

OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR SHUNT UNTUK PERBAIKAN DAYA REAKTIF PADA PENYULANG DISTRIBUSI PRIMER RADIAL DENGAN ALGORITMA GENETIK

Eko Wijanarko (L2F 002 576)
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstrak

Penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk ke konsumen melalui saluran distribusi mengalami jatuh tegangan dan rugi-rugi daya sehingga daya yang diterima konsumen lebih kecil daripada daya yang dikirimkan. Dalam perusahaan tenaga listrik berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil jatuh tegangan dan rugi-rugi daya tersebut salah satunya dengan pemasangan kapasitor shunt pada saluran distribusi tenaga listrik.

Masalah penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi primer meliputi penentuan lokasi dan ukuran kapasitor yang akan dipasang pada penyulang secara optimum dengan jumlah kapasitor yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk memperoleh nilai optimum parameter-parameter tersebut dapat dikerjakan melalui proses optimasi dengan Algoritma Genetik. Pemasangan Kapasitor berguna sebagai kompensator daya reaktif pada beban, sehingga memperbaiki faktor daya, mengurangi jatuh tegangan sistem, mengurangi rugi-rugi daya, dan memperbesar kapasitas penyaluran daya.

Percobaan dan simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa algoritma Genetika dapat menemukan penyelesaian optimum. Pemasangan tiga buah kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial sistem 11 kV pada tugas akhir ini memberikan hasil yang paling optimum. Setelah pemasangan kapasitor tersebut tegangan pada penyulang naik 1,91 %, faktor daya naik 12,94 %, dan Kapasitas penyaluran daya bertambah 11,80%.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam penyaluran energi listrik ada beberapa masalah yang dihadapi antara lain jatuh tegangan, faktor daya yang rendah dan rugi-rugi daya. Beban pada jaringan distribusi bisa berupa beban kapasitif maupun induktif, namun pada umumnya merupakan beban induktif. Apabila beban reaktif induktif semakin tinggi maka akan berakibat memperbesar jatuh tegangan, memperbesar rugi-rugi daya, menurunkan faktor daya dan menurunkan kapasitas penyaluran daya. Untuk mengurangi beban daya reaktif induktif diperlukan sumber daya reaktif kapasitif, salah satu diantaranya adalah dengan kapasitor yang dipasang secara paralel pada penghantar penyulang distribusi primer radial. Pemasangan kapasitor shunt tersebut menyebabkan arus yang mengalir pada penghantar menjadi lebih kecil, sehingga akan mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada penyulang.

Keuntungan yang dapat diperoleh dari pemasangan kapasitor antara lain :

- Perbaikan faktor daya.
- Penambahan kapasitas penyaluran daya.
- Pengurangan rugi-rugi daya.
- Penurunan jatuh tegangan.

1.2. Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir dirumuskan sebagai berikut:

- Mengamati unjuk kerja Algoritma Genetika dengan Software Matlab 7.1 dan implementasinya dalam mencari ukuran dan lokasi pemasangan kapasitor pada penyulang distribusi primer radial yang optimal.
- Menghitung aliran daya pada penyulang sebelum dan sesudah dipasang kapasitor dengan metode konvensional.
- Menghitung perubahan besar kapasitas penyaluran daya, jatuh tegangan, rugi-rugi daya, dan $\cos \theta$ pada penyulang sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor dengan metode konvensional.

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak melebar maka dibatasi pada:

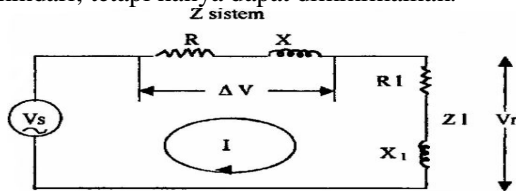
- Sistem tenaga listrik yang dipakai adalah jaringan distribusi primer berstruktur radial tanpa cabang dan hanya komponen arus reaktif saja yang dipakai dalam perhitungan rugi-rugi.
- Fungsi objektif yang dicari adalah nilai maksimal selisih antara penghematan biaya rugi-rugi daya puncak dan biaya rugi-rugi

energi dengan biaya modal dan pemeliharaan kapasitor dengan mencari ukuran dan lokasi pemasangan kapasitor yang optimal.

3. Data primer yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data pada penyulang distribusi primer radial sistem 11 kV fasa ke fasa.
4. Operator genetika yang dipakai adalah Operator genetika dasar, yaitu reproduksi, pindah silang (*crossover*) dan mutasi.
5. Software yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah Matlab 7.1.

II. RUGI-RUGI JARINGAN

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan di mulai dari penyulang sampai sepanjang saluran jaringan tegangan menengah. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau dialirkan dari Gardu Induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.



Gambar 1. Diagram saluran distribusi tenaga listrik

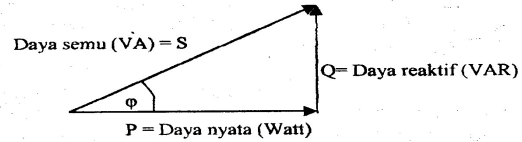
Dalam sistem perusahaan tenaga listrik, berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut dilakukan karena selain merugikan perusahaan, juga merugikan pihak pelanggan sebagai pengguna jasa listrik yang selalu menuntut jasa layanan dengan kualitas yang baik. Beberapa langkah upaya mengurangi jatuh tegangan yang harus dilakukan untuk memperkecil jatuh tegangan dan rugi daya adalah :

- a. Membangun pembangkit pembantu
- b. Membangun gardu induk baru dan jaringan baru
- c. Merubah jaringan 1Ø menjadi 3Ø
- d. Pemandahan beban ke penyulang lain
- e. Penyeimbangan beban
- f. Pengaturan tegangan penyulang menggunakan alat pengatur tegangan.
- g. Memperbesar penampang hantaran
- h. Pemasangan kapasitor

III. PEMASANGAN KAPASITOR

Pada gambar segitiga daya seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, terlihat bahwa daya reaktif sangat

berpengaruh terhadap faktor daya. Untuk daya reaktif yang berlebihan, maka faktor daya akan rendah sehingga mempengaruhi jatuh tegangan. Oleh sebab itu diperlukan suatu sumber daya reaktif yang dapat membangkitkan daya reaktif atau dapat pula menyerap kelebihan daya reaktif yang diluar batas.



Gambar 2. Segitiga daya

1. Memasang kapasitor seri pada jaringan

Pada dasarnya pemakaian kapasitor seri untuk memperbaiki tegangan pada jaringan tenaga listrik adalah berusaha mengurangi susut tegangan dengan cara mengkompensir komponen induktif yang terjadi pada jaringan tersebut. Susut tegangan akibat impedansi jaringan dapat dinyatakan sebagai :

$$V_d = I (R_L \cos \phi + X_L \sin \phi) \dots\dots\dots 3.1$$

Dengan dipasang kapasitor seri, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

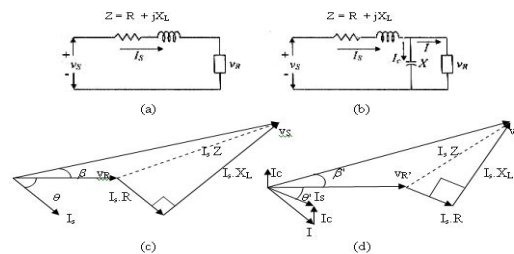
$$V_d = I R_L \cos \phi + I (X_L - X_C) \sin \phi \dots\dots 3.2$$

Bila $(X_L - X_C) = 0$, maka besarnya susut tegangan hanya akan dipengaruhi tahanan saluran saja, sehingga nilainya akan lebih kecil daripada tanpa dipasang kapasitor.

2. Memasang kapasitor shunt pada jaringan

Dengan dipasang kapasitor paralel, dengan I_c adalah arus kapasitor, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$V_d = I R_L \cos \phi + I \sin \phi X_L - I_c X_L \dots\dots\dots 3.3$$

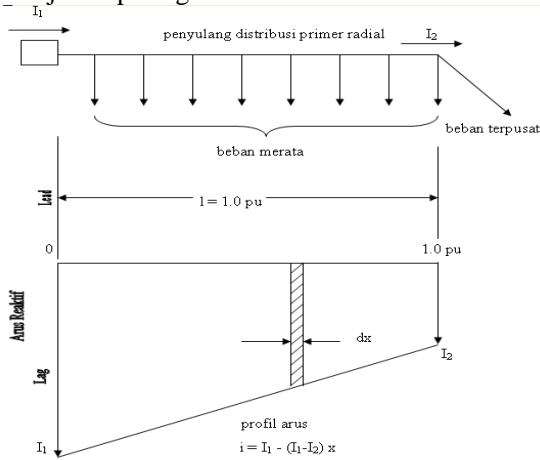


Gambar 3. Diagram phasor tegangan a) dan c) tanpa kapasitor, b) dan d) dengan kapasitor

IV. MODEL BEBAN

Aplikasi pemasangan kapasitor shunt pada penyulang distribusi untuk mengurangi rugi-rugi telah banyak diteliti pada berbagai makalah IEEE, salah satunya adalah Nelson E. Chang^[7], Chang merepresentasikan penyulang yang terdiri dari segmen saluran (*line segment*), dengan kombinasi

antara beban terdistribusi merata (*uniformly distributed loads*) dengan beban terpusat (*concentrated or lumped-sum load*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Penyulang distribusi primer dengan beban terpusat dan beban terdistribusi merata, serta profil arus reaktif sebelum dipasang kapasitor.

V. METODA OPTIMASI UNTUK MENENTUKAN UKURAN DAN LOKASI PEMASANGAN KAPASITOR SHUNT PADA PENYULANG DISTRIBUSI PRIMER RADIAL

5.1 Resistansi Ekuivalen pada Penyulang Uniform.

Beban *non-uniform* pada penyulang dapat ditransformasikan menjadi penyulang ekuivalen *uniform* dengan menggunakan teknik resistansi ekuivalen. Prinsip dari ekuivalensi ini adalah bahwa beban yang *non-uniform* dan ukuran kabel yang tidak sama harus menghasilkan rugi-rugi daya puncak yang sama seperti penyulang yang mempunyai beban *uniform* dan ukuran kabel yang sama pula. [6]

$$\sum_{j=1}^{ns} i_j^2 R_j = \frac{1}{3} I^2 R_{eq} \dots\dots\dots 5.1$$

dimana $\sum_{j=1}^{ns} i_j^2 R_j$ adalah rugi daya puncak pada

penyulang *non-uniform*, $\frac{1}{3} I^2 R_{eq}$ adalah rugi-rugi daya puncak pada penyulang ekuivalen *uniform* melalui resistansi ekuivalen (R_{eq}), R_{eq} adalah resistansi ekuivalen dari penyulang yang mempunyai beban yang terdistribusi secara seragam. i_j adalah total arus reaktif pada segmen j dari penyulang *non-uniform*, R_j adalah resistansi

pada bagian j pada dari penyulang *non-uniform*, ns adalah jumlah segmen (bagian) dari penyulang *non-uniform* dan I adalah total arus reaktif pada penyulang *non-uniform*. Konsep penggunaan R_{eq} adalah memperkenalkan analisis baru untuk diterapkan pada penyulang di lapangan yang mempunyai distribusi beban besar *non-uniform*.

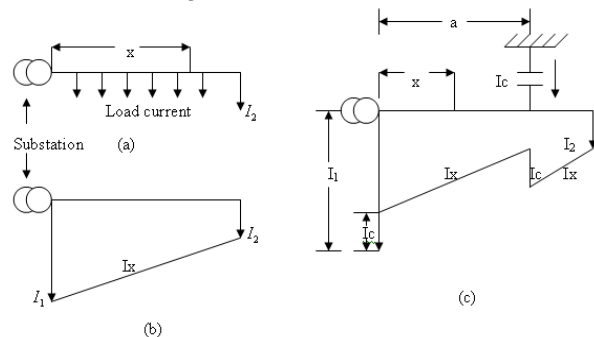
5.2 Pengurangan Rugi-rugi Daya Puncak

Pada tugas akhir ini beban berarti beban reaktif. Pada gambar 5 menunjukkan penyulang beban uniform dengan arus puncak I_1 dan arus beban akhir I_2 . Menggunakan sistem per unit (pu), $I_1 = 1.0$, $R = 1.0$, dan I_2 adalah fraksi dari I_1 , maka rugi-rugi daya puncak per fase L_{ph} untuk penyulang adalah

$$L_{ph} = \int_0^l [I_1 - (I_1 - I_2)x]^2 R dx \text{ watt} \dots 5.2$$

Untuk $R=1$ dan $I_1 = 1$,

$$L_{ph} = \frac{1}{3} [1 + I_2 + I_2^2], \text{ pu} \dots\dots\dots 5.3$$



Gambar 5.

- Penyulang dengan beban terdistribusi merata (*uniform*) dan punya beban akhir
- Total arus pada penyulang sebagai fungsi jarak (x) dari GI, $I_x = I_1 - (I_1 - I_2)x$.
- Arus pada penyulang dengan arus kapasitor shunt I_c . Kapasitor Shunt diaplikasikan ke penyulang dengan beban terdistribusi merata dan adanya beban akhir.

x (pu) adalah jarak diukur dari gardu induk (GI) ke lokasi yang ditentukan. Untuk sistem 3 fasa, rugi-rugi daya puncaknya $L_c = 3 L_{ph}$. Gambar 5. menunjukkan kapasitor bank ditempatkan pada jarak a (dalam pu terhadap panjang penyulang) dari GI dengan rating I_c (pu). Rugi-rugi daya puncak untuk sistem penyulang 3 fasa adalah L_c .

$$L_c = \left[(1 + I_2 + I_2^2) + 3aI_c(-2 + a(1 - I_2) + I_c) \right] \dots 5.4$$

Pengurangan rugi daya puncak untuk sistem 3 fasa dapat dicari dengan mengalikan persamaan 5.3 dengan 3 dan kurangi persamaan tersebut dengan persamaan 5.4.

$$\Delta L = 3aI_c [2 - a(1 - I_2) - I_c], \text{ pu} \dots\dots\dots 5.5.$$

Pengurangan rugi daya puncak untuk sejumlah n kapasitor dipasang pada penyulang dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta L = 3 \sum_{m=1}^n a_m I_{cm} [2 - a_m(1 - I_2) - (2m-1)I_c], \text{ pu} \dots\dots\dots 5.6$$

5.3 Pengurangan Rugi-rugi Energi untuk Penyulang Uniform dengan Beban Akhir.

Pengurangan Rugi-rugi energi pada penyulang karena pemasangan kapasitor dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta E = 3 \sum_{m=1}^n a_m I_{cm} [2F_{ld} - a_m F_{ld}(1 - I_2) - (2m-1)I_c] \cdot T, \text{ pu} \cdot 5.7$$

dengan F_{ld} adalah faktor beban reaktif penyulang dan T adalah waktu total kapasitor dihubungkan (dalam jam).

5.4 Keuntungan Ekonomis Pemasangan Kapasitor

Pengurangan baik rugi daya puncak maupun rugi energi berpengaruh pada pengurangan biaya operasional penyulang sistem tenaga listrik. Penghematan diperoleh melalui selisih antara gabungan pengurangan biaya rugi energi dan biaya rugi daya dengan biaya modal dan pemeliharaan dari pemasangan kapasitor.

Fungsi biaya untuk proses optimasi ini dapat dirumuskan dalam bentuk sebagai berikut

$$S = C_1 \Delta L + C_2 \Delta E - \sum_{m=1}^n C_c I_{cm} \dots\dots\dots 5.8$$

dimana C_1 adalah biaya tahunan per unit pengurangan rugi daya puncak (dalam \$/kW/tahun), C_2 adalah biaya tahunan per unit pengurangan rugi energi (dalam \$/kWh/tahun), C_c adalah biaya tahunan kapasitor terpasang (dalam \$/kVar/tahun), ΔL adalah pengurangan rugi daya puncak (dari persamaan 5.6), ΔE adalah pengurangan rugi energi (dari persamaan 5.7) dan S adalah penghematan (dalam \$/tahun).

Pada tugas akhir ini lokasi optimal, ukuran dan jumlah kapasitor bank dicari untuk memaksimalkan persamaan 5.8 yaitu selisih antara pengurangan biaya rugi daya puncak dan rugi energi dengan biaya modal dan pemeliharaan kapasitor dengan menggunakan Algoritma Genetik yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

VI. IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIK UNTUK OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR SHUNT.

Algoritma Genetik adalah suatu metoda optimasi yang melakukan pencarian terhadap suatu nilai tertentu dari beberapa parameter tertentu dengan meniru mekanisme evolusi alam.

Algoritma Genetik itu sendiri adalah suatu algoritma pencarian yang didasari oleh 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 sebuah populasi individu yang merupakan kandidat-kandidat solusi. Dalam satu siklus iterasi (yang disebut generasi) terdapat dua tahap, yaitu tahap seleksi dan tahap rekombinasi. Tahap seleksi dilakukan dengan mengevaluasi kualitas setiap individu dalam populasi untuk mendapatkan peringkat kandidat solusi. Berdasarkan hasil evaluasi, selanjutnya dipilih individu-individu yang akan mengalami rekombinasi. Tahap rekombinasi meliputi proses genetika untuk mendapatkan populasi baru dari kandidat-kandidat solusi. Anggota populasi yang baru diperoleh dengan menerapkan operator genetika (reproduksi, pindah silang dan mutasi) pada individu-individu yang terpilih dalam tahap seleksi.

Pada bagian berikut akan dijelaskan bagaimana mengimplementasikan Algoritma Genetik standar untuk mencari nilai maksimal dari fungsi penghematan baya rugi daya dan rugi energi pertahun dengan mengoptimasi penempatan kapasitor shunt dan ukurannya pada penyulang distribusi primer radial.

6.1 Inisialisasi Populasi

Tujuan dari fungsi ini adalah membangkitkan sebuah populasi yang berisi sejumlah kromosom. Setiap kromosom terdiri dari sejumlah gen. Masukan untuk fungsi ini adalah jumlah kromosom dan jumlah gen.

Struktur individu yang menyatakan ukuran dan lokasi kapasitor untuk setiap generasi direpresentasikan dalam sebuah struktur multiparameter dengan parameter sejumlah $x(n)$. n adalah jumlah kapasitor yang akan dipasang pada saluran distribusi primer radial.

Kromosom x merupakan representasi dari variabel x yang berbentuk string biner, sedangkan panjang setiap kromosom tergantung pada presisi yang diinginkan (misalkan ketepatan n dibelakang koma). Secara umum misal selang yang diijinkan

untuk variabel x adalah [Ra Rb], dengan presisi n, Ra adalah batas maksimal nilai variabel yang dicari, Rb adalah batas bawahnya maka panjang kromosom L dapat dirumuskan sebagai:

$$L = \lceil \log_2 [(Ra-Rb)10^n + 1] \rceil \dots\dots\dots 6.1$$

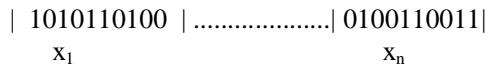
Dengan demikian Inisialisasi populasi menghasilkan sebuah matriks dua dimensi berukuran, UkPop x JumGen, yang bernilai biner (0 dan 1).

6.2 Dekodekan Kromosom

Fungsi ini bertujuan ntuk mendekodekan sebuah kromosom yang berisi bilangan biner menjadi individu x yang bernilai real dalam interval yang diinginkan. Prosedur pendekodean untuk *binary encoding* adalah:

$$x = r_b + (r_a - r_b)(g_1x2^{-1} + g_2x2^{-2} + \dots + g_nx2^{-n}) \dots\dots\dots 6.2$$

Misalkan ukuran dan lokasi kapasitor diperoleh lebar bitnya sebanyak 10 bit, maka sebuah individu dalam populasi dapat digambarkan seperti gambar 6.



Gambar 6. Representasi string ukuran kapasitor

Pada fungsi ini istilah kromosom mengacu pada vektor baris yang berisi bilangan biner , sedangkan individu mengacu pada variabel x yang berisi bilangan real.

6.3 Evaluasi Individu

Setiap masalah yang akan diselesaikan dengan Algoritma Genetik memerlukan pendefinisian fungsi fitness yang berbeda. Fungsi fitness inilah yang nantinya akan mengevaluasi individu-individu dalam populasi. Individu yang mempunyai nilai fitness yang besar berarti memiliki kinerja yang baik.

Fungsi fitness dalam tugas akhir ini adalah fungsi Objektif Maksimasi biaya Penghematan yang diperoleh melalui selisih antara gabungan pengurangan biaya rugi energi dan biaya rugi daya dengan biaya tambahan yang diperoleh melalui biaya modal dan pemeliharaan dari pemasangan kapasitor. Pengurangan baik rugi daya puncak maupun rugi energi berpengaruh pada pengurangan biaya operasional Penyulang sistem distribusi tenaga listrik.

$$S = C_1\Delta L + C_2\Delta E - \sum_{m=1}^n C_c I_{cm} \dots\dots\dots 6.3$$

Untuk menjaga agar individu bernilai fitness tertinggi tidak hilang selama evolusi, maka

perlu dilakukan prosedur elitisme, dengan cara membuat satu atau dua kopi dari individu bernilai fitness tertinggi.

6.4 Linear Fitness Ranking

Untuk menghindari kecenderungan konvergen pada optimum lokal, maka dilakukan penskalaan nilai fitness. Dengan demikian diperoleh nilai fitness yang berada dalam interval [f_{min}, f_{max}]

$$f(i) = f_{max} - (f_{max} - f_{min}) \left(\frac{R(i) - 1}{N - 1} \right) \dots\dots\dots 6.4.$$

6.5 Roulette Wheel

Keluaran dari fungsi ini adalah Pindeks, yaitu indeks dari individu yang terpilih sebagai orang tua yang akan diproses melalui operator genetika untuk menghasilkan generasi baru.

Piringan rolet dibagi menjadi slot-slot dengan jumlah yang sama dengan ukuran populasi. Tiap individu memiliki slot dengan ukuran tertentu sebanding dengan fitnessnya. Pemilihan individu untuk bereproduksi dilakukan dengan memutar piringan rolet tersebut sebanyak n kali, dimana n adalah ukuran populasi.

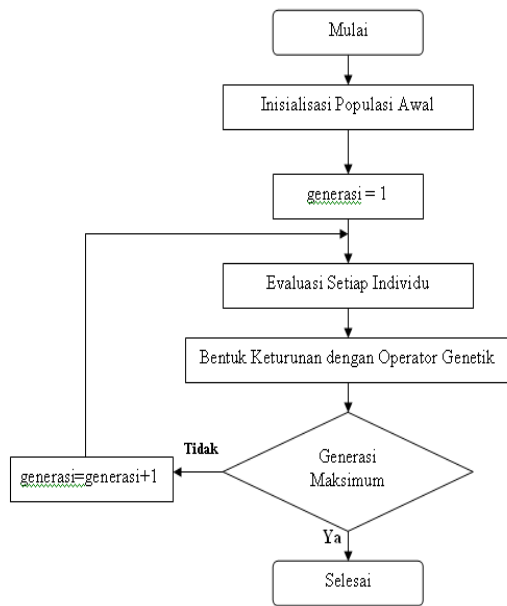
6.6 Pindah Silang

Pindah silang bertujuan untuk menambah keanekaragaman individu dalam populasi dengan “mengawinkan” individu-individu pada populasi(ii) sehingga menghasilkan keturunan berupa individu-individu baru untuk ditempatkan pada populasi(ii+1). Individu baru akan memiliki bagian dari struktur kedua orang tuanya.

6.7 Mutasi

Keanekaragaman individu telah diperoleh dengan reproduksi dan pindah silang. Dengan kedua operator tersebut dapat terjadi penghapusan materi dalam struktur tertentu dan tidak ada cara untuk memperoleh kembali materi yang hilang. Melalui mutasi, individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih nilai gen pada individu yang sama.

Secara garis besar, siklus eksekusi Algoritma genetika di atas dapat diringkas dalam bentuk diagram alir sebagai berikut :



Gambar 7. Siklus Eksekusi Algoritma Genetika

VII. HASIL SIMULASI DAN ANALISA.

7.1 Data Masukan

Untuk melihat unjuk kerja Algoritma Genetik pada proses optimasi penempatan kapasitor shunt ini, telah dipilih data sistem 11 kV, *IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-104, No. 10, October 1985* sebagai masukan program komputer untuk studi kasus. Data sistem tersebut adalah penyulang (*feeder*) di suatu daerah bagian selatan Mesir, penyulang ini dipilih karena tersedianya parameter penyulang. Detail dari penyulang dan karakteristik beban adalah sebagai berikut:

Maksimum kVA Input	: 1910 kVA
Faktor Daya	: 0,85
Faktor Beban Reaktif (F_{Ld})	: 0,56
Biaya Tahunan Rugi Daya (C_1)	: 50,00 \$/kW
Biaya Tahunan Rugi Energi (C_2)	: 0,04 \$/kWh
Biaya Tahunan kapasitor (C_{cp})	: 0,728 \$/kVar
Tegangan Antar Fasa	: 11 kV
Tegangan Fasa Netral	: 6,35 kV
Total Panjang Saluran	: 5,15 km
Total Resistansi Saluran	: 2,1962 ohm/fasa
Total Induktansi Saluran	: 0,4789 ohm/fasa

Single Line Diagram dari penyulang primer radial tiga fasa yang digunakan sebagai studi kasus pada tugas akhir ini ditunjukkan pada gambar 8 dibawah ini :

kVA	kW	$R + jX (\Omega)$	$\frac{Luas\ Penampang(mm^2)}{Panjang\ Saluran(km)}$	$\frac{Beban\ Max, kVA}{Kapasitas, kVA}$ (sumber)
1910	1623,5	0,168 + j0,0479	$\frac{120mm^2}{0,6 km}$	$\frac{180}{250}$
1730	1470,5	0,16845+j0,0449	$\frac{95}{0,55}$	$\frac{180}{250}$
1550	1317,5	0,18645+j0,0449	$\frac{95}{0,55}$	$\frac{180}{250}$
1370	1164,5	0,2425 + j0,0425	$\frac{70}{0,5}$	$\frac{180}{250}$
1190	1011,5	0,2425 + j0,0425	$\frac{70}{0,5}$	$\frac{180}{250}$
1010	858,5	0,291 + j0,051	$\frac{70}{0,6}$	$\frac{180}{250}$
830	705,5	0,194 + j0,034	$\frac{70}{0,4}$	$\frac{180}{250}$
650	552,5	0,291 + j0,051	$\frac{70}{0,6}$	$\frac{180}{250}$
470	399,5	0,194 + j0,034	$\frac{70}{0,4}$	$\frac{180}{250}$
290	246,5	0,1213 + j0,02125	$\frac{70}{0,25}$	$\frac{180}{250}$
110	91,3	0,097 + j0,017	$\frac{70}{0,2}$	$\frac{110}{250}$

Gambar 8. Single line diagram penyulang 11 kV fasa ke fasa.

Data penyulang sistem distribusi di atas dan data parameter genetika yang digunakan pada program simulasi komputer ini tampak pada gambar 9. Beberapa data mengenai karakteristik dan beban pada segmen penyulang dan data kapasitor tidak secara langsung tampak pada form data.

7.2 Hasil Simulasi

Simulasi dilakukan berdasarkan empat skenario yaitu dengan memasang kapasitor standar dengan ukuran sama dan berbeda serta kapasitor kontinu dengan ukuran sama dan berbeda.

Gambar 9. Data masukan yang tampak pada tampilan form masukan data.

7.2.1. Kapasitor Kontinyu, dengan Ukuran Sama
Tabel 7.1 Hasil Optimasi Kapasitor Kontinyu, dengan ukuran sama

Jumlah Kapasitor	Ukuran (kVar)	Lokasi I (km)	Lokasi II (km)	Lokasi III (km)	Lokasi IV (km)	Penghematan Biaya (\$/th)
1	332,25	4,0159	-	-	-	655,84
2	187,53	4,5059	2,999	-	-	689,57
3	125,15	4,9306	3,8625	2,7199	-	698,23
4	95,21	5,0695	4,2218	3,3794	2,5401	701,12

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa semakin banyak jumlah kapasitor yang dipasang maka penghematan biaya akan semakin besar.

7.2.2. Kapasitor Kontinyu, dengan Ukuran Berbeda

Tabel 7.2 Hasil Optimasi Kapasitor Kontinyu, dengan ukuran berbeda

Jumlah kapasitor	Ukuran (kVar)				Lokasi (km)				Penghematan Biaya (\$/th)
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1	332,25	-	-	-	4,0159	-	-	-	655,84
2	332,25	110,78	-	-	4,0159	4,0156	-	-	874,45
3	332,25	110,50	66,38	-	4,0153	4,0244	4,0275	-	1005,62
4	331,51	112,61	67,75	46,78	4,0219	3,8622	3,9929	4,0225	1098,88

Dari tabel diatas dapat diamati bahwa semakin banyak jumlah kapasitor yang dipasang maka penghematan biaya akan semakin besar.

7.2.3. Kapasitor Standar, dengan Ukuran Sama

Tabel 7.3 Hasil Optimasi Kapasitor Standar, dengan ukuran sama

Jumlah Kapasitor	Ukuran (kVar)	Lokasi I (km)	Lokasi II (km)	Lokasi III (km)	Lokasi IV (km)	Penghematan Biaya (\$/th)
1	300	4,1583	-	-	-	650,69
2	150	4,8209	3,4960	-	-	672,74
3	150	4,8281	3,4950	2,1711	-	682,56
4	150	4,8281	3,4960	2,1711	0,8462	590,79

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan pemasangan 3 kapasitor didapat hasil yang paling optimal, dengan pemasangan 4 buah kapasitor hasil penghematan menjadi tidak optimal, hal ini disebabkan ukuran kapasitor standar terkecil yang bisa digunakan adalah 0,1000 pu (150 kVar), dengan memasang 1 kapasitor tambahan dengan ukuran 150 kVar , maka modal dan biaya pemeliharaan kapasitor menjadi semakin besar sehingga akan mengurangi penghematan. Hasil ini berbeda dengan kapasitor kontinyu, ukuran sama, dengan menggunakan 4 kapasitor dihasilkan penghematan biaya yang paling maksimal karena menggunakan kapasitor dengan ukuran 0,0635 pu (95,21 kVar), maka modal dan biaya pemeliharaan kapasitor tentunya lebih kecil daripada yang berukuran 150 kVar, namun dengan ukuran kapasitor tersebut maka hasil optimasi tidak dapat diterapkan di lapangan karena tidak tersedia kapasitor dengan ukuran 95,21 kVar di pasaran.

7.2.4. Kapasitor Standar, dengan Ukuran Berbeda

Tabel 7.4 Hasil Optimasi Kapasitor Standar, dengan ukuran berbeda

Jumlah kapasitor	Ukuran (kVar)				Lokasi (km)				Penghematan Biaya (\$/th)
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1	300	-	-	-	4,1583	-	-	-	650,69
2	300	150	-	-	4,1583	3,4960	-	-	848,62
3	300	150	150	-	4,1583	3,4960	2,1711	-	857,88
4	300	150	150	150	4,1583	3,4966	2,1727	0,8459	766,67

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan pemasangan 3 kapasitor didapat hasil yang paling optimal, namun dengan pemasangan 4 buah kapasitor hasil penghematan menjadi tidak optimal, hal ini disebabkan ukuran kapasitor standar terkecil yang bisa digunakan adalah 0,1000 pu (150 kVar), dengan memasang kapasitor satu tambahan dengan ukuran 150 kVar lagi, maka modal dan biaya pemeliharaan kapasitor menjadi besar sehingga akan mengurangi penghematan. Hasil ini berbeda dengan kapasitor kontinyu, ukuran berbeda, dengan menggunakan 4 kapasitor dihasilkan penghematan biaya yang paling maksimal karena menggunakan kapasitor dengan ukuran 0,2210 pu (331,51 kVar), 0,0751 (112,61 kVar), 0,0452 pu (67,75 kVar), dan 0,0312 pu (46,78 kVar) maka modal dan biaya pemeliharaan kapasitor ke-2 sampai ke-4 tentunya lebih kecil daripada yang berukuran 150 kVar, namun dengan ukuran kapasitor tersebut maka hasil optimasi tidak dapat diterapkan di lapangan karena tidak tersedia kapasitor dengan ukuran 331,51 kVar , 112,61 kVar, 67,75 kVar dan 46,78 kVar di pasaran.

7.3 Analisa Unjuk Kerja Algoritma Genetik

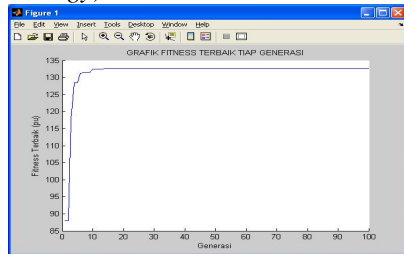
Pada skenario 3 kapasitor standar dengan ukuran berbeda, parameter yang dikodekan adalah 3 ukuran kapasitor dan 3 lokasinya jadi terdapat 6 parameter yang dicari.

Sebelum menjalankan rutin-rutin Algoritma Genetik, harus ditentukan terlebih dahulu besarnya parameter-parameter genetika yang mengontrol proses-proses Algoritma Genetik. Inisialisasi awal berkaitan dengan parameter genetika ini adalah data mengenai probabilitas mutasi, probabilitas pindah silang, ukuran populasi dan jumlah generasi. Hasil simulasi yang akan dipaparkan pada subbab ini adalah untuk data-data parameter genetika seperti tampak pada gambar 9, yaitu sebagai berikut :

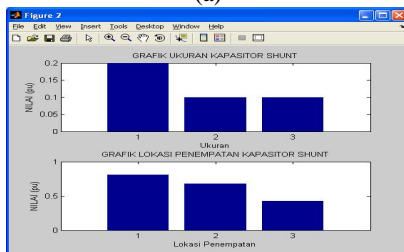
- Probabilitas Pindah Silang (Psilang) : 0,8
- Probabilitas Mutasi (Pmutasi) : 0,01
- Ukuran Populasi (UkPop) : 200
- Jumlah Generasi (MaxG) : 100

Nilai parameter tersebut sangat bergantung pada masalah yang akan dicari penyelesaiannya.

Parameter diatas didapat berdasarkan teknik *trial-end-error* dengan melakukan beberapa kombinasi dari ketiga parameter tersebut serta dengan melihat dari berbagai macam referensi. Proses optimasi menggunakan Algoritma genetik pada tugas akhir ini hanya dilakukan dengan metode Seleksi Elit (*Elitist Strategy*).



(a)



(b) & (c)

Gambar 4.7.

- (a) Grafik Nilai Fitness Terbaik tiap generasi (dalam pu).
- (b) Grafik Ukuran Kapasitor Optimal (dalam pu)
- (c) Grafik lokasi penempatan Kapasitor Optimal (dalam pu) untuk Kapasitor Ukuran Standar dan berbeda.

Grafik 4.7 (a) sumbu y menunjukkan nilai fitness terbaik tiap generasi dan sumbu x menunjukkan jumlah generasi. Nilai Fitness semakin besar pada tiap generasi dan mulai konvergen pada generasi ke-20 yaitu dengan nilai fitness sebesar 132,6812 pu (857,88 \$/tahun). Gambar 4.7 (b) sumbu y menunjukkan ukuran kapasitor masing-masing 0,2 pu (300 kVar), 0,1 pu (150 kVar), dan 0,1 pu (150 kVar), sumbu x menunjukkan urutan kapasitor. Gambar 4.7 (c) sumbu y menunjukkan lokasi penempatan kapasitor masing-masing 0,8074 pu (4,1583 km), 0,6788 pu (3,4960 km) , 0,4216 pu (2,1711 km), sumbu x menunjukkan urutan kapasitor.

Untuk ukuran kapasitor standar yang terbesar adalah 1 pu (1500 kVar), maka berdasarkan persamaan 6.1, dengan $R_a = 1$ pu dan $R_b = 0$ pu didapatkan masing-masing parameter dikodekan dalam 14 bit biner, dengan demikian 1 individu memiliki kromosom yang panjangnya $14 \times 6 = 84$ bit.

Algoritma Genetik pada Tugas Akhir ini bertujuan untuk mencari nilai fitness yang paling besar (maksimasi), dengan menggunakan metode

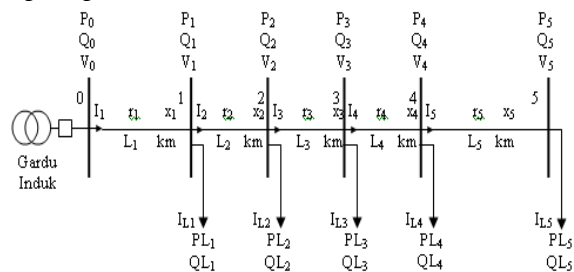
seleksi elit. Untuk menjaga individu bernilai fitness tertinggi tidak hilang selama evolusi, maka diterapkan prosedur elitisme dengan cara membuat satu atau dua kopi dari individu bernilai fitness tertinggi, sehingga kualitas individu dari generasi ke generasi selanjutnya semakin baik, artinya semakin banyak individu memiliki nilai fitness yang tinggi, maka akan dapat dicapai hasil yang konvergen yang paling besar nilai fitnessnya (optimal).

Dengan jumlah bit individu yang cukup panjang, maka dibutuhkan waktu yang agak lama untuk mencapai nilai optimal. Berdasarkan hasil simulasi, rata-rata proses optimasi mencapai nilai yang paling optimal pada generasi ke-40, sehingga semua proses optimasi dilakukan hanya sampai generasi ke-100 saja.

7.4 Perhitungan Aliran Daya

Jatuh tegangan pada jaringan distribusi (penyulang) adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Sedangkan rugi daya pada jaringan distribusi (penyulang) adalah selisih antara daya pada pangkal pengiriman dan daya pada ujung penerimaan tenaga listrik.

Pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Penyulang radial dengan beberapa sub pusat beban dapat digambarkan secara diagram satu garis seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram segaris aliran daya

dimana :

- V_0 = Tegangan pada gardu induk
- P_0 = Daya aktif yang dikirim dari gardu induk
- Q_0 = Daya reaktif yang dikirim dari gardu induk
- P_i = Daya aktif yang dikirim dari bus ke i
- Q_i = Daya reaktif yang dikirim dari bus ke i
- P_{Li} = Daya Aktif beban pada bus ke i
- Q_{Li} = Daya reaktif beban pada bus ke i

Dari Gambar 11 di atas terlihat sebuah penyulang radial dengan beberapa beban yang terpusat, masing-masing bagian dengan tahanan dan reaktansi sebesar r_1 dan x_1 hingga r_5 dan x_5 . Jika daya yang dikirim dari bus ke-0 adalah $S_0 = P_0 +$

jQ_0 , maka daya yang dikirim ke bus 1 sesungguhnya adalah :

a. Untuk daya aktif (P) :

perhitungan daya aktif pada bus ke i adalah :

$$P_{i+1} = P_i - PR_{i+1} - PL_{i+1} \dots\dots\dots 7.1$$

dimana :

$$PR_{i+1} = r_{i+1} \cdot \frac{S_i^2}{V_i^2} \dots\dots\dots 7.2$$

dengan PR_{i+1} adalah rugi daya aktif sebelum terpasang kapasitor.

b. Untuk daya reaktif (Q) :

perhitungan daya reaktif pada bus ke i adalah

$$Q_{i+1} = Q_i - QR_{i+1} - QL_{i+1} \dots\dots\dots 7.3$$

dimana :

$$QR_{i+1} = x_{i+1} \cdot \frac{S_i^2}{V_i^2} \dots\dots\dots 7.4$$

dengan QR_{i+1} adalah rugi daya reaktif sebelum terpasang kapasitor.

c. Untuk daya semu (S) :

Dari persamaan :

$$S_{i+1} = \sqrt{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2} \dots\dots\dots 7.5$$

Sesudah pemasangan kapasitor :

- Penghematan rugi daya aktif :

$$PH_{i+1} = PR_{i+1} - P'R_{i+1}, \dots\dots\dots 7.6$$

sehingga :

$$P'L_{i+1} = PL_{i+1} - PH_{i+1} \dots\dots\dots 7.7$$

- Penghematan rugi daya reaktif :

$$QH_{i+1} = QR_{i+1} - Q'R_{i+1}, \dots\dots\dots 7.8$$

sehingga :

$$Q'L_{i+1} = QL_{i+1} - QH_{i+1} \dots\dots\dots 7.9$$

dimana :

PH dan QH : adalah penghematan rugi-rugi daya aktif dan penghematan rugi-rugi daya reaktif yang berkurang akibat pemasangan kapasitor.

$P'R_{i+1}$ dan $Q'R_{i+1}$: adalah rugi-rugi daya aktif dan rugi-rugi daya reaktif yang baru setelah pemasangan kapasitor.

perhitungan tegangan pada bus ke i adalah :

$$V_{i+1} = V_i - Z_{i+1} \cdot S_i / V_i \dots\dots\dots 7.10$$

Kemudian harga P_i , Q_i dan V_i yang baru (dengan P_0 tetap) didapat dengan memasukkan harga Q baru

$$Q' = Q - Q_c \dots\dots\dots 7.11$$

serta PL baru :

$$P'L_{i+1} = PL_{i+1} - PH_{i+1} \dots\dots 7.12$$

dan QL baru :

$$Q'L_{i+1} = QL_{i+1} - QH_{i+1} \dots\dots 7.13$$

ke persamaan

$$P_{i+1} = P_i - PR_{i+1} - PL_{i+1}, \dots\dots\dots 7.14$$

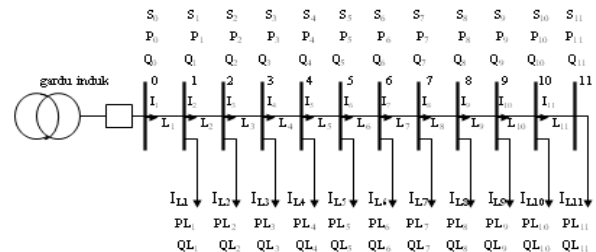
$$Q_{i+1} = Q_i - QR_{i+1} - QL_{i+1} \dots\dots\dots 7.15$$

$$V_{i+1} = V_i - Z_{i+1} \cdot S_i / V_i \dots\dots\dots 7.16$$

7.5 Hasil Perhitungan Aliran Daya

Tabel 7.5 Konfigurasi awal perhitungan sebelum pemasangan kapasitor.

NO BUS	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	pf	PR (kW)	PL (kW)	QR (kVAR)	QL (kVAR)	V (kV)
0	1910,00	1623,5	1006,15	0,85	-	-	-	-	11,00
1	1724,93	1465,43	909,89	0,85	5,07	153	1,44	94,82	11,97
2	1540,81	1308,27	813,96	0,85	4,17	153	1,11	94,82	10,94
3	1357,20	1151,57	718,25	0,85	3,70	153	0,89	94,82	10,92
4	1173,68	994,82	622,77	0,85	3,75	153	0,66	94,82	10,88
5	991,03	839,00	527,45	0,85	2,82	153	0,49	94,82	10,86
6	808,76	683,58	432,21	0,85	2,42	153	0,42	94,82	10,83
7	627,75	529,50	337,20	0,84	1,08	153	0,19	94,82	10,82
8	446,85	375,52	242,21	0,84	0,98	153	0,17	94,82	10,80
9	266,59	222,19	147,33	0,83	0,33	153	0,06	94,82	10,79
10	86,79	69,11	52,50	0,80	0,07	153	0,01	94,82	10,79
11	86,78	69,11	52,50	0,80	0,01	91,3	0,00	61,35	10,79
J U M L A H					24,4	1621,3	5,45	1009,55	



Gambar 12. Aliran daya saat beban puncak pada penyulang 11 kV fasa ke fasa, sebelum dipasang kapasitor.

Tabel 7.6 Hasil Perhitungan Setelah Pemasangan Satu Buah Kapasitor 1 x 300 kVAR.

NO BUS	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	pf	PR (kW)	PL (kW)	QR (kVAR)	QL (kVAR)	V (kV)
0	1770,42	1623,50	706,15	0,92	-	-	-	-	11,00
1	1558,75	1466,86	610,29	0,92	4,35	152,29	1,24	94,62	10,97
2	1408,38	1310,96	514,70	0,93	3,53	152,37	0,94	94,65	10,95
3	1229,21	1155,49	419,28	0,94	3,09	152,39	0,74	94,67	10,92
4	1051,28	1000,09	324,04	0,95	3,07	152,32	0,54	94,70	10,89
5	875,84	845,40	228,93	0,97	2,26	152,44	0,40	94,72	10,87
6	703,89	691,04	133,87	0,98	1,89	152,46	0,33	94,73	10,85
7	538,90	537,49	38,95	1,00	0,82	152,74	0,14	94,77	10,83
8	388,08	384,03	-55,95	0,99	0,72	152,74	0,13	94,77	10,82
9	275,75	230,86	-150,80	0,84	0,25	152,92	0,04	94,81	10,81
10	257,65	77,78	-245,63	0,30	0,08	153,00	0,01	94,82	10,81
11	257,64	77,68	-245,65	0,30	0,06	91,35	0,01	61,36	10,81
J U M L A H					20,11	1617,02	4,53	1008,62	

Tabel 7.7 Hasil Perhitungan Setelah Pemasangan Dua Buah Kapasitor 1 x 300 kVAR dan 1 x 150 kVAR .

NO BUS	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	pf	PR (kW)	PL (kW)	QR (kVAR)	QL (kVAR)	V (kV)
0	1716,12	1623,5	556,15	0,95	-	-	-	-	11,00
1	1537,93	1467,39	460,44	0,95	4,09	152,02	1,17	94,54	10,97
2	1361,75	1311,93	364,97	0,96	3,31	152,14	0,88	94,59	10,95
3	1187,87	1156,86	269,65	0,97	2,88	152,19	0,69	94,62	10,92
4	1016,96	1001,88	174,48	0,99	2,87	152,12	0,50	94,67	10,90
5	851,19	847,47	79,42	1,00	2,11	152,29	0,37	94,70	10,87
6	693,51	693,33	-15,60	1,00	1,78	152,36	0,31	94,71	10,85
7	551,02	539,83	-110,51	0,98	0,79	152,71	0,14	94,77	10,84
8	437,53	386,30	-205,42	0,88	0,75	152,77	0,13	94,78	10,82
9	380,09	233,00	-300,30	0,61	0,32	152,98	0,06	94,82	10,82
10	403,13	79,78	-395,16	0,20	0,15	153,08	0,03	94,83	10,81
11	403,12	79,51	-395,20	0,20	0,13	91,43	0,02	61,37	10,81
JUMLAH					19,19	1616,10	4,30	1008,40	

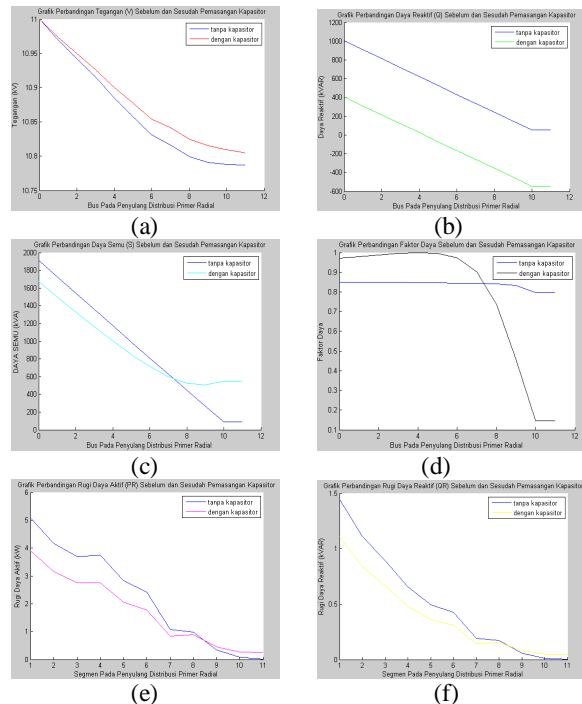
Tabel 7.8 Hasil Perhitungan Setelah Pemasangan Tiga Buah Kapasitor 1 x 300 kVAR dan 2 x 150 kVAR .

NO BUS	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	pf	PR (kW)	PL (kW)	QR (kVAR)	QL (kVAR)	V (kV)
0	1673,53	1623,50	406,15	0,97	-	-	-	-	11,00
1	1500,28	1467,9	310,56	0,98	3,89	151,82	1,11	94,48	10,97
2	1330,17	1312,66	215,17	0,99	3,15	151,98	0,84	94,55	10,95
3	1164,04	1157,85	119,91	0,99	2,75	152,05	0,66	94,59	10,93
4	1003,40	1003,09	24,79	1,00	2,75	152,00	0,48	94,65	10,90
5	851,71	848,80	-70,26	1,00	2,05	152,24	0,36	94,69	10,88
6	714,05	694,66	-165,28	0,97	1,78	152,36	0,31	94,71	10,85
7	600,38	541,06	-260,21	0,90	0,84	152,76	0,15	94,78	10,84
8	525,46	387,26	-355,17	0,74	0,89	152,91	0,16	94,80	10,82
9	507,13	233,68	-450,09	0,46	0,46	153,12	0,08	94,84	10,82
10	550,86	80,22	-544,99	0,15	0,27	153,19	0,05	94,85	10,81
11	550,87	79,72	-545,08	0,14	0,25	91,55	0,04	61,39	10,80
JUMLAH					19,09	1615,99	4,24	1008,34	

Tabel 7.9 Hasil Perhitungan Setelah Pemasangan Empat Buah Kapasitor 1 x 300 kVAR dan 3 x 150 kVAR.

NO BUS	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	pf	PR (kW)	PL (kW)	QR (kVAR)	QL (kVAR)	V (kV)
0	1643,58	1623,50	256,15	0,99	-	-	-	-	11,00
1	1476,83	1468,06	160,64	0,99	3,75	151,69	1,07	94,45	10,97
2	1314,75	1313,13	65,30	1,00	3,05	151,89	0,81	94,52	10,95
3	1158,84	1158,45	-29,92	1,00	2,69	151,99	0,65	94,58	10,93
4	1011,50	1003,74	-125,04	0,99	2,73	151,98	0,48	94,64	10,90
5	877,44	849,39	-220,10	0,97	2,09	152,27	0,37	94,69	10,88
6	763,14	695,03	-315,16	0,91	1,89	152,47	0,33	94,73	10,85
7	679,04	541,19	-410,13	0,80	0,96	152,88	0,17	94,80	10,84
8	636,30	386,89	-505,18	0,61	1,14	153,16	0,20	94,85	10,82
9	643,77	232,88	-600,17	0,36	0,67	153,34	0,12	94,88	10,81
10	699,61	79,09	-695,13	0,11	0,43	153,36	0,08	94,88	10,80
11	699,66	78,28	-695,27	0,11	0,41	91,70	0,07	61,42	10,80
JUMLAH					19,81	1616,71	4,34	1008,43	

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan pengaruh pemasangan kapasitor pada penyulang.



Gambar 13. Grafik output dari program aliran daya, pengaruh pemasangan kapasitor shunt pada penyulang terhadap : (a) Tegangan sistem (b) Daya Reaktif (c) Daya Semu (d) Faktor daya (e) Rugi Daya Aktif (f) Rugi daya Reaktif

Dari gambar 13 diatas dapat dilihat bahwa dengan pemasangan kapasitor shunt pada penyulang distribusi primer radial Daya reaktif penyulang menjadi berkurang, kapasitas penyaluran daya menjadi lebih besar, perbaikan faktor daya pada penyulang, mengurangi jatuh tegangan pada penyulang, dan Rugi daya aktif dan reaktif pada penyulang juga berkurang.

VIII. PENUTUP

8.1 Kesimpulan

1. Algoritma genetika pada tugas akhir ini dapat menemukan ukuran dan lokasi penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi primer radial yang paling optimal, sehingga selisih antara penurunan biaya rugi daya dan biaya pemeliharaan kapasitor menjadi maksimal. Optimasi penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi primer radial sistem 11 kV pada tugas akhir ini menggunakan metode resistansi ekuivalen yaitu beban *non-uniform* pada penyulang sebelumnya telah ditransformasikan dahulu menjadi penyulang ekuivalen *uniform*. Dengan strategi seleksi elit, lokasi dan ukuran kapasitor optimal dapat ditemukan dengan cepat, rata-rata sebelum generasi ke-50.

2. Dengan menggunakan ukuran kapasitor standar yang ada di lapangan maka penghematannya menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan kapasitor kontinyu.
3. Hasil optimasi yang bisa diterapkan dilapangan adalah pemasangan tiga buah kapasitor shunt dengan ukuran standar 1 x 300 kVAR dan 2 x 150 kVAR dengan lokasi masing-masing 4,1509 km, 3,4799 km, 2,1501 km dari gardu induk, menghasilkan penghematan biaya tahunan yang paling besar.
4. Setelah mengamati aliran daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor, maka diperoleh beberapa keuntungan yaitu sebagai berikut :
 - a. Daya reaktif penyulang menjadi berkurang
 - b. Kapasitas penyaluran daya menjadi lebih besar.
 - c. Perbaikan faktor daya pada penyulang.
 - d. Mengurangi jatuh tegangan pada penyulang.
 - e. Rugi daya aktif dan reaktif pada penyulang juga berkurang.

Besarnya pengurangan daya reaktif, jatuh tegangan, rugi daya aktif dan reaktif, dan penambahan kapasitas penyaluran daya serta perbaikan faktor daya pada penyulang sebanding dengan jumlah total kapasitas kapasitor yang dipasang pada saluran distribusi primer radial.

8.2 Saran

1. Algoritma genetika bisa diterapkan untuk optimasi penempatan kapasitor shunt pada sistem distribusi yang lebih kompleks seperti : loop, spindel, sistem gugus atau kluster.
2. Proses optimasi bisa mempertimbangkan faktor pertumbuhan beban dimasa yang akan datang. Jika pada penyulang telah terpasang kapasitor maka perlu atau tidaknya penambahan jumlah kapasitor pada penyulang, atau hanya dengan memindahkan lokasi pemasangan kapasitor saja. Biaya peralatan proteksi dari kapasitor juga bisa dipertimbangkan dalam proses optimasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gen, M. and R. Cheng, *Genetic Algorithm and Engineering Design*, John Wiley & Sons inc., New York, 1997.
2. Kusumadewi, S., *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Ed 1, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
3. Sulasno, *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Ed 1, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001.
4. Gonen, T., *Electric Power Distribution system Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.

5. Carwoto, *Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Pada Penyulang Distribusi Primer Radial dengan Algoritma Genetik*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 1999.
6. Salama, M.M.A., A.Y. Chikhani, dan R. Hackam, *Control Reactive Power In Distribution System With an End Load and Fixed Load Condition*, vol.PAS-104, No.10, pp.2779-2788, Oktober, 1985.
7. Chang, E., *Generalized Equation on Loss Reduction With Shunt Capacitor*, IEEE Trans, PAS-91, pp.2189-2195, September, 1972.
8. Rochadi, A., *Analisa Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Penyulang PWI 10 GI Purwodadi PT. PLN (Persero) UPJ Tegowanu Dalam Upaya Perbaikan Tegangan*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
9. Suyanto, *Algoritma Genetika dalam MATLAB, ANDI*, Yogyakarta, 2005.
10. Saadat, H., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1999.



Eko Wijanarko (L2F 002 576) lahirkan di Tegal pada tanggal 9 April 1985, sampai saat ini sedang menyelesaikan pendidikan Strata-1 di jurusan Teknik Elektro konsentrasi Ketenagaan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

Menyetujui dan mengesahkan

Pembimbing I

Ir. Tejo Sukmadi, M.T.

NIP. 131 764 876

Pembimbing II

Ir. Agung Nugroho

NIP. 131 668 508