

OPTIMASI PENENTUAN LOKASI DAN KELUARAN DAYA AKTIF PEMBANGKIT KECIL TERSEBAR METODE ALGORITMA GENETIKA STANDAR PADA PENYULANG 1 SISTEM DISTRIBUSI 20 KV TARAKAN

Achmad Budiman¹

¹Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan
Email: achmad1177@gmail.com¹

Abstrak

Pemanfaatan pembangkit kecil tersebar (PKT) pada Penyulang I Sistem Distribusi Listrik Tarakan 20 kV bertujuan untuk pemenuhan kebutuhan listrik konsumen dan diharapkan dapat meminimalkan rugi daya pada jaringan. Untuk itu diperlukan optimasi dalam menentukan lokasi dan keluaran daya aktif PKT. Metode algoritma genetika standar digunakan dalam penentuan lokasi dan keluaran daya aktif untuk 3 Unit PKT kapasitas masing-masing 250 kW pada Penyulang I Sistem Distribusi 20 KV Tarakan. Hasil optimasi yang dicapai untuk lokasi optimal pada bus 22, 28, 47 dengan masing-masing keluaran daya aktif 196, 192, 200 kW dan penurunan rugi daya jaringan sebesar 37,73 % atau 17.000 Watt.

Kata Kunci : algoritma genetika standar, sistem distribusi listrik, pembangkit kecil tersebar

Abstract

The use of distributed generation (DG) at Feeder I Tarakan Distribution System 20 kV aims to meet the needs of consumer electricity, but it is expected to reduce the loss of power on the network. Therefore, optimization is needed in determining the location and output of DG's active power. The standard genetic algorithm method is used in the determination of the location and output of active power for 3 units of each 250 kW capacity in Feeder I Tarakan Distribution System 20 kV. The optimized results were achieved for optimal locations on 22,28, 47 buses with each 196, 192, 200 kW active power output and 37.73 % or 17,000 Watt network loss.

Keywords: standard genetic algorithm, electrical distribution system, distributed generation

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan pembangkit kecil tersebar (PKT) pada sistem distribusi listrik bertujuan untuk pemenuhan kebutuhan listrik konsumen dan diharapkan dapat meminimalkan rugi daya pada jaringan. Teknologi PKT termasuk teknologi yang ramah lingkungan. Sebagai contoh, turbin generator PKT bahan bakar gas alam melepaskan kurang dari seperempat dari emisi sulfur dioksida (SO₂), kurang dari 1/100 dari oksida nitrogen (NO_x), dan 40% kurang karbon dioksida (CO₂) dibanding boiler pembangkit listrik batu bara baru; unit jenis turbin generator DG bahan bakar gas alam cukup bersih untuk dapat diletakkan dalam suatu komunitas di antara perumahan dan bangunan komersial (DPCA, 1998) [1]. Untuk mengintegrasikan PKT dalam sistem pembangkit diperlukan perencanaan yang baik termasuk menentukan besar keluaran daya aktif PKT. Sistem kelistrikan yang memiliki

bus berjumlah banyak menjadi kesulitan tersendiri dalam hal menentukan keluaran daya aktif PKT. Kesalahan dalam penentuan yang disebutkan diatas dapat berpengaruh terhadap keandalan unit PKT dan rugi daya pada jaringan listrik. Dalam masalah optimisasi penentuan keluaran daya aktif PKT diselesaikan dengan metode algoritma genetika standar.

2. METODE

Algoritma genetika merupakan metode algoritma komputasi yang meniru proses seleksi alam. Algoritma Genetika sangat berguna dan efisien untuk masalah karakteristik sebagai berikut [2] :

- Ruang masalah sangat besar, kompleks dan sulit dipahami.
- Tidak ada pengetahuan yang memadai untuk mempresentasikan masalah.

c) Tidak tersedianya analisa matematika yang memadai.

Metode-metode konvensional tak mampu lagi untuk menyelesaikannya.

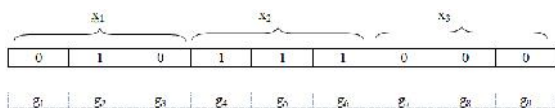
Metode algoritma genetika sering dimanfaatkan untuk mencari nilai optimum suatu fungsi/permasalahan untuk mencari nilai optimum tersebut, pertama-tama parameter-parameter permasalahan diubah kedalam bentuk genetik sebuah kromosom. Kromosom ini dapat terdiri dari sederetan *string* (angka 0 dan 1) ataupun bilangan real. Selanjutnya suatu populasi yang terdiri dari kromosom ini mengalami proses seleksi, *crossover* (persilangan) dan mutasi yang meniru proses biologi yang terjadi di alam. Proses ini berulang-ulang dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Kualitas suatu individu ditunjukkan oleh nilai *fitness* yang diukur dengan suatu kriteria yang mencerminkan sejauh mana kromosom individu tersebut mendekati nilai optimum yang diinginkan. Kriteria tersebut menjadi alat kontrol bagi proses evolusi agar *fitness* generasi yang akan datang akan lebih baik dari generasi sebelumnya. Setelah melewati banyak generasi, proses evolusi ini akan menghasilkan individu-individu dengan *fitness* yang lebih tinggi bila diinginkan solusi maksimal atau *fitness* yang rendah bila diinginkan solusi minimal.

Teknik pengkodean digunakan binary encoding. Setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1. Prosedur pendekodean [2] adalah

$$x = r_b + (r_a - r_b) \tag{1}$$

Dengan N adalah jumlah gen dalam kromosom disebut panjang kromosom.



Gambar 1 Pengkodean gen

Nilai *fitness* yang digunakan adalah $f = 1/h$ untuk meminimalkan fungsi h [3]. jika $h =$

0 maka $f = \infty$ sehingga h perlu ditambah sebuah bilangan yang dianggap sangat kecil sehingga nilai *fitness*nya menjadi:

$$f = \frac{1}{(h + a)} \tag{2}$$

Dengan a adalah bilangan yang dianggap sangat kecil dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan. Sedangkan *fitness* untuk permasalahan optimasi penentuan lokasi dan keluaran daya aktif PKT adalah berikut ini :

$$fitness = \frac{1}{P_{Loss}} \tag{3}$$

dengan P_{Loss} menunjukkan rugi saluran sistem distribusi.

Nilai seleksi orang tua merupakan proses pemilihan individu untuk berpindah menuju generasi baru menurut *fitness*nya. Metode seleksi yang digunakan adalah *roulette wheel*. Masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*nya. Untuk mencegah terjadinya konvergensi pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan *fitness*, sehingga *fitness* berada pada $[f_{max} - f_{min}]$ sebagai berikut [2 , 4]:

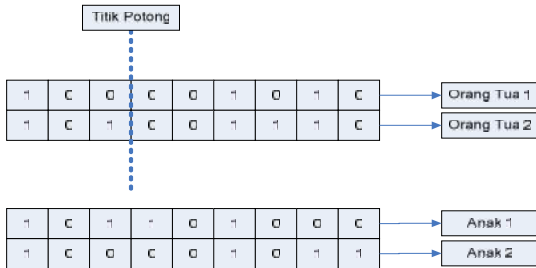
$$f_i = \frac{1}{N} (\eta^+ - (\eta^+ - \eta^-) \times \frac{i-1}{N-1}) \tag{4}$$

Dengan:

- f_i = Nilai *fitness* individu ke- i
- N = Ukuran populasi
- $+$ = Nilai *fitness* maksimum
- $-$ = Nilai *fitness* minimum

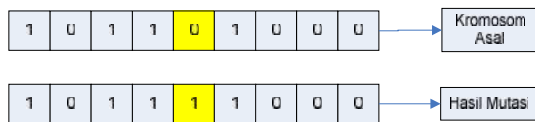
Pindah silang atau *crossover* adalah salah satu komponen paling penting dalam algoritma genetika [4]. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus bisa diperoleh dari proses memindah-silangkan dua buah kromosom. Yang paling sederhana adalah pindah silang satu titik potong (*one-*

point crossover). Suatu titik potong dipilih secara random, kemudian bagian pertama dari orang tua 1 digabungkan dengan bagian kedua dari orang tua 2.



Gambar 2 Proses pindah silang

Mutasi untuk semua gen yang ada diproses jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka ubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam binary encoding, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0). Sebagai gambaran, proses mutasi yang terjadi pada gen g_{10} . Bilangan random yang dihasilkan lebih kecil daripada probabilitas mutasi P_{mut} terjadi pada gen g_5 sehingga gen g_5 berubah dari 1 menjadi 0 [4].



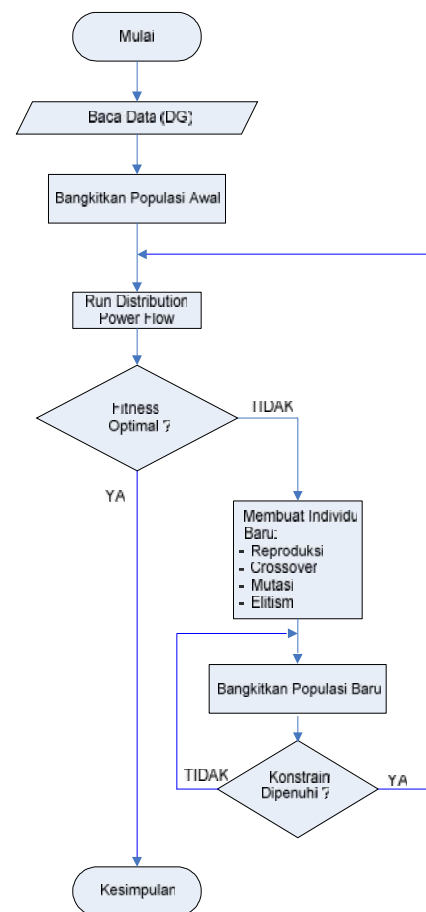
Gambar 3. Proses mutasi

Elitisme adalah proses selanjutnya untuk menjaga agar individu bernilai fitness tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, sehingga perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Hal ini disebabkan tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Walaupun individu bernilai fitness tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai fitnessnya menurun) karena proses pindah silang [4]. Untuk menganalisis aliran daya, digunakan metode *Newton Rapson* untuk menganalisa aliran daya listrik dari pusat-pusat pembangkit yang disalurkan melalui saluran distribusi sampai ke pusat-pusat beban [5]. Secara keseluruhan,

Metode untuk permasalahan optimasi ini adalah sebagai berikut :

1. Membaca data pembangkit kecil tersebar dan data saluran sistem distribusi.
2. Membangkitkan populasi dalam kode biner
3. Melakukan aliran daya sistem distribusi.
4. Mendapatkan nilai *fitness* optimal untuk mengetahui rugi saluran terkecil.
5. Jika nilai *fitness* belum optimal maka dilanjutkan proses reproduksi, pindah silang atau *crossover*, mutasi, elitisme untuk mendapatkan individu baru
6. Membangkitkan populasi baru.
7. Melakukan aliran daya sistem distribusi jika konstrain tegangan bus dipenuhi.
8. Membangkitkan populasi baru jika konstrain tegangan bus tak terpenuhi.

Flowchart optimasi metode algoritma standar ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Flow Chart Optimasi Rugi Saluran Penyalang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan

Tabel 1 Data Beban Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan

Bus No.	P (kW)	Q (kVar)
1	0	0
2	11.6	7.2
3	22.7	14.1
4	0	0
5	79	49.3
6	87.5	54.5
7	70.3	43.8
8	101	63
9	53.7	33.5
10	90.7	56.6
11	105.6	65.9
12	47.2	29.4
13	75.6	47.1
14	10.5	6.6
15	0	0
16	93.5	58.3
17	85.3	53.2
18	61.6	38.4
19	0	0
20	138.6	86.4
21	0	0
22	55.5	34.6
23	136	84.8
24	55.9	34.9
25	127.5	79.5
26	13.5	8.4
27	90.1	56.2
28	58	36.1
29	30.3	18.9
30	0	0
31	99.9	62.3
32	119.9	74.8
33	0	0
34	83.8	52.3
35	17	10.6
36	22.7	14.1
37	45.1	28.1
38	75.4	47

Bus No.	P (kW)	Q (kVar)
39	30.3	18.9
40	0	0
41	13.5	8.4
42	11.5	7.2
43	0	0
44	46.1	28.7
45	0	0
46	10.5	6.6
47	76.5	47.7
48	12.75	7.95
Total	2366.15	1475.35

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Awal dari proses optimasi terlebih dahulu melakukan studi aliran daya untuk mengetahui nilai rugi saluran masing-masing saluran dan total rugi saluran [6]. Hasil studi aliran daya pada Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan tanpa PKT memperoleh total rugi daya sebesar 0,044 Megawatt atau 44.000 Watt seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Hasil aliran daya tanpa PKT

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method						
No. of Iterations = 4						
Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load		Gen	
			MW	Mvar	MW	M var
1	1	0	0	0	0	0
2	0.998	0.012	0.0008	0.0005	0	0
3	0.996	-0.054	0.0015	0.0009	0	0
4	0.993	-0.119	0	0	0	0
5	0.993	-0.122	0.0053	0.0033	0	0
6	0.993	-0.124	0.0058	0.0036	0	0
7	0.991	-0.18	0.0047	0.0029	0	0
8	0.989	-0.239	0.0067	0.0042	0	0
9	0.986	-0.295	0.0036	0.0022	0	0
10	0.984	-0.351	0.006	0.0038	0	0
11	0.982	-0.404	0.007	0.0044	0	0
12	0.98	-0.454	0.0031	0.002	0	0
13	0.978	-0.503	0.005	0.0031	0	0

Power Flow Solution by Newton-Raphson Method						
14	0.977	-0.549	0.0007	0.0004	0	0
15	0.975	-0.596	0	0	0	0
16	0.975	-0.603	0.0062	0.0039	0	0
17	0.974	-0.607	0.0057	0.0035	0	0
18	0.974	-0.609	0.0041	0.0026	0	0
19	0.973	-0.636	0	0	0	0
20	0.973	-0.652	0.0092	0.0058	0	0
21	0.972	-0.663	0	0	0	0
22	0.972	-0.667	0.0037	0.0023	0	0
23	0.972	-0.67	0.0091	0.0057	0	0
24	0.972	-0.667	0.0037	0.0023	0	0
25	0.972	-0.67	0.0085	0.0053	0	0
26	0.972	-0.671	0.0009	0.0006	0	0
27	0.972	-0.655	0.006	0.0037	0	0
28	0.971	-0.672	0.0039	0.0024	0	0
29	0.97	-0.687	0.002	0.0013	0	0
30	0.969	-0.702	0	0	0	0
31	0.969	-0.707	0.0067	0.0042	0	0
32	0.969	-0.71	0.008	0.005	0	0
33	0.969	-0.712	0	0	0	0
34	0.969	-0.714	0.0056	0.0035	0	0
35	0.969	-0.715	0.0011	0.0007	0	0
36	0.968	-0.72	0.0015	0.0009	0	0
37	0.968	-0.727	0.003	0.0019	0	0
38	0.968	-0.733	0.005	0.0031	0	0
39	0.967	-0.738	0.002	0.0013	0	0
40	0.967	-0.741	0	0	0	0
41	0.967	-0.742	0.0009	0.0006	0	0
42	0.967	-0.745	0.0008	0.0005	0	0
43	0.967	-0.748	0	0	0	0
44	0.967	-0.749	0.0031	0.0019	0	0
45	0.966	-0.75	0	0	0	0
46	0.966	-0.751	0.0007	0.0004	0	0
47	0.966	-0.752	0.0051	0.0032	0	0
48	0.966	-0.753	0.0009	0.0005	0	0
Total			0.1577	0.0984	0	0

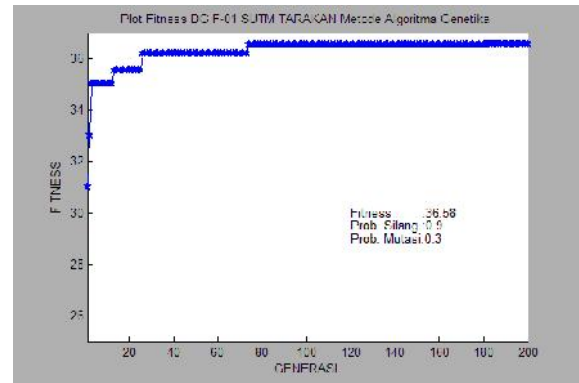
Tabel 3 Rugi daya saluran tanpa PKT

Line Flow and Losses						
Line		Power at bus & line flow			line loss	
from	to	MW	M var	MVA	MW	M var
1		0	0	0		
	2	2.41	1.535	2.858	0.004	0.002
2		0.012	0.007	0.014		
	1	-	-1.533	2.853	0.004	0.002
	3	2.394	1.526	2.839	0.004	0.007
3		0.023	0.014	0.027		
	2	-2.39	-1.519	2.832	0.004	0.007
	4	2.367	1.505	2.805	0.004	0.007
4		0	0	0		
	3	-	-1.499	2.798	0.004	0.007
	5	0.167	0.104	0.196	0	0
	7	2.196	1.395	2.602	0.004	0.006
5		0.079	0.049	0.093		
	4	-	-0.104	0.196	0	0
	6	0.088	0.055	0.103	0	0
6		0.088	0.055	0.103		
	5	-	-0.055	0.103	0	0
7		0.07	0.044	0.083		
	4	-	-1.389	2.595	0.004	0.006
	8	2.122	1.346	2.513	0.004	0.005
8		0.101	0.063	0.119		
	7	-	-1.34	2.507	0.004	0.005
	9	2.018	1.277	2.388	0.003	0.005
9		0.054	0.034	0.063		
	8	-	-1.272	2.383	0.003	0.005
	10	1.961	1.239	2.319	0.003	0.005
10		0.091	0.057	0.107		
	9	-	-1.234	2.314	0.003	0.005
	11	1.867	1.178	2.207	0.003	0.004
11		0.106	0.066	0.124		
	10	-	-1.174	2.203	0.003	0.004
	12	1.758	1.108	2.078	0.002	0.004
12		0.047	0.029	0.056		
	11	-	-1.104	2.074	0.002	0.004

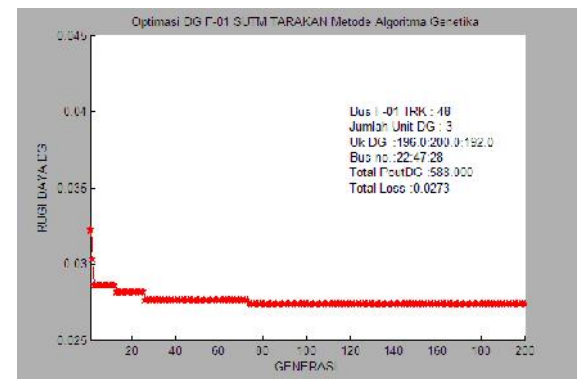
Line Flow and Losses					
13	1.709	1.075	2.019	0.002	0.003
13	0.076	0.047	0.089		
12	-1.706	-1.071	2.015	0.002	0.003
14	1.631	1.024	1.926	0.002	0.003
14	0.011	0.007	0.012		
13	-1.629	-1.021	1.922	0.002	0.003
15	1.618	1.014	1.91	0.002	0.003
15	0	0	0		
14	-1.616	-1.011	1.906	0.002	0.003
16	0.24	0.15	0.283	0	0
19	1.376	0.861	1.623	0.002	0.002
16	0.094	0.058	0.11		
15	-0.24	-0.15	0.283	0	0
17	0.147	0.092	0.173	0	0
17	0.085	0.053	0.101		
16	-0.147	-0.092	0.173	0	0
18	0.062	0.038	0.073	0	0
18	0.062	0.038	0.073		
17	-0.062	-0.038	0.073	0	0
19	0	0	0		
15	-1.374	-0.859	1.62	0.002	0.002
20	0.527	0.329	0.622	0	0
27	0.847	0.53	0.999	0.001	0.001
20	0.139	0.086	0.163		
19	-0.527	-0.329	0.621	0	0
21	0.389	0.243	0.458	0	0
21	0	0	0		
20	-0.389	-0.242	0.458	0	0
22	0.192	0.119	0.226	0	0
24	0.197	0.123	0.232	0	0
22	0.056	0.035	0.065		
21	-0.192	-0.119	0.226	0	0
23	0.136	0.085	0.16	0	0
23	0.136	0.085	0.16		
22	-0.136	-0.085	0.16	0	0
24	0.056	0.035	0.066		
21	-0.197	-0.123	0.232	0	0
25	0.141	0.088	0.166	0	0

Line Flow and Losses					
25	0.128	0.08	0.15		
24	-0.141	-0.088	0.166	0	0
26	0.014	0.008	0.016	0	0
26	0.014	0.008	0.016		
25	-0.013	-0.008	0.016	0	0
27	0.09	0.056	0.106		
19	-0.846	-0.529	0.997	0.001	0.001
28	0.756	0.472	0.891	0.001	0.001
28	0.058	0.036	0.068		
27	-0.755	-0.472	0.89	0.001	0.001
29	0.697	0.436	0.822	0.001	0.001
29	0.03	0.019	0.036		
28	-0.697	-0.435	0.821	0.001	0.001
30	0.666	0.416	0.786	0.001	0.001
30	0	0	0		
29	-0.666	-0.416	0.785	0.001	0.001
31	0.22	0.137	0.259	0	0
33	0.446	0.278	0.526	0	0
31	0.1	0.062	0.118		
30	-0.22	-0.137	0.259	0	0
32	0.12	0.075	0.141	0	0
32	0.12	0.075	0.141		
31	-0.12	-0.075	0.141	0	0
33	0	0	0		
30	-0.446	-0.278	0.525	0	0
34	0.101	0.063	0.119	0	0
36	0.345	0.215	0.406	0	0
34	0.084	0.052	0.099		
33	-0.101	-0.063	0.119	0	0
35	0.017	0.011	0.02	0	0
35	0.017	0.011	0.02		
34	-0.017	-0.011	0.02	0	0
36	0.023	0.014	0.027		
33	-0.345	-0.215	0.406	0	0
37	0.322	0.201	0.38	0	0
37	0.045	0.028	0.053		
36	-0.322	-0.201	0.379	0	0
38	0.277	0.173	0.326	0	0

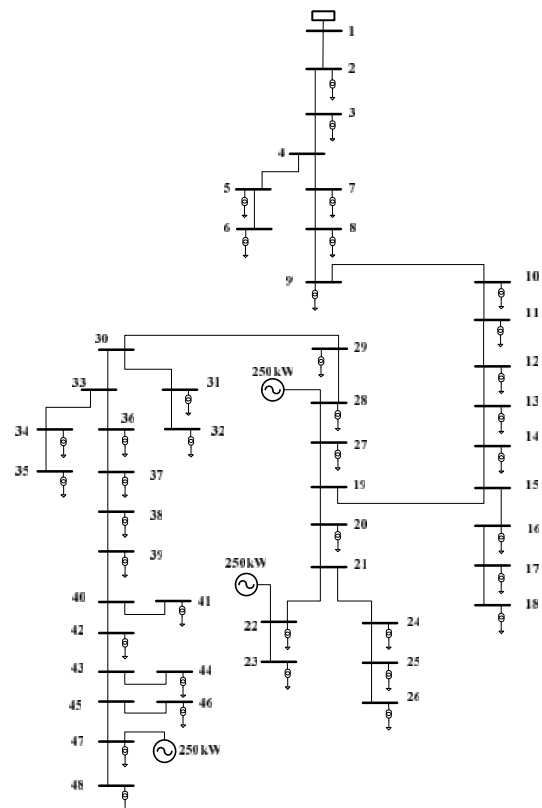
Line Flow and Losses					
38	0.075	0.047	0.089		
37	-	-	-	0	0
39	0.201	0.126	0.237	0	0
39	0.03	0.019	0.036		
38	-	-	-	0	0
40	0.171	0.107	0.202	0	0
40	0	0	0		
39	-	-	-	0	0
41	0.014	0.008	0.016	0	0
42	0.157	0.098	0.186	0	0
41	0.014	0.008	0.016		
40	-	-	-	0	0
42	0.012	0.007	0.014		
40	-	-	-	0	0
43	0.146	0.091	0.172	0	0
43	0	0	0		
42	-	-	-	0	0
44	0.046	0.029	0.054	0	0
45	0.1	0.062	0.118	0	0
44	0.046	0.029	0.054		
43	-	-	-	0	0
45	0	0	0		
43	-0.1	-0.062	0.118	0	0
46	0.011	0.007	0.012	0	0
47	0.089	0.056	0.105	0	0
46	0.011	0.007	0.012		
45	-	-	-	0	0
47	0.077	0.048	0.09		
45	-	-	-	0	0
48	0.013	0.008	0.015	0	0
48	0.013	0.008	0.015		
47	-	-	-	0	0
Total Loss			0.044	0.06	



Gambar 5 Plot fitness



Gambar 6 Plot total rugi daya



Gambar 7 Hasil optimasi penempatan PKT pada Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan

Selanjutnya melakukan optimasi sampai generasi ke 200 yang ditunjukkan gambar 5 dan gambar 6 dengan parameter-parameter populasi yang berisi 100 individu, *crossover* 0,9, mutasi 0,3.

Kapasitas awal PKT 250 kW dan keluaran daya PKT serta lokasi penempatan PKT terkode biner dan mengalami dekode menjadi bilangan ril. Keluaran daya PKT yang diinjeksikan ke Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan disetting sebagai beban negatif [7]. Rugi saluran yang timbul akibat penginjeksian tersebut digunakan untuk menghitung nilai *fitness* dalam algoritma genetika standar. *Fitness* optimal (tertinggi) merupakan rugi saluran terkecil pada Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan. Hasil optimasi dengan metode algoritma genetika standar ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Optimasi

Hasil Simulasi Algoritma Genetika Standar Untuk 3 Unit PKT			
Nomor Bus Lokasi PKT	Nama Lokasi PKT	Kap. kW PKT	Pout kW PKT
22	KRA 39	250	196
28	KRA	250	192
47	KBG 330	250	200
Total		750	588
Total Loss tanpa PKT	:	0.044 MW	
Total Loss pakai PKT	:	0.027 MW	
Penurunan Total Loss	:	0.017 MW atau 17 kW	
Penurunan Total Loss %	:	37.73%	
Total Daya Output PKT	:	588.00 kW	

Optimasi total keluaran daya aktif generator PKT adalah 588 kW dengan nilai secara berurutan adalah 196 kW, 192 kW, 200 kW dan lokasi penempatan PKT ditunjukkan gambar 7 adalah Bus 22, 28, 47. Sedangkan

rugi saluran sistem distribusi Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan dapat dikurangi sebesar 37,73% dari 0,044 MW menjadi 0,027 MW.

4. KESIMPULAN

Dari permasalahan optimasi ini dapat disimpulkan :

- a) Sebelum dilakukan optimasi untuk menentukan lokasi dan keluaran daya aktif PKT diperoleh rugi saluran Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan sebesar 0,044 MW atau 44.000 kW.
- b) Setelah dilakukan optimasi untuk menentukan lokasi dan keluaran daya aktif PKT diperoleh rugi saluran Penyulang 1 Sistem Distribusi 20 kV Tarakan sebesar 0,027 MW atau 27.000 kW.
- c) Lokasi penempatan PKT pada bus 22, 28, 47 dengan kapasitas PKT secara berurutan adalah 196 kW, 192 kW, 200 kW.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang dengan izin-Nya hingga tulisan ini selesai. Terima kasih kepada Tim *Jurnal Inovtek Polbeng* dan pihak lainnya yang telah meluangkan waktunya untuk mempublikasikan tulisan ini.

REFERENSI

- [1] Ann-Marie Borbely and Jan F. Kreder. 2001. *Distributed Generation The Power Paradigm for the New Millennium*. CRC Press LLC. Florida.
- [2] Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Andi Offset Yogyakarta.
- [3] Haupt and Randy L. 1998. *Practical Genetic Algorithms*. A Wiley-Interscience publication. USA.
- [4] Achmad Budiman. 2010. Penempatan dan penentuan kapasitas pembangkit kecil tersebar menggunakan algoritma genetika breeder multiobjektif. *Tesis*. Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

Surabaya

- [5] Dimas Fajar Uman. 2013, *Under Voltages Load Shedding Based on Catastrophe Theory Method For Surabaya Electrical Distribution Systems*. SITIA, Surabaya.
- [6] Carmen L. T. Borges and Djalma M. Falcao. 2006. Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. *ELSEVIER Electrical Power and Energy System* 28 (2006) 413-420.
- [7] D. Bhujel. 2012. *A Load Flow Algorithm for Radial Distribution System with Distributed Generation*, IEEE ICSET.