

PENENTUAN LOKASI DISTRIBUTED GENERATION (DG) BERDASARKAN FAKTOR SENSITIVITAS RUGI-RUGI DAN KAPASITAS OPTIMAL MENGUNAKAN METODE ARTIFICIAL BEE COLONY (ABC)

*Determination of Location Distributed Generation (DG) Base on Loss
Sensitivity Factor And Optimal Capacity Using Artificial Bee Colony (ABC)*

Indra Sasmita¹, Agung Budi Muljono², I Made Ari Nrartha³

ABSTRAK

Sistem distribusi radial merupakan saluran yang ditarik secara radial dan bus paling ujung pada sistem distribusi radial mempunyai profil tegangan yang rendah dan rugi daya yang besar. Pemasangan DG diharapkan dapat menaikkan level tegangan dan mengurangi total kerugian daya pada sistem. DG yang dipasang hanya berdasarkan kapasitas daya yang dioperasikan sebagai PV bus. DG merupakan pembangkit berkapasitas kecil yang berlokasi pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban. DG dapat berupa sumber energi konvensional dan energi terbarukan.

Penelitian ini menggunakan metode faktor sensitivitas rugi-rugi untuk menentukan lokasi DG dan kapasitas optimal menggunakan metode Artificial Bee Colony pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.

Hasil simulasi optimisasi penempatan dan kapasitas Pembangkit Tersebar (DG) pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus untuk berbagai skenario pembebanan rata-rata dan menghasilkan pengurangan rugi daya sebesar 62.7 %. Pemasangan DG ini juga dapat menaikkan profil tegangan pada bus-bus beban rata-rata sebesar 3.5 %.

Kata Kunci : Pembangkit Tersebar, Rugi Daya, Profil Tegangan, Faktor Sensitivitas Rugi-Rugi, Artificial Bee Colony.

ABSTRACT

Radial distribution system is a line drawn radial and the end of the bus radial distribution system has a voltage profile low and large power loss. Placement of DG is expected to raise the voltage level and reduce the total power loss in the system. DG is placed only by the capacity of power-operated as PV buses. DG is a small capacity plant located on power distribution systems and are usually placed on the buses that are connected directly to the load. DG can be a source of conventional energy and renewable energy.

This study uses a loss sensitivity factors to determine location of DG and optimal capacity using Artificial Bee Colony method on the IEEE 33 buses radial distribution systems.

The simulation results of Distributed Generation (DG) placement and capacity optimization on the IEEE 33 buses radial distribution systems to various loading scenarios produces an average reduction of 62.7 % power loss. Placement of DG can also raise the profile of the voltage at the load buses by an average of 3.5%

Keywords : Distributed Generation, Power Loss, Voltage Profile, Losses Sensitivity Factor, Artificial Bee Colony.

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik terdiri atas 3 bagian utama, yaitu pembangkitan, transmisi dan distribusi. Seiring dengan meningkatnya permintaan beban tidak diimbangi dengan penambahan pusat-pusat pembangkit dan pusat pembangkit letaknya jauh dari pusat beban yang akan mengakibatkan besarnya rugi saluran (Robandi. Dkk.(2012)

Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit berkapasitas kecil yang berlokasi pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban [Gozel. Dkk.2009].

Salah satu hal yang sangat penting dalam pembahasan DG adalah mengenai penempatan dan penentuan kapasitas optimal dari suatu DG. Lokasi dan

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

kapasitas DG dapat dikatakan optimal apabila menghasilkan penambahan arus hubung singkat dan kerugian daya yang minimal serta level tegangan yang terjaga, yaitu berada di antara nilai minimal dan nilai maksimal (Robandi. Dkk. 2012)

Penelitian ini digunakan metode faktor sensitivitas rugi-rugi untuk memprediksikan calon bus yang akan dipilih sebagai lokasi penempatan DG sedangkan, untuk penentuan kapasitas DG digunakan metode Artificial Bee Colony (ABC). ABC adalah suatu metode pencarian nilai optimal yang terinspirasi oleh kegiatan/pola dari kawanan lebah dalam mencari makanan yang telah diperkenalkan oleh Karaboga pada tahun 2005.

Distributed Generation. Distributed Generation (DG) atau pembangkit tersebar merupakan pembangkit berkapasitas kecil yang berlokasi pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban.

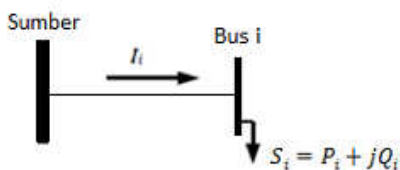
Tipe DG umumnya dibedakan pada kapasitas dayanya yaitu ; (Guseynov.Dkk. 2006)

1. Mikro (1 kW sampai 5 kW),
2. Kecil (5 kW sampai 5 MW),
3. Menengah (5 MW sampai 50 MW),
4. Besar (50 MW sampai 300 MW).

DG dapat berupa sumber energy konvensional dan energi terbarukan. Pada saat ini yang menjanjikan untuk diaplikasikan pada DG adalah sistem konversi energi angin (WECS), pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), biomassa, sistem photovoltaic (PV) dan fuel cells.

Arus Injeksi Pada Jaringan Distribusi Radial. Pemodelan sistem distribusi lebih mudah menggunakan arus injeksi. Pada bus ke-i, beban kompleks S_i dinyatakan sebagai berikut. (Dri, Adrianus. 2012)

$$S_i = P_i + jQ_i \quad i = 1,2,3, \dots \dots N \quad (1)$$



Gambar 1 Pemodelan Arus Injeksi

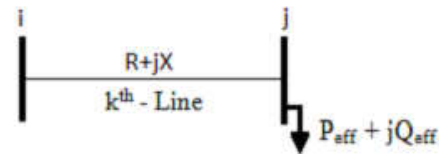
Arus injeksi ekivalen pada iterasi ke-k dari solusi adalah :

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (2)$$

Keterangan :

- S_i = Beban kompleks pada bus ke-i
- P_i = Beban aktif pada bus ke-i
- Q_i = Beban reaktif pada bus ke-i
- $I_i^{(k)}$ = Arus bus ke-i pada iterasi ke-k
- $V_i^{(k)}$ = Tegangan bus ke-i pada iterasi ke-k

Faktor Sensitivitas Rugi-Rugi. Faktor sensitivitas rugi-rugi mampu untuk memprediksikan calon bus yang akan dipilih sebagai bus dimana DG ditempatkan. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa saluran distribusi dengan $R + jX$ dan beban dari $P_{eff} + jQ_{eff}$ diantara bus i dan j (Dri, Adrianus.,2012)



Gambar 2 Saluran Distribusi dengan Impedansi dan Beban

Rugi-rugi daya aktif pada saluran ke-k dari Gambar 2 dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{rugi-rugi} [j] = \frac{(P_{eff}^2 [j] + Q_{eff}^2 [j] + R[k])}{(V[j])^2} \quad (3)$$

Sedangkan rugi-rugi daya reaktif pada saluran ke-k dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q_{rugi-rugi} [j] = \frac{(P_{eff}^2 [j] + Q_{eff}^2 [j] + X[k])}{(V[j])^2} \quad (4)$$

Keterangan :

- $P_{eff} [j]$ = Total daya aktif yang efektif disuplai di luar bus j
- $Q_{eff} [j]$ = Total daya reaktif yang efektif disuplai di luar bus j

Faktor sensitivitas rugi-rugi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{\partial P_{rugi-rugi} [j]}{\partial Q_{eff} [j]} = \frac{(2 \cdot Q_{eff} [j] \cdot R[k])}{(V[j])^2} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_{rugi-rugi} [j]}{\partial Q_{eff} [j]} = \frac{(2 \cdot Q_{eff} [j] \cdot X[k])}{(V[j])^2} \quad (6)$$

4. Pemilihan Calon Bus Menggunakan Faktor Sensitivitas Rugi-Rugi

Hilangnya faktor sensitifitas rugi-rugi

$$\left(\frac{\partial P_{\text{rugi}} - \text{rugi}}{\partial Q_{\text{eff}}} \right)$$

dapat diproses dengan teknik aliran daya pada sistem distribusi radial. Besaran tegangan normal dihitung berdasarkan pertimbangan besaran tegangan

$$\left(\text{norm}[i] = \frac{|V[i]|}{0,95} \right).$$

Norm[i] akan memutuskan apakah bus-bus membutuhkan penempatan Distributed Generation atau tidak. Apabila tegangan pada bus dalam daftar urutan baik norm[i] > 1,01 bus tersebut tidak memerlukan penempatan Distributed Generation, sedangkan bus yang nilai norm[i] < 1,01 dapat dipilih sebagai calon bus untuk penempatan Distributed Generation. (Dri, Adrianus. 2012)

Metodologi Penyelesaian Aliran Daya Sistem Distribusi Radial. Matrik-matrik bus injeksi ke arus cabang (BIBC) dan arus cabang ke tegangan bus (BCBV) dibentuk berdasarkan struktur topologi sistem distribusi. Matrik BIBC menyatakan hubungan antara injeksi arus bus dan arus cabang. Menyatakan variasi-variasi pada arus cabang yang didapatkan dari variasi-variasi injeksi arus bus dan dapat dihitung secara langsung oleh matrik BIBC. Matrik BCBV menyatakan hubungan antara arus cabang dan tegangan bus. Menyatakan variasi-variasi pada tegangan bus yang diperoleh dengan variasi-variasi pada arus cabang dan dapat ditentukan secara langsung oleh matrik BCBV (R, Dedy Noverdy. 2012)

Hubungan antara arus injeksi bus dan tegangan bus sebagai berikut :

$$[DLF] = BCBV[BIBC] \tag{7}$$

$$[\Delta V] = BCBV[BIBC][I]$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \tag{8}$$

Matrik $[\Delta V]$ merupakan matrik yang menerangkan jatuhnya tegangan dari bus sumber ke bus beban dalam sistem. Penyelesaian aliran daya pada sistem distribusi radial dapat diperoleh dengan prosedur perhitungan secara iteratif sebagai berikut :

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}} \right)^*$$

$$\begin{aligned} [DLF] &= [BCBV][BIBC] \\ [\Delta V] &= [DLF][I] \\ [V_i^{(k+1)}] &= [V_1] - [\Delta V_i^{(k+1)}] \end{aligned} \tag{9}$$

Rugi daya aktif dan daya reaktif diperoleh sebagai berikut :

$$P_L = I^2 R \tag{10}$$

$$Q_L = I^2 X \tag{11}$$

Keterangan :

DLF = Simbol perkalian matrik BIBC dan BCBV

BIBC = Bus Injeksi ke Arus Cabang

BCBV = Arus Cabang ke Tegangan Bus

$V_i^{(k)}$ = Tegangan bus ke-i pada iterasi ke-k

V_1 = Tegangan bus sumber

PL = Rugi daya aktif

QL = Rugi daya reaktif

Artificial Bee Colony. Artificial Bee Colony adalah suatu metode pencarian nilai optimal yang terinspirasi oleh kegiatan/pola dari kawanan lebah dalam mencari makanan yang diperkenalkan oleh Karaboga pada tahun 2005. Koloni lebah buatan terdiri dari tiga kelompok lebah, yaitu :lebah pekerja, lebah onlooker (penonton) dan lebah scout (pramuka) (Karaboga,D,dkk 2005). Lebah yang menunggu di sarang untuk membuat keputusan dalam memilih sumber makanan, disebut sebagai lebah onlooker (penonton) dan lebah yang pergi ke sumber makanan yang pernah dikunjungi sebelumnya diberi nama lebah pekerja, sedangkan lebah yang melakukan pencarian secara acak disebut lebah scout. (Karaboga.D, dkk. 2009)

Optimasi ABC Untuk Penentuan Kapasitas DG. Langkah awal yang harus dilakukan untuk mengetahui optimasi penempatan dan penentuan kapasitas DG adalah merepresentasikan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menentukan lokasi DG menjadi parameter algoritma ABC sehingga pencarian secara acak oleh lebah dapat dilakukan.

Untuk operasi yang efisien dan dapat diandalkan pada sebuah sistem tenaga, pemasangan DG pada sistem tenaga listrik harus mencapai beberapa sasaran berikut :

1. Tegangan terminal semua peralatan dalam sistem beradapada batas yang dapat diterima.
2. Pemasangan DG dapat mengurangi kerugian daya pada sistem.

Supaya sasaran-sasaran tersebut terpenuhi maka performansi aliran daya pada sistem diusahakan memenuhi batasan batasan berikut ini:

1. Fungsi obyektif yang digunakan untuk penentuan lokasi dan kapasitas DG terpasang adalah

$$\text{Minimize } f = \min (P_{T, Loss}) \quad (12)$$

$$\text{Batasan } V_{min} \leq |V_i| \leq V_{maks} \quad (13)$$

Keterangan :

$P_{T, Loss}$ = Total kerugian daya aktif minimum pada sistem

$|V_i|$ = Besarnya tegangan pada bus-i

V_{min} = Batasan tegangan bus minimal

V_{maks} = Batasan tegangan bus maksimal

2. Batasan tegangan yang diijinkan berada pada -10% dan +5% dari 1 pu (SPLN 1 tahun 1995).

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{maks} \quad \text{untuk } i=1,2,3,\dots,N$$

Keterangan :

i = nomor bus

V_{min} = 0.9 pu

V_{maks} = 1.05 pu

Tabel 1 Representasi Algoritma ABC Untuk Optimasi DG

Algoritma ABC	Optimasi Pemasangan DG
Posisi sumber makanan	Kandidat kapasitas DG yang akan dipasang
Jumlah sumber makanan atau jumlah lebah	Jumlah bus yang menjadi kandidat tempat pemasangan DG
Fungsi objektif = Fitness	$\min \sum P_{Loss}$

Algoritmakoloni lebah yang diusulkan diringkas sebagai berikut:

1. Membaca input data bus, dan batas tegangan bus;
2. Membangunpopulasi awal lebah x_{ij} karena setiap lebah dibentuk oleh ukuran unit DG;
3. Mengevaluasi nilai fitness untuk setiap lebah pekerja dengan menggunakan rumus;

$$fitness = \min \sum P_{Loss}$$

4. Inisialisasi siklus = 1;
5. Menghasilkan populasi baru (solusi) v_{ij} di lingkungan x_{ij} untuk lebah pekerja menggunakan rumus 2-21 dan mengevaluasinya.

$$V_{ij} = X_{ij} + \varphi_{ij} (X_{ij} - X_{kj})$$

6. Menerapkan proses seleksi greedy antara x_i dan v_i ;
7. Menghitung probabilitas nilai P_i untuk solusi x_i dengan cara nilai fitness mereka dengan menggunakan rumus ;

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i}$$

8. Menghasilkan solusi baru (posisi baru) v_i untuk lebah penonton dari solusi x_i , dipilih tergantung pada P_i , dan mengevaluasinya;
9. Menerapkan proses seleksi greedy untuk lebah penonton antara x_i dan v_i ;
10. Menentukan sumber makanan yang harus ditinggalkan dan alokasikan lebah pekerjanya sebagai lebah pramuka untuk mencari sumber makanan baru berdasarkan pencarian secara acak dengan menggunakan rumus ;

$$x_{ij} = x_{minj} + rand(0,1)(x_{maxj} - x_{minj})$$

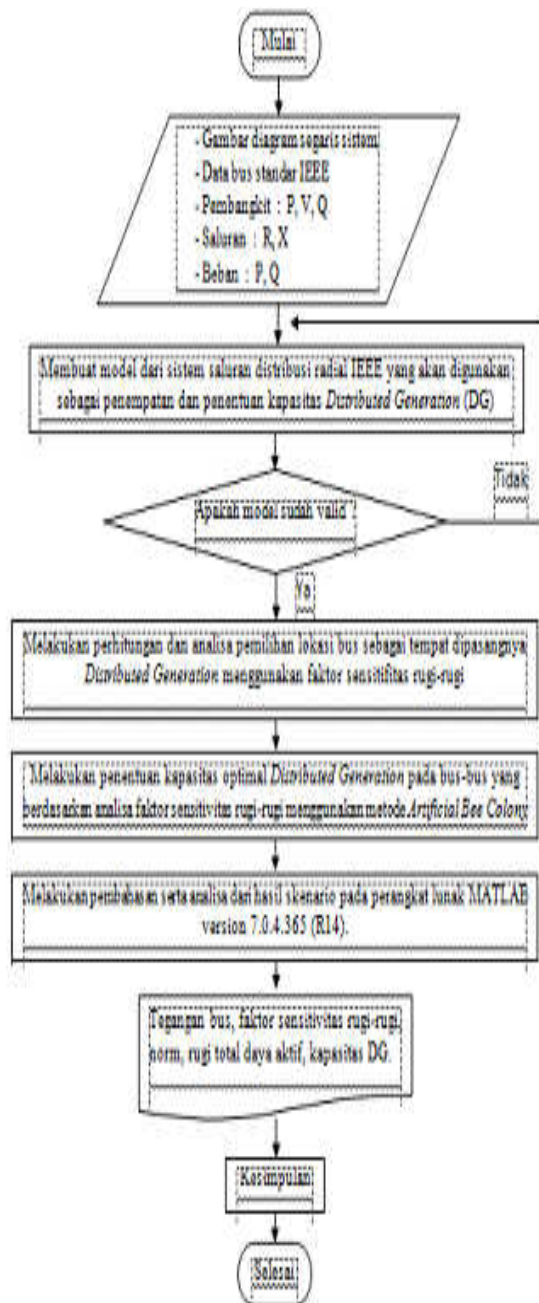
11. Menghafal posisi sumber makanan terbaik yang dicapaisejauh ini.
12. Siklus = siklus + 1;
13. Jika siklus = MCN (Jumlah Siklus Maksimum), lanjutkan ke langkah 14, jika tidak pergi ke langkah 5;
14. Berhenti.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini melakukan analisis faktor sensitifitas rugi-rugi untuk menentukan penempatan DG pada bus-bus dari sistem saluran distribusi radial, kemudian menentukan kapasitas optimal DG atau pembangkit tersebar menggunakan metode Artificial Bee Colony (ABC).

Sumber data peneliti ini menggunakan data-data standar dari IEEE dan jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif berupa data dalam bentuk angka dari standar IEEE meliputi data sebagai berikut:

1. Pembangkit : Batasan bawah dan batasan atas kapasitas Distributed Generation, 5 kW sampai 5 MW.
2. Saluran Distribusi : R (resistansi saluran), X (reaktansi saluran)
3. Beban : P (daya aktif), Q (daya reaktif) dan tegangan pelayanan/bus beban (-10% dan +5%) Vnominal (SPLN 1 tahun 1995).

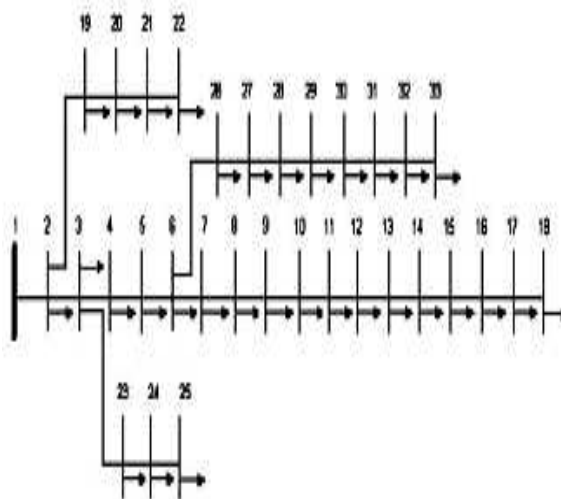


Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis penelitian ini adalah untuk mengetahui pemilihan lokasi calon bus sebagai tempat pemasangan Distributed Generation menggunakan faktor sensitivitas rugi-rugi dan melakukan penentuan kapasitas optimal Distributed Generation pada bus-bus yang mempunyai indeks $norm[i] < 1,01$ dari sistem saluran distribusi radial menggunakan metode Artificial Bee Colony.

Sistem yang akan dianalisa adalah data sistem saluran distribusi radial IEEE 33 bus dengan single line diagram seperti pada Gambar 4 (Rao.Dkk. 2008). Sistem saluran distribusi radial IEEE 33 bus memiliki total beban 3715 kW dan 2300 dengan total rugi daya aktif sebesar 202.5197 kW dan daya reaktif sebesar dan 135.0337 kVAR



Gambar 4 Single Line Diagram Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Penentuan Lokasi Bus Sebagai Tempat Pemasangan DG Menggunakan Faktor Sensitivitas Rugi-Rugi. Data sistem distribusi radial IEEE 33 bus dengan nilai tegangan dasar 12.66 kV, daya dasar 100 MVA dan toleransi kesalahan 0.00001 dengan data yang diperoleh dilakukan studi aliran daya menggunakan metodologi penyelesaian aliran daya system distribusi radial untuk mencari beberapa calon bus yang masih memiliki profil tegangan yang rendah, kemudian menggunakan factor sensitivitas rugi-rugi untuk memilih calon bus sebagai tempat pemasangan DG.

Hasil out-put program aliran daya untuk penentuan lokasi bus sebagai tempat pemasangan DG menggunakan metode factor sensitivitas rugi-rugi dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Hasil Tegangan Bus Sistem Sebelum Penambahan DG

No Bus	Tegangan [p.u.]	Sudut (Derajat)	Pload [p.u.]	Qload [p.u.]	Vg [p.u.]	FSR [p.u.]	Norm [i]
2	0.997	0.003	0.0268	0.0273	0.003	0	1.0495
3	0.9829	0.017	0.0238	0.0333	0.0171	0.0004	1.0347
4	0.9735	0.0028	0.0169	0.0236	0.0245	0.0002	1.0268
5	0.9681	0.004	0.0159	0.0222	0.0319	0.0004	1.019
6	0.9497	0.0023	0.0154	0.0212	0.0510	0.0003	0.9997
7	0.9462	-0.0017	0.0071	0.0099	0.0324	0.0001	0.996
8	0.9414	-0.0011	0.0027	0.008	0.0296	0.001	0.9909
9	0.9321	-0.0023	0.0044	0.0062	0.0649	0.0013	0.9843
10	0.9293	-0.0034	0.004	0.0056	0.0707	0.0003	0.9782
11	0.9284	-0.0032	0.0036	0.0051	0.0716	0.0001	0.9773
12	0.9269	-0.0031	0.0032	0.0046	0.0731	0.0002	0.9737
13	0.9208	-0.0047	0.0029	0.0041	0.0762	0.0007	0.9693
14	0.9185	-0.0061	0.0025	0.0035	0.0813	0.0003	0.9669
15	0.9171	-0.0067	0.0017	0.0023	0.0829	0.0007	0.9624
16	0.9158	-0.0071	0.0013	0.0018	0.0842	0.0001	0.964
17	0.9137	-0.0085	0.0009	0.0013	0.0863	0.0004	0.9618
18	0.9131	-0.0086	0.0006	0.0008	0.0869	0.0002	0.9612
19	0.9965	0.0001	0.0021	0.0029	0.0035	0.0001	1.049
20	0.9929	-0.0011	0.0017	0.0024	0.0071	0.0008	1.0452
21	0.9922	-0.0014	0.0011	0.0016	0.0078	0.0002	1.0444
22	0.9916	-0.0018	0.0006	0.0008	0.0084	0.0004	1.0438
23	0.9794	0.0011	0.0061	0.0086	0.0206	0.0002	1.0309
24	0.9727	-0.0004	0.0055	0.0076	0.0273	0.0006	1.0239
25	0.9684	-0.0012	0.0027	0.0038	0.0306	0.0004	1.0204
26	0.9477	0.003	0.0081	0.0113	0.0323	0.0005	0.9976
27	0.9452	0.004	0.0076	0.0106	0.0348	0.0001	0.9949
28	0.9338	0.0055	0.0072	0.01	0.0362	0.0004	0.9829
29	0.9235	0.0068	0.0068	0.0095	0.0745	0.0002	0.9743
30	0.922	0.0066	0.006	0.0083	0.078	0.0005	0.9705
31	0.9178	0.0072	0.0027	0.0038	0.0822	0.0006	0.9661
32	0.9169	0.0068	0.0018	0.0025	0.0831	0.0003	0.9652
33	0.9166	0.0066	0.0004	0.0009	0.0834	0.0005	0.9649

Tabel 3 Hasil Aliran Daya Sistem Sebelum Penambahan DG

No Saluran	Saluran Bus		P _r [KW]	Q _r [KVAR]	Arus Mag [p.u.]	Arus Mag [Ampere]
	Asal	Tujuan				
1	1	2	12.2333	6.2361	0.0461	210.3034
2	2	3	31.7576	26.3617	0.041	187.0695
3	3	4	19.8839	10.1266	0.0295	134.5703
4	4	5	18.6827	9.5154	0.028	127.8321
5	5	6	28.2149	22.9889	0.0273	124.7136
6	6	7	1.9129	6.3253	0.0129	59.3628
7	7	8	4.8337	1.5974	0.0104	47.5907
8	8	9	4.1766	3.0006	0.0081	36.7646
9	9	10	3.5575	2.5216	0.0074	33.7022
10	10	11	0.5532	0.1829	0.0067	30.6246
11	11	12	0.8803	0.2911	0.0061	27.9946
12	12	13	2.6635	2.0956	0.0054	24.5926
13	13	14	0.7264	0.9588	0.0046	21.1733
14	14	15	0.3566	0.3174	0.0031	14.1819
15	15	16	0.2612	0.2053	0.0025	11.2064
16	16	17	0.2314	0.3356	0.0018	8.0624
17	17	18	0.0531	0.0416	0.0011	4.9164
18	2	19	0.161	0.1556	0.004	18.0869
19	19	20	0.8322	0.7498	0.003	12.5797
20	20	21	0.1008	0.1177	0.002	9.0562
21	21	22	0.0436	0.0577	0.001	4.5296
22	3	23	3.1811	2.1736	0.0106	48.4776
23	23	24	5.1427	4.0609	0.0096	43.6917
24	24	25	1.2972	1.0072	0.0048	21.8932
25	6	26	2.5983	1.3236	0.0143	65.2208
26	26	27	3.3259	1.6934	0.0137	62.4567
27	27	28	11.29	9.9542	0.0131	59.6127
28	28	29	7.8238	6.8176	0.0123	56.9536
29	29	30	3.8919	1.9824	0.0111	50.5592
30	30	31	1.592	1.5734	0.0051	23.337
31	31	32	0.213	0.2482	0.0033	15.1209
32	32	33	0.0132	0.0205	0.0008	3.586
Total			202.8197	138.8337		

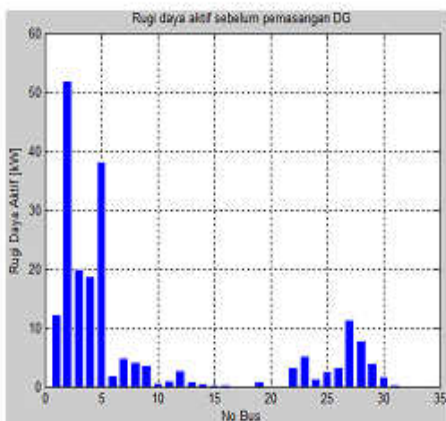
Hasil out-put studi aliran daya untuk nilai profil tegangan bus beban dipilih berdasarkan nilai Norm[i] < 1.01 yang akan menjadi calon bus penempatan DG yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Profil Tegangan Pada Bus Beban Dengan Nilai Norm[i] < 1.01

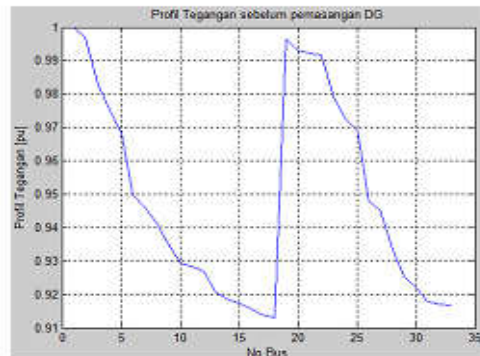
Urutan Norm [i]	No Bus	Tegangan [pu]	Norm [i] [pu]
1	18	0.9131	0.9612
2	17	0.9137	0.9618
3	16	0.9158	0.964
4	33	0.9166	0.9649
5	32	0.9169	0.9652
6	15	0.9171	0.9654
7	31	0.9178	0.9661
8	14	0.9185	0.9669
9	13	0.9208	0.9693
10	30	0.922	0.9705
11	29	0.9255	0.9743
12	12	0.9269	0.9757
13	11	0.9284	0.9773
14	10	0.9293	0.9782
15	28	0.9338	0.9829
16	9	0.9351	0.9843
17	8	0.9414	0.9909
18	27	0.9452	0.9949
19	7	0.9462	0.996
20	26	0.9477	0.9976
21	6	0.9497	0.9997

Bus yang akan diteliti adalah calon bus yang mempunyai profil tegangan terendah yang ada pada Tabel 4.13 yaitu bus 18, bus 17, bus 16, bus 33, bus 32, bus 15, bus 31, bus 14, bus 13, bus 30, bus 29, bus 12, bus 11, bus 10, bus 28, bus 9, bus 8, bus 27, bus 7, bus 26, dan bus 6.

Nilai rugi daya aktif dan profil tegangan sebelum pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus pada beban dasar dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Grafik Rugi Daya Aktif Sebelum Pemasangan DG Pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus



Gambar 6 Grafik Profil Tegangan Sebelum Pemasangan DG Pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Gambar 5 dapat dilihat penurunan transfer daya atau rugi-rugi daya aktif terbesar dikarenakan kapasitas beban tiap-tiap bus dan Gambar 6 dapat dilihat profil tegangan mengalami kenaikan pada bus 19 dikarenakan bus tersebut berada dekat dengan pusat pembangkit.

Pemilihan Kapasitas Optimasi DG Menggunakan Metode ABC.

Simulasi penelitian dilakukan dengan membuat 4 skenario yang akan dilakukan dari hasil faktor sensitivitas rugi-rugi yang mempunyai profil tegangan terendah yang ada pada Tabel 4 yaitu bus 18, bus 17, bus 16, bus 33, bus 32, bus 15, bus 31, bus 14, bus 13, bus 30, bus 29, bus 12, bus 11, bus 10, bus 28, bus 9, bus 8, bus 27, bus 7, bus 26, dan bus 6 dipilih beberapa bus untuk lokasi pemasangan DG sebagai berikut :

Desember 2013

Tabel 5 Hasil Optimasi Menggunakan Metode Artificial Bee Colony

Skenario	Bus	Kapasitas DG (kW)	Total Kapasitas DG (kW)	Total Rugi Daya Aktif (kW)	Rata - Rata Vdrop [pu]
1	13	846.4	2005	85.8977	0.0196
	30	1158.6			
	7	1147.9			
2	14	583.9	2451	77.1444	0.0175
	31	719.2			
	7	998.0122			
3	14	585.2771	2458.0576	76.185	0.0173
	29	457.3888			
	32	417.3796			
	7	848.0794			
4	11	358.0697	2423.4828	75.5417	0.0175
	16	332.0802			
	29	535.0996			
	32	350.1539			
	7	848.0794			

Hasil nilai optimal kapasitas DG menggunakan metode Artificial Bee Colony yang akan digunakan pada penelitian ini terdapat pada skenario 4 dengan pemasangan DG pada 5 bus yaitu bus 7, bus 11, bus 16, bus 29 dan bus 32. Total kapasitas DG pada skenario 4 sebesar

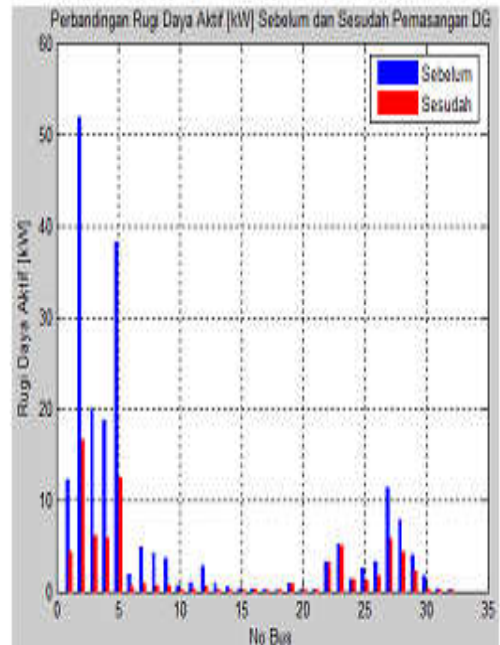
2423.4828 kW lebih besar 20.87 % dari skenario 1, lebih kecil 1.12 % dari skenario 2 dan lebih kecil 1.41 % dari skenario 3. Total rugi daya aktif sebesar 75.5417 kW lebih kecil 12.06 % dari skenario 1, lebih kecil 2.08 % dari skenario 2 dan lebih kecil 0.84 % dari skenario 3. Rata rata drop tegangan pada skenario 4 sebesar 0.0175 pu lebih kecil 10.71 % dari skenario 1, sama dengan skenario 2 dan lebih besar 1.16 % dari skenario 3.

Analisa dan Pembahasan Hasil Optimasi Menggunakan Metode ABC

Tabel 6 Perbandingan Nilai Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Dipasang DG Hasil Optimasi Menggunakan Metode Artificial Bee Colony

No Saluran	Saluran Bus		P _i [kW]		Perubahan [%]
	Asal	Tujuan	Sebelum	Sesudah	
1	1	2	12.2333	4.2559	65.21053191
2	2	3	51.7576	16.4817	68.15598096
3	3	4	19.8839	6.1542	69.04933137
4	4	5	18.6827	5.9184	68.32149529
5	5	6	38.2149	12.4343	67.4621679
6	6	7	1.9129	0.5723	70.08207434
7	7	8	4.8337	0.9437	80.4766535
8	8	9	4.1766	0.6502	84.43231336
9	9	10	3.5575	0.6123	82.78847505
10	10	11	0.5532	0.1169	78.86840202
11	11	12	0.8803	0.2197	75.04259911
12	12	13	2.6635	0.541	79.68837995
13	13	14	0.7284	0.1153	84.17078528
14	14	15	0.3566	0.0464	86.9882221
15	15	16	0.2812	0.1042	62.94452347
16	16	17	0.2514	0.2216	11.85361973
17	17	18	0.0531	0.0468	11.86440678
18	2	19	0.161	0.1605	0.310559006
19	19	20	0.8322	0.8297	0.300408556
20	20	21	0.1008	0.1005	0.297619048
21	21	22	0.0436	0.0435	0.229357798
22	3	23	3.1911	3.1196	1.933293515
23	23	24	5.1427	5.0433	1.932836837
24	24	25	1.2872	1.2622	1.942200124
25	6	26	2.5985	1.2114	53.38079661
26	26	27	3.3259	1.6049	51.74539222
27	27	28	11.29	5.6999	49.51372896
28	28	29	7.8258	4.2088	46.21891692
29	29	30	3.8919	2.4413	37.27228346
30	30	31	1.592	0.316	80.15075377
31	31	32	0.213	0.0535	74.88262911
32	32	33	0.0132	0.0117	11.36363636
Total			202.5197	75.5417	62.69908557

Perbandingan nilai rugi daya aktif sebelum dan sesudah pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus saat beban dasar dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Nilai Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Pemasangan DG Pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus Saat Beban Dasar

Tabel 6 menjelaskan perbandingan nilai rugi daya aktif sesudah pemasangan DG mengalami penurunan sebesar 126.978kW atau 62.7 % dari sebelum pemasangan DG dengan nilai rugi daya aktif sebelum pemasangan DG sebesar 202.5197 kW menjadi 75.5417 kW. Hal ini diakibatkan dari penentuan lokasi DG yang dekat dengan pusat-pusat beban dan kapasitas optimal DG yang mampu mengurangi rugi daya aktif dari sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Pada Gambar 7 dapat dilihat perbandingan nilai rugi daya aktif sesudah pemasangan DG mengalami penurunan transfer daya atau rugi-rugi daya aktif dikarenakan kapasitas beban tiap-tiap bus.

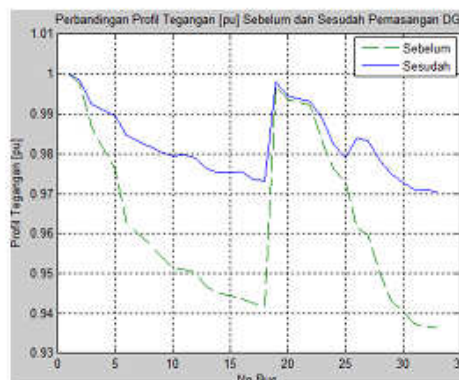
Tabel 7 dan Gambar 8 dapat dilihat perbandingan nilai profil tegangan sesudah pemasangan DG mengalami peningkatan sebesar 0.02 pu atau 2 % dari sebelum pemasangan DG. Hal ini diakibatkan dari penentuan lokasi DG yang dekat dengan pusat-pusat beban dan kapasitas optimal DG yang mampu mengurangi rugi daya aktif

dari sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Peningkatan profil tegangan pada bus 19 karena dekat dengan pusat pembangkit.

Tabel 7 Perbandingan Nilai Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Dipasang DG Hasil Optimasi Menggunakan Metode Artificial Bee Colony

No Bus	Profil Tegangan [pu]		Perubahan [%]
	Sebelum	Sesudah	
1	1	1	0
2	0.9976	0.9985	0.090135203
3	0.9865	0.9924	0.594518339
4	0.9813	0.9909	0.968816228
5	0.9762	0.9896	1.354082458
6	0.9629	0.9847	2.213872245
7	0.9601	0.9832	2.349471115
8	0.9576	0.9818	2.46486046
9	0.9544	0.9804	2.651978784
10	0.9514	0.9795	2.868810618
11	0.951	0.9796	2.919559004
12	0.9502	0.9789	2.931862294
13	0.9466	0.9763	3.042097716
14	0.9452	0.9753	3.086229878
15	0.9444	0.9753	3.168255921
16	0.9436	0.9756	3.2800328
17	0.9424	0.9737	3.214542467
18	0.942	0.9731	3.195971637
19	0.9971	0.998	0.090180361
20	0.9935	0.9944	0.090506838
21	0.9928	0.9937	0.090570595
22	0.9922	0.9931	0.090625315
23	0.9829	0.9889	0.606734756
24	0.9763	0.9823	0.610811361
25	0.973	0.979	0.612870276
26	0.9614	0.984	2.296747967
27	0.9595	0.9832	2.410496338
28	0.9501	0.9783	2.882551365
29	0.9432	0.9751	3.271459338
30	0.9404	0.9728	3.330592105
31	0.9373	0.9711	3.480589023
32	0.9366	0.9709	3.532804614
33	0.9364	0.9707	3.533532502

Perbandingan nilai profil tegangan sebelum dan sesudah pemasangan DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus saat beban dasar dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Perbandingan Nilai Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Pemasangan DG Pada Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

KESIMPULAN

Hasil dan analisa optimasi kapasitas DG atau pembangkit tersebar dalam mengurangi rugi saluran dan meningkatkan profil tegangan menggunakan metode Artificial Bee Colony dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Lokasi yang diperoleh untuk penempatan DG pada sistem uji coba standar IEEE 33 bus dengan faktor sensitivitas rugi-rugi ($norm[j] < 1.01$) terdapat pada 21 calon bus yaitu pada bus 18, bus 17, bus 16, bus 33, bus 32, bus 15, bus 31, bus 14, bus 13, bus 30, bus 29, bus 12, bus 11, bus 10, bus 28, bus 9, bus 8, bus 27, bus 7, bus 26, dan bus 6.
2. Hasil Optimasi Menggunakan Metode ABC
 - a. Kapasitas optimal DG yang terbaik dari 4 skenario menggunakan metode Artificial Bee Colony didapatkan pada skenario 4 dengan pemasangan DG pada 5 bus yaitu bus 7, bus 11, bus 16, bus 29 dan bus 32.
 - b. Total kapasitas DG pada skenario 4 lebih besar 20.87 % dari skenario 1, lebih kecil 1.12 % dari skenario 2 dan lebih kecil 1.41 % dari skenario 3.
 - c. Total rugi daya aktif pada skenario 4 lebih kecil 12.06 % dari skenario 1, lebih kecil 2.08 % dari skenario 2 dan lebih kecil 0.84 % dari skenario 3.

DAFTAR PUSTAKA

Adrianti. Dkk. 2008. "Studi Aliran Daya Tiga Fasa Untuk Sistem Distribusi Dengan Metode Pendekatan Langsung". Padang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.

- Dri, Adrianus. 2012. "Meminimalkan Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dengan Pemasangan Kapasitor". Tanjungpura : Teknik Tenaga Listrik Universitas Tanjungpura.
- Ghosh. Dkk. 2012. "A Load Flow based Approach for Optimum Allocation of Distributed Generation Units in the Distribution Network for Voltage Improvement and Loss Minimization". EE Deptt., National Institute of Technology Agartala, Barjala, Jirania, Tripura.
- Gozel. Dkk.2009. "An Analytical Method For The Sizing And Siting Of Distributed Generators In Radial Systems". Turkey :Gebze Institute of Technology, Department of Electronics Engineering, 41400 Gebze, Kocaeli.
- Guseynov.Dkk. 2006. "Defining Impact of Distributed Generation on Power System Stability". Azerbaijan Scientific Research Institute of Energetics and Energy Design.
- Karaboga, D., "An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization". Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, (2005).
- Karaboga.Dkk. 2009. "A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm". Erciyes University, The Department of Computer Engineering, Melikgazi, 38039 Kayseri, Turkey.
- Linh. Dkk.2013. "Optimal Location and Size of Distributed Generation in Distribution System by Artificial Bees Colony Algorithm". Ha Noi University of Technology of Viet Nam.
- R, Dedy Noverdy. 2012. "Analisis Aliran Daya Pada Sistem Distribusi Radial 20KV PT. PLN (Persero) Ranting Rasau Jaya". Tanjungpura : Teknik Tenaga Listrik Universitas Tanjungpura.
- Rao.Dkk. 2008. "Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm". India : Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad.
- Robandi. Dkk. 2012. "Penempatan Dan Penentuan Kapasitas Optimal Distributed Generator (DG) Menggunakan Artificial Bee Colony (ABC)". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.