

## Implementasi Algoritma Genetika untuk Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt pada Penyulang Distribusi Tenaga Listrik

Carwoto

Program Studi Teknik Informatika, STMIK ProVisi Semarang

e-mail : carwoto@yahoo.com

**Abstract :** *Genetic Algorithm is a kind of search algorithm based on the mechanics of natural selection and genetics. This algorithm can search for a global optimum solution using multiple path and treat integer problem naturally.*

*This paper presents application of Genetic Algorithm for determining the size, location, type, and number of capacitors to be placed on radial distribution system. The objective is to minimize the peak power losses and energy losses in the distribution system considering the capacitor cost. The algorithm was implemented in Delphi programming language and tested for a realistic physically-existing feeder to show its feasibility and capabilities.*

**Keyword :** *implementation algorithm genetic*

### PENDAHULUAN

Kapasitor shunt banyak dipakai sebagai kompensator daya reaktif pada penyulang distribusi primer sistem tenaga listrik. Dengan memasang kapasitor shunt, rugi-rugi energi (*energy losses*) dan rugi-rugi daya puncak (*peak power losses*) dapat dikurangi sampai ke tingkat yang dikehendaki (Grainger, 1981). Besar kompensasi yang diberikan kapasitor terhadap sistem distribusi sangat tergantung pada formasi penempatan kapasitor tersebut, yang meliputi penentuan lokasi, ukuran, jumlah, dan tipe kapasitor.

Metode yang semula sering dipakai untuk menyelesaikan masalah optimasi penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi primer adalah metode-metode deterministik (Grainger, 1983). Metode ini memerlukan informasi tambahan, untuk dapat mencapai solusi optimal yang diinginkan, seperti kontinuitas dan turunan fungsi. Disamping itu, karena metode deterministik melakukan pencarian nilai optimum dari titik ke titik dalam ruang penyelesaian, maka sangat memungkinkan pencapaian optimum lokal (*local optima*), apabila dalam ruang pencarian terdapat banyak titik penyelesaian (Goldberg, 1989).

Algoritma Genetika merupakan algoritma pencarian yang dilandaskan atas mekanisme

genetika dan seleksi alam (Sastry, K. et.al., 2004). Dalam ilmu komputer, Algoritma Genetika termasuk dalam kajian komputasi lunak (*soft computing*) dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Pada beberapa literatur, seperti ditulis Runarsson (2005) dan Jun He, et. al. (2005), algoritma dengan cara kerja yang serupa disebut dengan Algoritma Evolusi (*Evolutionary Algorithm*). Algoritma Genetika memulai pencarian solusi dengan suatu populasi titik solusi penyelesaian secara simultan, sehingga kemungkinan pencapaian optimum lokal dapat diperkecil. Karena terbukti sebagai cara pendekatan valid untuk menyelesaikan masalah optimasi yang memerlukan pencarian efektif dan efisien, sekarang ini Algoritma Genetika telah diterapkan secara luas dalam berbagai aplikasi bisnis, ilmu pengetahuan, teknik dan rekayasa.

Tulisan ini memaparkan hasil studi kasus optimasi pemilihan ukuran dan lokasi penempatan kapasitor shunt pada penyulang distribusi tenaga listrik primer berbentuk radial tanpa cabang menggunakan Algoritma Genetika yang dioperasikan secara mandiri (*GA alone*). Maksudnya, tidak ada algoritma perhitungan lain yang dipakai mendahului, bersamaan, atau sesudah pengoperasian rutin-rutin Algoritma Genetika pada proses optimasi tersebut. Untuk mengimplementasikan Algoritma Genetika pada kasus yang dipilih, telah dibuat aplikasi

komputer menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0.

**PRINSIP DASAR ALGORITMA GENETIKA**

Algoritma Genetika adalah algoritma pencarian yang berdasarkan mekanisme seleksi alam Darwin dan prinsip-prinsip genetika, untuk menentukan struktur-struktur (yang masing-masing disebut individu) berkualitas tinggi yang terdapat dalam sebuah domain (yang disebut populasi). Pencarian dilakukan dengan suatu prosedur iteratif untuk mengatur populasi individu yang merupakan kandidat-kandidat solusi.

Dibanding metoda optimasi lain, Algoritma Genetika memiliki perbedaan dalam empat hal, yaitu Algoritma Genetika bekerja dengan struktur-struktur kode variabel, menggunakan banyak titik pencarian (*multiple point*), informasi yang dibutuhkan hanya fungsi obyektifnya saja (sehingga menjadikan implementasinya lebih sederhana), serta menggunakan operator stokastik dengan pencarian terbimbing (Goldberg, 1989).

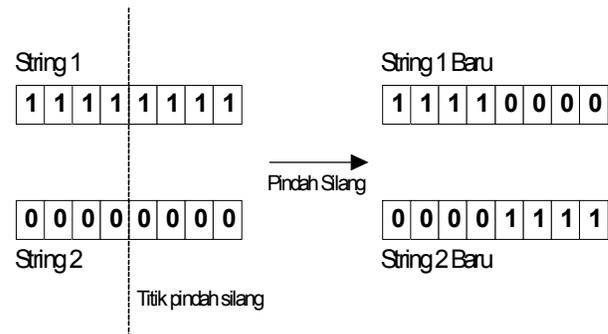
**1. Operator-Operator Genetika**

Tiga operator dasar yang sering digunakan dalam Algoritma Genetika adalah reproduksi, pindah silang (crossover), dan mutasi. Dalam proses reproduksi, setiap individu populasi pada suatu generasi diseleksi berdasarkan nilai fitnessnya untuk bereproduksi guna menghasilkan keturunan. Probabilitas terpilihnya suatu individu untuk bereproduksi adalah sebesar nilai fitness individu tersebut dibagi dengan jumlah nilai fitness seluruh individu dalam populasi (Davis, 1991; ).

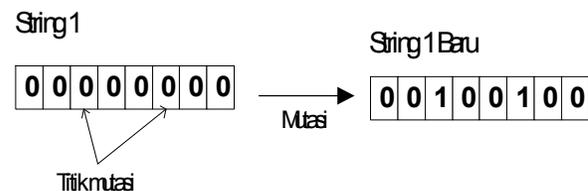
Pindah silang adalah proses pemilihan posisi string secara acak dan menukar karakter-karakter stringnya (Goldberg, 1989; Davis, 1991). Ilustrasi proses pindah silang dapat dilihat pada Gambar 1. String 1 dan String 2 mengalami proses pindah silang, menghasilkan String 1 Baru dan String 2 Baru.

Operator mutasi dioperasikan sebagai cara untuk mengembalikan materi genetik yang

hilang. Melalui mutasi, individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih nilai gen pada individu yang sama. Mutasi mencegah kehilangan total materi genetika setelah reproduksi dan pindah silang. Ilustrasi proses mutasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Ilustrasi Proses Pindah Silang



Gambar 2. Ilustrasi Proses Mutasi

**2. Parameter-Parameter Genetika**

Parameter-parameter genetika berperan dalam pengendalian operator-operator genetika yang digunakan dalam optimasi menggunakan Algoritma Genetika (Davis, 1991; Sundhararajan, 1994; Sastry, 2004). Parameter Genetika yang sering digunakan meliputi ukuran populasi (N), probabilitas pindah silang ( $P_c$ ), dan probabilitas mutasi ( $P_m$ ).

Pemilihan ukuran populasi yang digunakan tergantung pada masalah yang akan diselesaikan. Untuk masalah yang lebih kompleks biasanya diperlukan ukuran populasi yang lebih besar guna mencegah konvergensi prematur (yang menghasilkan optimum lokal).

Pada tiap generasi, sebanyak  $P_c \cdot N$  individu dalam populasi mengalami pindah silang. Makin besar nilai  $P_c$  yang diberikan, makin cepat struktur individu baru yang

diperkenalkan ke dalam populasi. Jika nilai  $P_c$  yang diberikan terlalu besar, individu yang merupakan kandidat solusi terbaik dapat hilang lebih cepat dibanding seleksi untuk peningkatan kinerja. Sebaliknya, nilai  $P_c$  yang rendah dapat mengakibatkan stagnasi karena rendahnya angka eksplorasi.

Probabilitas mutasi adalah probabilitas dimana setiap posisi bit pada tiap string dalam populasi-baru mengalami perubahan secara acak setelah proses seleksi. Dalam satu generasi, dengan  $L$  panjang struktur, kemungkinan terjadi mutasi sebanyak  $P_m * N * L$ .

**3. Fungsi Fitness**

Dalam Algoritma Genetika, fungsi fitness merupakan pemetaan fungsi obyektif dari masalah yang akan diselesaikan (Goldberg, 1989). Setiap masalah yang berbeda yang akan diselesaikan memerlukan pendefinisian fungsi fitness yang berbeda.

Misalkan fungsi obyektif  $g(x)$  berupa fungsi besaran yang ingin diminimumkan, maka bentuk fungsi fitness  $f(x)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$f(x) = C_{max} - g(x), \text{ untuk } g(x) < C_{max}, = 0, \text{ untuk } g(x) \geq C_{max} \dots\dots\dots(1)$$

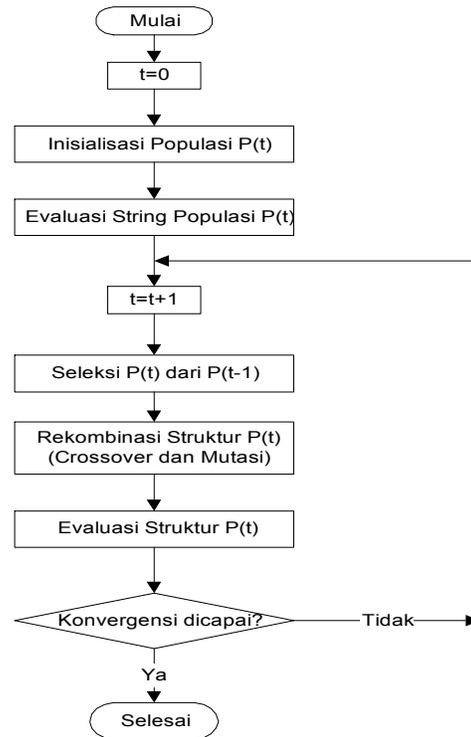
$C_{max}$  dapat diambil sebagai koefisien masukan, misalnya nilai  $g$  terbesar yang dapat diamati, nilai  $g$  terbesar pada populasi saat ini, atau nilai  $g$  terbesar  $k$  generasi terakhir.

**4. Siklus Eksekusi Algoritma Genetika**

Dalam satu siklus iterasi (yang disebut generasi) pada Algoritma Genetika terdapat dua tahap, yaitu tahap seleksi dan tahap rekombinasi (Goldberg, 1989; Jun He, et.al., 2005). Secara garis besar, siklus eksekusi Algoritma Genetika dapat diringkas dalam bentuk diagram alir seperti Gambar 3.

Tahap seleksi dilakukan dengan mengevaluasi kualitas setiap individu dalam populasi untuk mendapat peringkat kandidat solusi. Berdasarkan hasil evaluasi, selanjutnya dipilih individu-individu yang akan mengalami rekombinasi. Tahap rekombinasi meliputi proses-proses genetika

untuk mendapatkan populasi baru kandidat-kandidat solusi



Gambar 3. Siklus Eksekusi Algoritma Genetika

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR SHUNT**

Penulis telah membuat aplikasi (program) komputer menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7.0 guna mensimulasikan unjuk kerja Algoritma Genetika yang dioperasikan secara mandiri (GA *alone*) untuk melakukan perhitungan optimasi penempatan kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial.

Berikut ini akan dipaparkan teknik pengkodean parameter, inialisasi populasi, fungsi evaluasi, dan algoritma optimasi yang digunakan pada aplikasi komputer yang dibuat. Hal-hal teknis terkait dengan rekayasa piranti lunak aplikasi optimasi tersebut tidak dipaparkan ada tulisan ini, sebab paparan tulisan ini lebih ditekankan pada proses penyelesaian kasus optimasi menggunakan Algoritma Genetika.

**1. Pengkodean Parameter**

Parameter-parameter yang akan diproses oleh Algoritma Genetika dalam optimasi ini

dikodekan menjadi string bilangan biner bulat positif. Pengkodean parameter ke dalam bentuk biner dipilih dengan pertimbangan bahwa bilangan biner cukup sederhana, mudah diproses oleh operator-operator genetika, dan mampu merepresentasikan titik-titik dalam ruang pencarian.

Tingkat beban sistem distribusi didiskritkan ke dalam  $n$  tingkat beban. Algoritma Genetika difungsikan untuk menentukan ukuran kapasitor pada kandidat-kandidat lokasi selama  $n$  tingkat beban. Kandidat lokasi ditentukan sama dengan  $x$  jumlah node pada penyulang. Oleh karena itu struktur individu yang menyatakan ukuran-ukuran kapasitor untuk setiap generasi direpresentasikan dalam sebuah struktur multiparameter dengan parameter sejumlah  $k = nx$ .

## 2. Inisialisasi

Inisialisasi populasi awal dalam Algoritma Genetika dilakukan dengan memilih string secara random. Dalam setiap kasus, populasi awal harus mengandung varitas struktur yang luas untuk menghindari konvergensi prematur. Dalam tulisan ini, string individu diinisialisasi dengan menerapkan kaidah pelemparan mata uang logam bias.

## 3. Fungsi Evaluasi

Fungsi fitness dalam optimasi ini adalah fungsi obyektif minimasi biaya akibat penempatan kapasitor berdasarkan rugi-rugi daya puncak dan rugi-rugi energi, dengan mempertimbangkan biaya kapasitor.

Misalkan terdapat  $n$  tingkat beban dan  $m$  kandidat lokasi kapasitor, maka fungsi obyektif penempatan kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial adalah meminimalkan biaya rugi-rugi yang didapat dengan memasang sejumlah kapasitor shunt dengan konfigurasi jumlah, ukuran, lokasi, dan tipe tertentu. Minimasi tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\min K_e \sum_{i=1}^n T_i . P_i + K_p . P_0 + K_c \sum_{j=1}^M C_j . (2)$$

dimana  $P_i$  adalah rugi-rugi energi pada tingkat beban  $i$ ,  $P_0$  rugi-rugi daya puncak,

$C_j$  ukuran kapasitor pada lokasi  $j$ ,  $K_e$  konstanta biaya energi,  $K_p$  konstanta biaya kapasitas daya, dan  $K_c$  adalah biaya kapasitor (Sundhararajan, 1994).

## 4. Algoritma Optimasi

Sejalan dengan alur kerja Algoritma genetika, maka algoritma optimasi penempatan kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Bentuk populasi awal (inisialisasi) dengan  $k$  string yang merepresentasikan  $nx$  variabel (ukuran kapasitor pada  $x$  lokasi gardu distribusi untuk  $n$  tingkat beban).
2. Evaluasi besar *fitness* setiap string, yaitu dengan mengevaluasi fungsi obyektifnya. Beban ke-0 menyatakan tingkat beban puncak, sehingga biaya rugi-rugi daya puncak dihitung pada tingkat beban ini.
3. Pada setiap generasi string-string ini diurutkan menurut nilai *fitness*-nya. Dengan memakai strategi seleksi elit (*elitist strategy*), maka jika nilai fitness individu terendah ini lebih kecil dari nilai fitness tertinggi generasi sebelumnya, individu yang memiliki nilai fitness terendah pada suatu generasi diganti dengan individu yang memiliki fitness tertinggi pada generasi sebelumnya.
4. Ulangi langkah 3 sampai mencapai jumlah maksimum generasi.

Pada setiap lokasi, ukuran kapasitor minimum yang diperlukan untuk setiap tingkat beban dapat dipertimbangkan sebagai ukuran kapasitor tetap yang dapat dipasang di lokasi tersebut.

## STUDI KASUS

Pada program aplikasi komputer yang penulis buat untuk perhitungan optimasi menggunakan Algoritma Genetika ini, telah dilakukan pengujian dengan data masukan yang dipilih untuk mensimulasikan unjuk kerja Algoritma Genetika sebagai algoritma optimasi

penempatan kapasitor shunt. Berikut adalah detail data masukan dan hasil simulasinya.

**1. Data Masukan**

Sebagai studi kasus, dipilih data Sistem 23 kV pada jurnal IEEE PAS-102 No. 10, October 1983 (Grainger, 1983) sebagai masukan program komputer. Data sistem tersebut adalah sebagai berikut:

- Tengangan Antar Fasa : 23 kV
- Jumlah Gardu Distribusi : 9
- Biaya Kapasitas Daya (Kp) : \$ 200/kW/th
- Biaya Energi (Ke) : \$ 0.03/kWh
- Biaya kapasitor (Kc) : \$ 0.2145/kVAR/th

Panjang masing-masing segmen, resistansi segmen, dan besar kVAR pada ujung akhir tiap segmen penyulang dapat dilihat pada Tabel 1. Penyulang dioperasikan pada tingkat beban diskrit 0,45 p.u selama waktu satu tahun (8760 jam). Interval waktu untuk tiap-tiap tingkat beban didiskritkan seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Ukuran kapasitor standar untuk data tersebut adalah 150, 300, 450, 600, 900, dan 1200 kVAR (Sundhararajan, 1994, Karen, 1997, dan Grainger, 1981).

Tabel 1. Data panjang, resistansi, arus reaktif saluran Sistem 9 Bus 23 kV

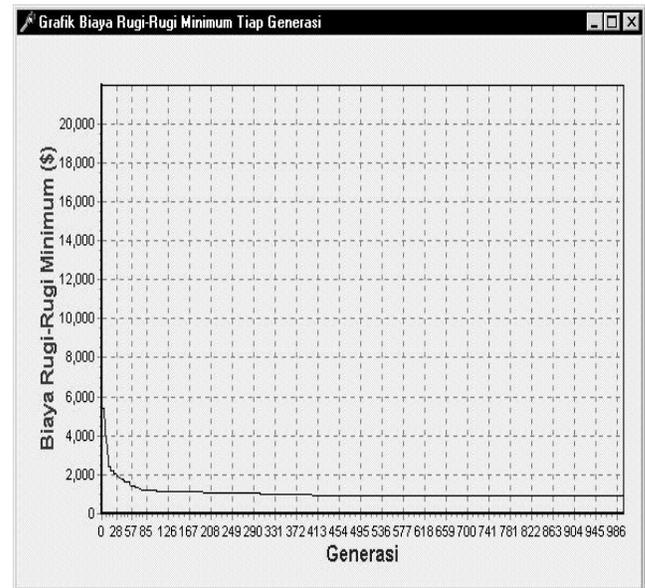
Nomor Segmen	Panjang (mil)	Resistansi (ohm/mil)	kVAR Beban pada Akhir Segmen
1	0,63	0,1957	460
2	0,88	0,2803	340
3	1,70	0,4390	446
4	0,81	0,8622	1840
5	2,30	0,8622	600
6	1,05	0,8622	110
7	1,50	1,3701	60
8	3,50	1,3701	130
9	3,90	1,3701	200

Tabel 2. Interval Waktu tiap Tingkat Beban Sistem 9 Bus 23 kV

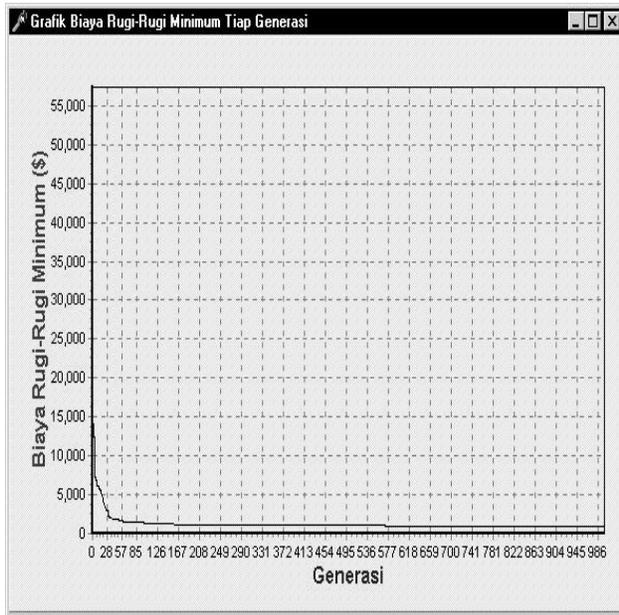
Tingkat Beban (p.u)	Waktu (jam)
0,92	820
0,79	539
0,66	831
0,34	6570

**2. Hasil Simulasi**

Pada studi kasus yang dibahas pada tulisan ini, diterapkan Algoritma Genetika dengan strategi seleksi elit. Grafik biaya rugi-rugi minimum tiap generasi dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Grafik biaya minimum tiap generasi, ukuran kapasitor kontinyu



Gambar 5. Grafik biaya minimum tiap generasi, ukuran kapasitor diskrit

Sedangkan hasil optimasinya dapat dilihat pada Tabel 3. Besar parameter genetika yang digunakan dalam percobaan ini adalah: Probabilitas Crossover ( $P_c$ ) = 0,7, Probabilitas Mutasi ( $P_m$ ) = 0,005, dan Ukuran Populasi ( $N$ ) = 100. Jumlah generasinya adalah 1000 generasi.

Penjelasan sekilas mengenai hasil optimasi tersebut adalah seperti gambar 3.

### 3. Ukuran Kapasitor Kontinyu

Seperti terlihat pada pada Gambar 4, pada sekitar generasi ke-413 Algoritma Genetika telah menemukan konfigurasi pemasangan kapasitor ukuran kontinyu yang memerlukan biaya terendah (minimum). Biaya rugi-rugi energi, biaya rugi-rugi daya puncak, dan biaya kapasitor terendah hasil optimasi dengan skenario ini adalah sebesar 899,43 dollar per tahun. Dengan demikian penghematan biaya maksimum yang dapat dicapai dengan konfigurasi ukuran kapasitor

Tabel 3. Hasil optimasi dengan Algoritma Genetika untuk berbagai skenario

No. Gardu	Ukuran Kapasitor Kontinyu				Ukuran Kapasitor Diskrit			
	$l = 0.92$	$l = 0.79$	$l = 0.66$	$l = 0.34$	$l = 0.92$	$l = 0.79$	$l = 0.66$	$l = 0.34$
1	59	66	82	57	300	300	300	150
2	79	45	50	15	300	300	300	0
3	849	559	409	225	600	600	300	300
4	1200	1126	1192	659	1200	1200	1200	600
5	685	577	275	105	600	450	450	150
6	103	51	43	102	300	150	0	0
7	154	126	63	42	0	0	0	0
8	73	62	58	78	150	150	150	150
9	226	166	181	16	150	150	150	0
Biaya rugi-rugi tanpa kapasitor	\$11.928,62				\$11.928,62			
Biaya Rugi-rugi Minimum	\$899,43				\$980,37			
Penghematan Biaya	\$11.029,19				\$10.948,25			

seperti pada Tabel 3 adalah 11.928,62 dollar dikurangi 899,43 dollar atau sebesar 11.029,19 dollar per tahun.

#### 4. Ukuran Kapasitor Diskrit

Terlihat pada Gambar 5, pada sekitar generasi ke-577 Algoritma Genetika telah menemukan konfigurasi pemasangan kapasitor ukuran diskrit yang memerlukan biaya terendah (minimum), yaitu 10.948,25 dollar per tahun (Tabel 3). Untuk mencapai penghematan biaya per tahun sebesar 10.948,25 dollar tersebut, pada lokasi gardu nomor 7 tidak memerlukan pemasangan kapasitor shunt. Di lokasi gardu nomor 8, memerlukan pemasangan sebuah kapasitor tetap (fixed capacitor) sebesar 150 kVAR. Sebuah kapasitor tersaklar (switched capacitor) ukuran 150 kVAR dipasang pada lokasi gardu nomor 9. Kapasitor tersaklar tersebut diaktifkan pada tingkat beban 0,66 ke atas.

Pada beberapa lokasi gardu dan tingkat beban lainnya dapat dipahami dengan cara serupa. Di lokasi gardu distribusi nomor 6, misalnya, dapat dipasang 2 buah kapasitor tersaklar masing-masing sebesar 150 kVAR. Pada tingkat beban di bawah 0,79 kedua kapasitor tersebut dinonaktifkan. Pada tingkat beban 0,79, cukup mengaktifkan salah satu kapasitor saja. Sedangkan pada tingkat beban 0,92, kedua kapasitor tersebut harus diaktifkan.

### ANALISA HASIL OPTIMASI

Unjuk kerja Algoritma Komputer secara internal yang diterapkan pada kasus optimasi penempatan kapasitor shunt sebagaimana studi kasus yang dipilih untuk tulisan ini dapat dilihat berdasar kemampuannya melakukan perhitungan optimasi untuk data yang detil, misalnya dengan ukuran kapasitor kontinyu (tidak diskrit). Sebagai bahan perbandingan, perlu dilihat perbedaan hasil perhitungan optimasi menggunakan Algoritma Genetika ini dengan hasil perhitungan menggunakan metode konvensional yang dilakukan secara deterministik.

#### 1. Pengaruh Diskritisasi Ukuran Kapasitor

Seperti dapat dilihat pada Tabel 3, proses diskritisasi ukuran kapasitor menghasilkan penghematan biaya maksimum yang lebih rendah dibandingkan tanpa diskritisasi (menggunakan ukuran kapasitor kontinyu). Penggunaan ukuran kapasitor diskrit mengakibatkan penurunan penghematan biaya sebesar 11.029,19 dollar dikurangi 10.948,25 dollar atau sama dengan 80,94 dollar per tahun.

Mudah dipahami, kenapa diskritisasi ukuran kapasitor menyebabkan penghematan biaya yang diperoleh menjadi lebih kecil. Sebab, dengan memberikan ruang penyelesaian (ukuran kapasitor) diskrit pada ukuran-ukuran tertentu maka nilai maksimum yang dapat dicapai jika ukurannya berada di luar ukuran-ukuran diskrit tersebut tidak pernah (kecil kemungkinannya) dicapai. Kemungkinan didapatnya penghematan biaya yang sama antara menggunakan kapasitor kontinyu dengan kapasitor diskrit yaitu apabila berdasarkan perhitungan dengan ukuran kapasitor kontinyu, ukuran kapasitor-kapasitor optimumnya sama persis dengan ukuran-ukuran kapasitor diskrit (standar) di lapangan. Kemungkinan terjadinya hal seperti ini sangat kecil.

#### 2. Perbedaan dengan Metode Optimasi Deterministik

Optimasi penempatan kapasitor shunt pada Sistem 23 kV yang dipakai sebagai data studi kasus pada tulisan ini telah dilakukan oleh J. J. Grainger dan kawan-kawan (1983). Grainger dkk. menghitung lokasi dan ukuran optimum kapasitor dengan terlebih dahulu membuat normalisasi arus reaktif penyulang nonuniform menjadi penyulang ekuivalen yang uniform. Lokasi dan ukuran kapasitor optimum ditentukan dengan menerapkan kriteria sama luas (equal area criterion) pada representasi grafik penyulang ekuivalen dengan arus reaktif yang dinormalisasi tersebut. Hasil akhir optimasi tersebut (jumlah kapasitor tiga buah) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 1 Lokasi dan ukuran kapasitor optimum, serta penghematan biaya optimum, hasil optimasi oleh Grainger dkk.

No.	Lokasi Kapasitor (mil)	Ukuran Kapasitor (kVAR)	Penghematan Biaya Tahunan (dollar)
1	4,02	1318	10.677,00
2	6,32	732	
3	16,27	294	

Optimasi dengan Algoritma Genetika menggunakan strategi seleksi elit, diperoleh hasil penghematan biaya maksimum sebesar 11.029,19 dollar per tahun jika ukuran kapasitornya kontinyu dan 10.948,25 dollar per tahun jika ukuran kapasitornya diskrit. Dengan demikian, Algoritma Genetika dapat menemukan konfigurasi pemasangan kapasitor yang menghasilkan penghematan biaya yang lebih besar. Jika dipakai kapasitor berukuran kontinyu, terdapat selisih atau perbedaan penghematan biaya sebesar 352,19 dollar per tahun, sedangkan jika dipakai kapasitor berukuran diskrit terdapat selisih penghematan biaya sebesar 271,25 dollar per tahun.

**PENUTUP**

**1. Kesimpulan**

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Algoritma Genetika yang telah diimplementasikan menggunakan program komputer dapat membantu menyelesaikan masalah optimasi penentuan ukuran, jumlah, lokasi, dan tipe kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial.
- b. Algoritma Genetika yang diterapkan secara mandiri pada proses optimasi penempatan kapasitor shunt dapat mencapai penyelesaian optimum global (*global optimum solution*).
- c. Algoritma Genetika mampu memberikan perhitungan optimasi dengan melakukan diskritisasi ukuran kapasitor (ukuran kapasitor yang akan

dipasang disesuaikan dengan ukuran kapasitor standar di lapangan) atau dengan ukuran kontinyu.

**2. Saran**

- a. Jika masalah optimasi cukup kompleks sehingga jumlah parameternya banyak, sebaiknya Algoritma Genetika tidak dioperasikan secara mandiri. Perhitungan awal untuk inialisasi data atau penggunaan metode lain untuk mengurangi jumlah parameter yang dicari, akan sangat membantu.
- b. Untuk menyelesaikan masalah penempatan kapasitor praktis pada penyulang distribusi primer radial, perlu diperhitungkan faktor-faktor lain agar sesuai dengan keperluan praktis. Misalnya, dengan memperhitungkan kapasitor yang sudah dipasang pada penyulang sehingga diperhitungkan perlu tidaknya mengganti atau memindah kapasitor yang telah terpasang.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Davis, L. (1991). Handbook of Genetic Algorithms. New York : Van Nostrand Reinhold.
2. Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc..
3. Grainger, J. J., S. Civanlar, and S. H. Lee. (1983). "Optimal Design and Control Scheme for Continuous Capacitive Compensation of Distribution Feeders", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, No. 10, October 1983, pp. 3271-3278.
4. Grainger, J.J. and S. H. Lee. (1981). "Optimum Size and Location of Shunt Capacitor for Reduction of Losses on Distribution Feeders", IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, vol. PAS-100, No. 3, March 1981, pp. 1105-1118.
5. He, J., Xin Y., and Jin L. (2005). A "Comparative Study of Three Evolutionary

- Algorithms Incorporating Different Amounts of Domain Knowledge for Node Covering Problem”. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 35, no. 2, May 2005. pp.266-271.
6. Karen Nan Miu, Hsiao-Dong Chiang, and G. Darling. (1997). “Capacitor Placement, Replacement and Control in Large-Scale Distribution Systems by a GA-Based Two Stage Algorithm”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997, pp. 1160-1166.
  7. Kusumadewi, S. dan Hari P. (2005). *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
  8. Runarsson, T. P. (2005). Search Biased in Constrained Evolutionary Optimization. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 35, no. 2, May 2005. pp. 233-243.
  9. Sastry, K. et.al. (2004). Genetic Programming for Multiscale Modeling. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign.
  10. Sundhararajan, S. and A. Pahwa. (1994). “Optimum Selection of Capacitors for Radial Distribution Systems Using A Genetic Algorithm”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 3, August 1994, pp. 1499-1507.
  11. Turkcan, A. and M. Selim A. (2003). “A Problem Space Genetic Algorithm in Multiobjective Optimization”. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14, pp. 363-378, 2003. Kluwer Academic Publishers.