnalnya menyatakan penambahan unit DG dengan daya *output* yang berlebihan dapat menyebabkan kenaikan magnitude tegangan bus apabila penempatan dan penentuan kapasitas DG yang tidak tepat[4].

Berdasarkan penelitian yang telah disebutkan diatas, penulis melakukan penelitian optimasi kapasitas DG menggunakan metode *ant colony optimization* sehingga diharapkan didapatkan kapasitas DG untuk mengurangi rugi daya pada sistem distribusi.

2. Metode

2.1 Distributed Generation (DG)

DG umumnya merujuk penerapan pembangkit yang terhubung ke jaringan distribusi tenaga listrik. Berdasarkan rating kapasitasnya, DG didefinisikan sebagai berikut:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas dari beberapa kilowatt hingga 50 MW.
2. Gas Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit yang umumnya berkapasitas 25 kW dan 25 MW.
3. Preston dan Rastler mendefinisikan kisaran kapasitas DG mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.
4. Cardell mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 500 kW dan 1 MW[5][6].

Berdasarkan pengertian-pengertian di atas dan mempertimbangkan sistem kelistrikan di Indonesia, istilah *Distributed Generation* (DG) yang akan digunakan pada pembahasan-pembahasan berikutnya adalah unit pembangkit listrik yang terhubung langsung ke jaring distribusi atau di sisi konsumen dengan kapasitas yang relatif kecil (kurang dari 10 MW).

2.2 Metode Aliran Daya Newton Raphson

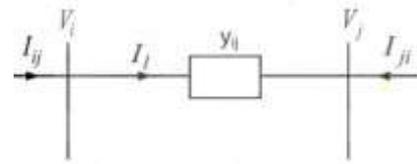
Algoritma perhitungan aliran daya dengan metode newton-Raphson adalah sebagai berikut:

1. Membuat matriks admitansi bus $[Y_{bus}]$ dari data saluran yang ada
2. Memulai iterasi $k = 0$ dengan menentukan nilai P_i^k dan Q_i^k pada bus beban, dan P_i^k pada bus kontrol kemudian mengasumsikan nilai $|V_i|^k$ dan δ_i^k pada semua bus beban dan bus kontrol
3. Menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ pada bus beban dan $\Delta P_i^{(k)}$ pada bus kontrol
4. Menentukan apakah nilai $\Delta P_i^{(k)} \leq \epsilon$ dan $\Delta Q_i^{(k)} \leq \epsilon$ terpenuhi. Jika terpenuhi, maka perhitungan dilanjutkan dengan mencari nilai P_i^k dan Q_i^k pada bus ayun serta Q_i^k pada bus kontrol. Jika tidak terpenuhi, hitung elemen matriks Jacobian agar didapatkan nilai $\Delta \delta^k$ dan $\Delta |V|^k$

Menghitung nilai $\delta_i^{(k+1)}$, $|V_i^{(k+1)}|$, $P_i^{(k+1)}$, dan $Q_i^{(k+1)}$ untuk memulai iterasi $k + 1$ hingga nilai $\Delta P_i^{(k)} \leq \epsilon$ dan $\Delta Q_i^{(k)} \leq \epsilon$ terpenuhi[7-9].

2.3 Perhitungan Rugi Daya Saluran

Pemasangan DG mempertimbangkan kerugian daya pada saluran sehingga perlu menghitung rugi saluran distribusi[9].



Gambar 1. Pemodelan saluran distribusi untuk perhitungan aliran daya

Dengan memisalkan suatu saluran yang menghubungkan bus i dan j seperti ditunjukkan pada gambar 2.13, maka arus pada saluran dapat diperoleh dari persamaan berikut, Arus dari bus i dan j

$$I_{ij} = I_1 + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) y_{i0} V_i \quad (1)$$

Sedangkan dari bus j ke i

$$I_{ji} = -I_1 + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) y_{i0} V_i \quad (2)$$

Besarnya daya total yang mengalir dari bus i ke j dan dari j ke i adalah

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (4)$$

Kerugian daya saluran i ke j adalah jumlah aljabar dari persamaan (3) dan (4) maka diperoleh:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (5)$$

2.4 Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) digunakan sebagai metode penentuan kapasitas DG optimal untuk sistem distribusi. ACO merupakan metode yang termasuk dalam kelompok swarm intelligence dimana inspirasi yang digunakan dalam penyelesaian masalah berasal dari perilaku kumpulan atau kawanan semut yang diperkenalkan oleh Dorigo dkk[10][11].

Dalam metode ACO, konsep pencarian sumber makanan atau tujuan dipengaruhi oleh hormon pheromone yang digunakan sebagai informasi bagi semut mengenai lintasan atau rute terpendek menuju tujuan berupa sumber makanan. Semut akan meninggalkan pheromone di tiap lintasan yang dilaluinya dan mempengaruhi kemungkinan pemilihan lintasan oleh semut-semut yang mengikuti dibelakangnya. Sifat pheromone yang dapat menguap menyebabkan semut akan memilih lintasan yang pendek karena memiliki aroma pheromone lebih tajam dibandingkan dengan lintasan lebih panjang. Kecenderungan semut dalam memilih lintasan yang memiliki aroma pheromone lebih kuat menyebabkan semut-semut akan memilih suatu lintasan yang sama sehingga didapatkan jalur terpendek akan ditemui karena lebih banyak semut yang melewati lintasan tersebut. Langkah-langkah utama dari Ant Colony Optimization diberikan di Gambar 2.

Tahap-tahap proses optimisasi algoritma ACO dapat dijelaskan sebagai berikut[11][12],

1. Tentukan jumlah semut sebanyak N dan nilai diskret sebanyak p . nilai variabel yang dicari dinyatakan dalam

$$x_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}; (i = 1, 2, \dots, n)$$

dimana n merupakan banyaknya variabel. Tentukan nilai pheromone awal τ_{ij}^1 , set iterasi, iter = 1

2. a. Hitung probabilitas (p_{ij}) pemilihan ruas oleh semut

$$p_{i,j} = \frac{\tau_{i,j}}{\sum_{j \in N_i^{(k)}} \tau_{i,j}}; \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, n;$$

$$j = 1, 2, \dots, p$$

- b. Ruas tertentu akan dipilih oleh semut k berdasarkan bilangan random yang dibangkitkan dalam range (0,1). Pemilihan ruas ini ditentukan dengan menggunakan proses lingkaran lotere (*roulette-wheel selection*).

3. a. Bangkitkan N bilangan random r_1, r_2, \dots, r_N dalam range (0,1), tiap semut. Tentukan nilai diskret yang mewakili ruas untuk semut k untuk variabel i dengan menggunakan bilangan random dari tahap 2 dan area probabilitas kumulatif dalam lingkaran lotere.
- b. ulangi tahap 3(a) untuk tiap variabel $i = 1, 2, \dots, n$.
- c. Evaluasi nilai fungsi tujuan dengan cara memasukkan nilai x_{ij} yang sudah dipilih untuk semua variabel $i = 1, 2, \dots, n$ oleh semut k , $k = 1, 2, \dots, N$; $fk = f(X(k))$; $k = 1, 2, \dots, N$. Tentukan lintasan terbaik dan terburuk diantara N ruas atau lintasan yang sudah dipilih oleh semut-semut yang berbeda.

$$f_{best} = \min_{k=1,2,\dots,N} \{fk\} \quad (7)$$

$$f_{worst} = \max_{k=1,2,\dots,N} \{fk\} \quad (8)$$

4. Uji konvergensi. Pada ACO konvergensi diartikan jika semua semut mengambil lintasan terbaik yang sama. Jika belum konvergensi, koloni semut akan kembali kesarang dan memulai pencarian makanan lagi. Set iterasi, iter = iter + 1, dan melakukan update pheromone untuk tiap ruas dengan persamaan

$$\tau_{ij}^{(iter)} = \tau_{ij}^{(old)} + \sum_k \Delta \tau^k \quad (9)$$

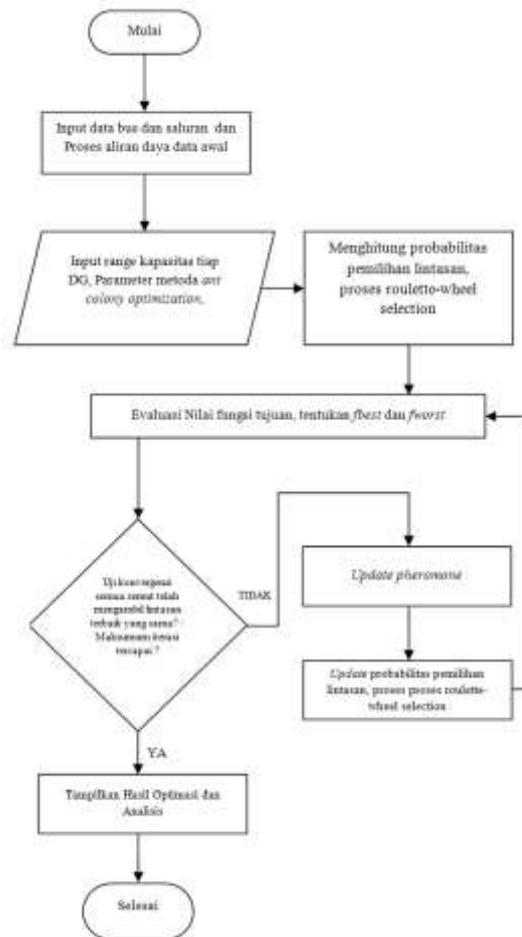
Dimana $\tau_{ij}^{(old)}$ menunjukkan jumlah pheromone dari iterasi sebelumnya yang tertinggal setelah penguapan.

$$\tau_{ij}^{(old)} = (1 - \rho) \tau_{ij}^{(iter-1)} \quad (10)$$

Tahap 2 hingga 4 diulang sampai proses konvergen yaitu ketika semua semut memilih lintasan terbaik yang sama atau berhenti setelah jumlah iterasi maksimum tercapai

2.5 Perancangan Program Simulasi

Metode optimisasi dalam perancangan program simulasi ini menggunakan metode ACO. Terdapat tiga tahap utama dalam program simulasi ini, yaitu tahap pertama mendapatkan kondisi awal sistem distribusi melalui proses aliran daya pada data awal sistem, tahap kedua adalah optimisasi kapasitas DG pada lokasi bus kandidat menggunakan metode ACO dan tahap ketiga adalah menampilkan kondisi sistem setelah dilakukan pemasangan DG.



Gambar 2. Diagram alir perancangan program

Fungsi tujuan pada proses optimisasi adalah sebagai berikut

$$Fitness = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{i,j}, i \neq j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{i,j} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n real(Sloss_{i,j}) \quad (10)$$

dimana

$Ploss_{i,j}$ = rugi-rugi daya aktif pada jaringan (MW)

$Sloss_{i,j}$ = rugi-rugi daya semu pada jaringan (MVA)

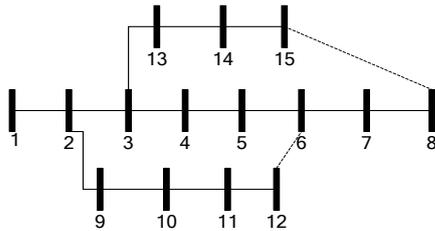
n = jumlah bus pada sistem distribusi

Dengan meminimumkan fungsi tujuan pada persamaan (9) diatas maka akan didapat kapasitas DG yang optimal.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Data Sistem

Pengujian ini menggunakan data sistem distribusi IEEE 15 bus *distribution test system*. Data yang digunakan berupa bentuk jaringan distribusi, data beban dan data tiap saluran[13][14].



Gambar 3. Sistem IEEE 15 Bus distribution test system

3.2 Hasil Pengujian

3.2.1 Sistem Tanpa DG

Pada pengujian ini didapat hasil sebagai berikut, generator pada swing bus beroperasi dengan nilai daya total sebesar 5,6723 MW, dengan kondisi total beban pada sistem distribusi 5,540 MW terdapat total rugi daya aktif sistem sebesar 0,133 MW. Didapat pula tegangan pada bus 8 = 0,9436 pu, bus 14 = 0,9491 pu dan bus 15 = 0,9438 pu. Diketahui tegangan pada bus 8, 14, dan 15 tidak memenuhi batas toleransi 5% drop tegangan sistem sesuai dengan SPLN 72 1987. Pengujian sistem tanpa DG merupakan pengujian pada sistem distribusi tanpa pemasangan DG hal ini agar kondisi awal sistem dapat diketahui.

3.2.2 Pengujian Optimasi Kapasitas DG pada Tiap Bus Beban

Pada pengujian optimasi ini, DG akan dipasang kedalam sistem dengan variasi lokasi pemasangan DG. Pada Gambar 1, sistem distribusi terdapat 1 swing bus dan 14 bus beban dimana tiap bus beban ini merupakan kandidat lokasi pemasangan DG. Variasi yang dilakukan adalah mengubah-ubah kandidat lokasi pemasangan DG di tiap pengujian optimasi.

Tabel 1 Parameter optimasi untuk pengujian sistem pada tiap bus beban

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
Paramter ACO	Jumlah Semut	100
	iterasi	50
	Rho	0.2
	Pheromone awal	1
Lokasi Pemasangan	Jumlah Ruas	50
	Kandidat Bus	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,

Syarat Sistem	Vmin	14, 15
	Vmax	0,95 pu
	P _{DGmin}	1,05 pu
	P _{DGmax}	0,1 MW
		10 MW

Berikut merupakan hasil pengujian optimasi kapasitas DG dengan variasi lokasi pemasangan DG.

Tabel 2 Hasil pengujian optimasi DG pada variasi lokasi pemasangan DG

No. pengujian	Lokasi DG	Kapasitas DG (MW)	P loss total (MW)	
			Sebelum optimasi	Setelah optimasi
1	2	5,5551	0,133	0,111
2	3	5,1510	0,133	0,086
3	4	4,5449	0,133	0,082
4	5	3,9388	0,133	0,066
5	6	3,9388	0,133	0,049
6	7	3,5347	0,133	0,050
7	8	3,1306	0,133	0,037
8	9	2,7265	0,133	0,125
9	10	2,9286	0,133	0,107
10	11	2,9286	0,133	0,101
11	12	3,3327	0,133	0,074
12	13	2,9286	0,133	0,099
13	14	2,9286	0,133	0,075
14	15	3,1306	0,133	0,041

Dari tabel 2 dapat dilihat pengaruh lokasi pemasangan dan besar kapasitas DG terhadap rugi daya sistem. Dari keseluruhan pengujian, pengujian ke-7 memberikan dampak penurunan rugi daya aktif total sistem terbesar. Berdasarkan keseluruhan pengujian, hasil pengujian ini merupakan yang terbaik. Pemasangan DG pada bus 8 pada sistem dengan kapasitas DG sebesar 3,1306 MW menyebabkan rugi daya aktif sistem menurun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,037 MW setelah pemasangan DG.

3.2.3 Pengujian Optimasi kapasitas DG pada Bus kritis

Pada pengujian ini batas drop tegangan disesuaikan dengan SPLN 72 tahun 1987 mengenai batas tegangan yang dapat ditoleransi sistem distribusi yaitu sebesar 5%. Berikut merupakan nilai parameter yang digunakan untuk optimasi kapasitas DG pada sistem distribusi

Tabel 3 Parameter optimasi untuk pengujian sistem pada bus kritis

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
Paramter ACO	Jumlah Semut	100
	iterasi	50
	Rho	0.2
	Pheromone awal	1
Lokasi Pemasangan	Jumlah Ruas	50
	Kandidat Bus	8, 14, 15
Syarat Sistem	Vmin	0,95 pu
	Vmax	1,05 pu
	P _{DGmin}	0,1 MW
	P _{DGmax}	10 MW

Berikut merupakan tabel hasil pengujian optimasi kapasitas DG dengan variasi lokasi pemasangan DG

Tabel 4 Hasil pengujian optimasi DG pada variasi lokasi pemasangan DG

No. Pengujian	Lokasi DG	Kapasitas DG (MW)	P loss total (MW)	
			Sebelum optimasi	Setelah optimasi
1	8	3,1306	0,133	0,037
2	14	2,9286	0,133	0,075
3	15	3,1306	0,133	0,041
4	8	1,9184	0,133	0,031
	14	0,9082		
	15	0,5041		

Dari tabel 4 dapat dilihat pengaruh pemasangan DG pada sistem distribusi. Masing-masing hasil optimasi kapasitas DG memberikan pengaruh terhadap rugi daya aktif sistem. Pada pengujian ke-1, DG dipasang pada bus 8 dengan kapasitas pembangkit sebesar 3,1306 MW dimana rugi daya aktif sistem turun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,037 MW setelah pemasangan DG. Pada pengujian ke-2, hasil optimasi kapasitas DG pada bus 14 adalah sebesar 2,9286 MW. Rugi daya aktif sistem pada pengujian ini menjadi 0,075 MW. Pada pengujian pemasangan DG pada bus 15, hasil optimasi pada bus ini sebesar 3,1306 MW. Rugi daya aktif sistem turun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,041 MW. Pada pengujian ke-4 dilakukan variasi pengujian dengan memasang DG pada kesemua bus kritis. Hasil optimasi kapasitas DG pada tiap bus 8, 14, 15 adalah 1,9184 MW, 0,09082 MW, 0,5041 MW dimana rugi daya aktif sistem mengalami penurunan dari 0,133 MW menjadi 0,031 MW.

3.2.4 Rekapitulasi Hasil Sebelum Dan Sesudah Optimasi Kapasitas DG Pada Sistem

Berikut pada tabel 5 merupakan rekapitulasi dari hasil semua pengujian. Pada hasil dari keseluruhan variasi pengujian, rugi daya sistem mengalami penurunan setelah pemasangan DG. Dapat dilihat pula besar kapasitas DG yang terpasang tidak selalu menjadikan rugi daya aktif sistem menurun secara besar pula. Sebagai contoh pada pengujian pada tiap bus beban, pada pengujian ke-1, pemasangan DG pada bus 2, hasil optimasi kapasitas DG pada bus tersebut adalah 5,5551 MW dimana penurunan rugi daya aktif sistem sebesar 16,5% atau dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,111 MW setelah pemasangan DG dimana penurunan rugi daya aktif sistem pada pengujian ini tidak lebih baik daripada pengujian ke-2 dengan hasil optimasi kapasitas DG adalah 5,1510 MW mampu menurunkan rugi daya aktif sistem sebesar 35,4% dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,086 MW setelah pemasangan DG.

Tabel 5 Rekapitulasi hasil sebelum dan sesudah optimasi kapasitas DG pada sistem distribusi

No. Pengujian	Lokasi DG	Kapasitas DG (MW)	Prosentase Penurunan Rugi Daya Aktif (%)
I. Pengujian pada bus beban			
1	2	5,5551	16.5
2	3	5,1510	35.3
3	4	4,5449	38.3
4	5	3,9388	50.3
5	6	3,9388	63.1
6	7	3,5347	62.4
7	8	3,1306	72.1
8	9	2,7265	6.1
9	10	2,9286	19.5
10	11	2,9286	24.1
11	12	3,3327	44.3
12	13	2,9286	25.5
13	14	2,9286	43.6
14	15	3,1306	69.1
II.a pengujian pada bus kritis			
15	8	3,1306	72.1
16	14	2,9286	43.6
17	15	3,1306	69.1
II.b Pengujian pada keseluruhan bus kritis			
18	8	1,9184	76.6
	14	0,9082	
	15	0,5041	

Hasil pengujian pada bus kritis disajikan pada pengujian ke-15 hingga ke-18. Pada pengujian ke-18 dengan pemasangan 3 DG pada bus 8, 14 dan 15 sebesar 1,9184 MW, 0,9082 MW dan 0,5041 MW menjadikan total rugi daya aktif turun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,031 MW setelah pemasangan DG dan prosentase penurunan rugi daya pada pengujian ini merupakan yang terbaik yaitu 76,6%. Pada pengujian ke-15 dimana DG dipasang pada bus 8 yang hanya memberikan prosentase penurunan rugi daya sistem sebesar 72,1% yaitu dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,037 MW setelah pemasangan DG. Pada pengujian ke-16 yaitu pemasangan DG pada bus 14 hanya memberikan prosentase penurunan rugi daya sistem sebesar 43,6% yaitu dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,075 MW setelah pemasangan DG. Pula pada pengujian ke-17 yaitu pemasangan DG pada bus 15 dengan kapasitas 3,1306 MW hanya dapat memberikan prosentase penurunan rugi daya aktif sistem sebesar 69,1% yaitu dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,041 MW setelah pemasangan DG.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan tabel 5 didapatkan tiap variasi pengujian optimasi kapasitas DG menggunakan metoda ACO memberikan penurunan rugi daya aktif pada sistem distribusi.
2. Berdasarkan hasil pengujian optimasi pada tiap bus beban didapatkan pemasangan DG berkapasitas

3,1306 MW pada bus 8 dapat mengurangi rugi daya aktif dengan prosentase penurunan rugi daya aktif sebesar 72,1%. Rugi daya aktif sistem turun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,037 MW setelah pemasangan DG.

3. Dari Tabel 5 dapat dilihat hasil pemasangan DG pada bus 8, 14,15 dengan masing-masing kapasitas 1,918 MW, 0,908 MW, 0,504 MW memberikan prosentase penurunan rugi daya sistem terbesar yaitu 76,6%. Rugi daya aktif sistem turun dari 0,133 MW sebelum pemasangan DG menjadi 0,031 MW setelah pemasangan DG.

Referensi

- [1] Short, T. A., *“Electric Power Distribution Handbook”*, CRC Press, 2004
- [2] Bawan, E. K., *“Dampak pemasangan Distributed Generation Terhadap Rugi-Rugi Daya”*, Jurnal Ilmiah Foristek Vol.2, No.21, 2012
- [3] Falagi, Hamid, dan M. R. Haghifam, *“ACO Based Algorithm For Distributed Generation Sources Allocation And Sizing In Distribution System”*, Proceedings of the IEEE Lausanne PowerTech, pp. 555-560, 2007
- [4] Budiman, A., *“Penempatan dan Penentuan Kapasitas Pembangkit Kecil Tersebar Menggunakan Algoritma Genetika Breeder Multiobjektif”*, Thesis, ITS Surabaya, 2010
- [5] Ackermann, T., G. Anderson, dan L. Söder, *“Distributed Generation: a Definition”*, Electric Power System Research, 57, 195-204, 2001
- [6] Barker, P. P. dan R. W. de Mello, *Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Radial Distribution Systems*, Power Technologies, Inc, 2000
- [7] Saadat, Hadi, *“Power System Analysis”*, McGraw-Hill, Singapura, 1999
- [8] Sulasno, *“Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Kedua”*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001
- [9] Luthfi, Ilham. *“Optimasi Penempatan Distributed Generation Pada IEEE 30 Bus System Menggunakan Bee Colony Algorithm”*, Penelitian, Universitas Diponegoro Semarang, 2013
- [10] Dorigo, M., M. Birattari, dan T. Stützle, *“Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique”*, IRIDA-Technical Report Series, September 2006
- [11] Santosa, B. dan P. Willy, *“Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi”*, Penerbit Guna Widya, Surabaya, 2011
- [12] Purnomo D. H., *“Cara Mudah Belajar Metode Optimisasi Metaheuristik Menggunakan Matlab”*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2014
- [13] Erviana, Mira, *“Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization”*, Penelitian, Universitas Diponegoro Semarang, 2012
- [14] Unggul, D. K., *“Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Logika Fuzzy dan Algoritma Genetika pada Sistem Distribusi tenaga Listrik”*, Penelitian, Universitas Diponegoro, 2012