

# OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA SALURAN DISTRIBUSI 20 kV DENGAN MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI FUZZY DAN ALGORITMA GENETIKA

I Made Wartana, Mimien Mustikawati

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITN Malang

E-mail: mwartana@hotmail.com

## ABSTRAKSI

Seiring dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka daya reaktif yang ada di jaringan akan semakin besar yang selanjutnya akan memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan. Untuk mereduksi rugi daya solusinya dengan pemasangan kapasitor. Makalah ini akan membahas penggunaan metode kombinasi Fuzzy dan Genetics Algorithm untuk penempatan kapasitor dan besar kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan. Perhitungan aliran daya Newton Raphson diterapkan untuk mengetahui perubahan hasil dari pemasangan kapasitor.

**Kata kunci:** Sistem Distribusi Radial, Penempatan kapasitor, Pengurangan Rugi-rugi, Fuzzy Linear Programing, Genetics Algorithm.

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya usaha di sektor industri menyebabkan kebutuhan akan daya aktif semakin meningkat, seiring dengan itu daya reaktif induktifnya pun akan meningkat. Peningkatan daya reaktif induktif saluran menyebabkan meningkatnya komponen rugi daya dan memperburuk kondisi tegangan, alternatif yang sering digunakan untuk memperbaiki kondisi tersebut adalah dengan pengaturan daya reaktif disisi beban yang salah satunya dengan penambahan kapasitor pada saluran distribusi

Metode yang digunakan sebelumnya yaitu metode Algoritma Genetika [2] mempunyai hasil yang kurang maksimal karena hanya mempertimbangkan biaya kapasitor dan rugi-rugi daya saja.

Makalah ini membahas pengaturan penempatan optimal kapasitor pada saluran distribusi primer 20 kV GI Sengkaling pada penyulang Pujon yang akan menyempurnakan [2] dengan menggunakan metode kombinasi Fuzzy-Genetika Algoritma [1], dimana selain mempertimbangkan biaya kapasitor dan rugi-rugi daya juga mempertimbangkan batasan operasional sistem.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Analisa Aliran Daya Sistem Distribusi Radial

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode Algoritma kombinasi Fuzzy-Genetika terlebih dahulu dilakukan suatu proses analisa aliran daya untuk mengetahui kondisi suatu sistem distribusi radial. Metode analisa aliran daya yang digunakan adalah metode aliran daya *Newton Raphson* yang dilinierkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

Tujuan analisa aliran daya ini adalah:

1. Untuk mengetahui profil tegangan tiap-tiap bus dari sistem jaringan.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada saluran dari struktur jaringan.
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif pada setiap saluran dari struktur jaringan.

### 2.2 Kapasitor Shunt.

Adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada saluran. Kapasitor shunt mencatu daya reaktif dimana arusnya menentang komponen arus beban induktif, sehingga dapat memperbaiki faktor daya, menaikkan kapasitas sistem dan dapat mengurangi rugi-rugi saluran. Dua cara pemakaian kapasitor shunt pada saluran yaitu:

- a. Kapasitor Tetap (*Fixed Type*)
- b. Kapasitor Saklar (*Switched Type*)

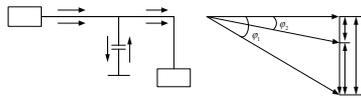
### 2.3 Pengurangan Rugi-Rugi dengan Kapasitor Shunt

Rugi-rugi daya dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen arus aktif dan komponen arus reaktif. Pengurangan rugi-rugi daya pada saluran akibat pemasangan kapasitor shunt tidak dipengaruhi oleh komponen arus aktif tetapi hanya dipengaruhi oleh komponen arus reaktifnya saja. Sehingga dengan pemakaian kapasitor pada sisi beban dapat mengurangi komponen arus reaktif saluran sehingga rugi-rugi saluran dapat dikurangi.

### 2.4 Perbaikan Faktor Daya

Satu-satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan mengurangi daya reaktif di jaringan. Jika komponen arus reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang sedang komponen arus tidak berubah sehingga faktor daya akan lebih besar sebagai akibat berkurangnya daya reaktif. Dengan pemakaian kapasitor pada saluran

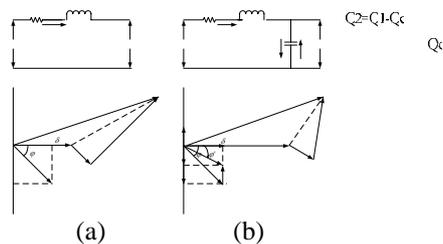
maka daya reaktif Q akan berkurang karena kapasitor akan mensuplai daya reaktif ke beban.



Gambar 1. Perbaikan Faktor Daya [4]

2.5 Perbaikan Tegangan

Pemakaian kapasitor shunt dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya juga bertujuan menaikkan tegangan. Dan secara vektoris dapat digambarkan seperti Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Vektor Diagram Sebelum Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan (a) dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan (b). [4]

2.6 Metode Kombinasi Algoritma Fuzzy-Genetik Pada Penempatan Kapasitor

a. Metode Fuzzy

Pada makalah ini metode fuzzy digunakan untuk menentukan nilai fitness dari Algoritma Genetik. Nilai fitness ini diturunkan dari beberapa fungsi objektif yang diformulasikan dalam model fuzzy. Sebuah model fuzzy secara tipikal diberikan oleh sebuah fungsi keanggotaan  $\mu_{f_i}(\bar{X})$  yang akan dicari nilai derajat keanggotaannya. Sebuah nilai fungsi keanggotaan yang tinggi menggambarkan tingkat kepuasan yang lebih tinggi dari solusi yang dicari.

- Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Merupakan kurva yang menunjukkan tingkat keanggotaan dari tiap fungsi objektif ke dalam himpunan fuzzy dan mengkarakteristikan tiap fungsi objektif sedemikian rupa sehingga tiap fungsi mempunyai nilai derajat keanggotaan dalam interval [0:1].

Fungsi Objektif yang akan dicari nilai derajat keanggotaannya ditunjukkan pada Gambar 2.

Tahap-tahap dalam metode fuzzy:

- Fuzzifikasi (Fuzzification) Merupakan proses mentransformasikan masukan yang berupa variabel crisp (fungsi objektif) ke Variabel non-crisp (himpunan fuzzy).
- Tahap mencari Nilai Keanggotaan Maksimum Hasil Kompetisi antara tiga membership, dicari nilai maksimumnya dengan persamaan:

$$Max_{i=1,2,\dots,N_k} [\overline{\mu_{f_i}} - \mu_{f_i}(x)] \dots\dots\dots(2)$$

Hasilnya diinterpretasikan sebagai derajat kepuasan dari tujuan yang ingin dicapai.

- Menghitung nilai fitness kromosom  
Nilai fitness kromosom diperoleh dengan persamaan:

$$F = \frac{1}{1 + Max_i [\overline{\mu_{f_i}} - \mu_{f_i}(x)]} \dots\dots\dots(3)$$

NO	FUNGSI OBJEKTIF	FUNGSI KEANGGOTAAN	FUZZIFIKASI
1	Meminimalkan biaya total rugi energi dan kapasitor $Min f_1(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot x_i) + C_c \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2$		$\mu_{f_1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_1(x) < f_1^{min} \\ \frac{f_1^{max} - f_1(x)}{f_1^{max} - f_1^{min}}, & \text{if } f_1^{min} \leq f_1(x) \leq f_1^{max} \\ 0, & \text{if } f_1(x) > f_1^{max} \end{cases}$
2	Menurunkan deviasi tegangan bus $Min f_2(\bar{X}) = \max_i  V_i - V_i^0 , i=1,2,\dots,N_k$		$\mu_{f_2}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_2(x) < f_2^{min} \\ \frac{f_2^{max} - f_2(x)}{f_2^{max} - f_2^{min}}, & \text{if } f_2^{min} \leq f_2(x) \leq f_2^{max} \\ 0, & \text{if } f_2(x) > f_2^{max} \end{cases}$
3	Memaksimalkan batas pembebanan perantara $Min f_3(\bar{X}) = 1 - \max_k \left[ \frac{I_{bus,k} - I_{bus,k}^{max}}{I_{bus,k}^{max}} \right], k=1,2,\dots,N_k$		$\mu_{f_3}(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } f_3(x) < f_3^{min} \\ \frac{f_3^{max} - f_3(x)}{f_3^{max} - f_3^{min}}, & \text{if } f_3^{min} \leq f_3(x) \leq f_3^{max} \\ 0, & \text{if } f_3(x) > f_3^{max} \end{cases}$

Gambar 2. Fungsi Objektif

2.7 Metode Algoritma Genetika

Landasan Genetic Algorithm terinspirasi dari mekanisme seleksi alam, dimana individu yang lebih kuat memiliki kemungkinan untuk menjadi pemenang dan mempunyai kesempatan hidup yang lebih besar di dalam lingkungan yang kompetitif. Parameter yang di gunakan dalam Genetic Algorithm antara lain sebagai berikut:

- Ukuran Populasi (Pop\_Size): Jumlah individu yang terdapat didalam suatu populasi yang merupakan kromosom atau string. Ukuran populasi yang sering digunakan berkisar antara 50–80.
- Jumlah Generasi (Max - Gen): Semakin besar jumlah generasi maka semakin optimum solusi yang mungkin dicapai, tetapi memerlukan waktu komputasi yang lama, begitu pula sebaliknya.
- Probabilitas Mutasi (Pm): Persentase dari jumlah total gen yang akan mengalami mutasi. Jika Pm terlalu rendah akan mengakibatkan gen yang berpotensi tidak dapat dimutasikan, begitu pula sebaliknya.
- Probabilitas Crossover (Pc): Rasio dari Offspring yang dihasilkan dalam setiap generasi di dalam suatu populasi. Jika Pc semakin besar maka semakin cepat struktur kromosom baru terbentuk dalam populasi, begitu pula sebaliknya.

2.8 Pengkodean

Setiap penempatan kapasitor yang memungkinkan adalah suatu individu dalam suatu populasi yang digambarkan dengan sedikitnya tiga substring kode substring adalah sebagai berikut:

1. Suatu kode integer substring telah ada untuk lokasi baru dan setting kapasitor. Ini adalah

suatu ukuran masukan untuk jumlah maksimum penempatan baru yang memungkinkan dan nilai *setting* yang akan diberikan

2. Kode *binner substring* digunakan untuk jika nilai *binner* adalah nol, tidak ada kapasitor yang ditempatkan pada lokasi yang berhubungan, jika nilai *binner* adalah 1 maka kapasitor ditempatkan pada lokasi tersebut

### 2.9 Evaluasi *Fitness*

Fungsi *fitness* meliputi kemampuan untuk membandingkan solusi dari satu generasi ke generasi yang lain. Semua *substring* dievaluasi dengan fungsi *fitness* yang sama.

### 2.10 Seleksi

Seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk melakukan rekombinasi dan bagaimana *offspring* terbentuk dari individu-individu terpilih tersebut dengan ditentukan melalui nilai *fitness* nya.

### 2.11 Operator Algoritma Genetika:

#### Reproduksi

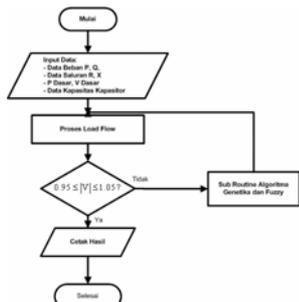
Reproduksi merupakan suatu proses dimana struktur *string* kromosom disalin dari generasi ke generasi yang lain sesuai dengan induknya. Tiruan *string* akan memiliki nilai *fitness* yang sama induknya.

#### Crossover (pindah silang)

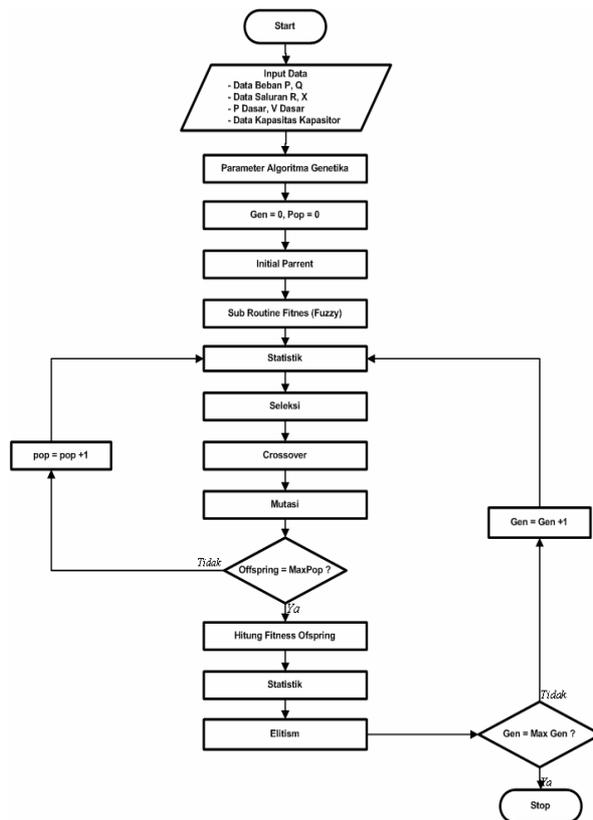
Merupakan operator genetika yang utama. Operator ini bekerja dengan mengambil dua individu dan memotong *string* kromosom mereka pada posisi yang terpilih secara random.

#### Mutation (mutasi)

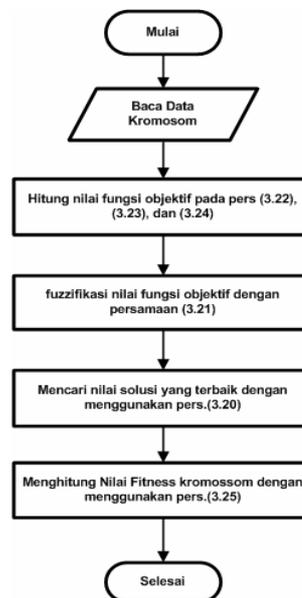
Operator mutasi digunakan untuk melakukan modifikasi satu atau lebih nilai gen dalam individu yang sama untuk menghasilkan individu baru dengan cara melakukan perubahan pada sebuah gen atau lebih dari kromosom. Mutasi memastikan bahwa probabilitas untuk pencarian pada daerah tertentu dalam persoalan tidak akan pernah nol, karena akan ada keanekaragaman individu sebagai hasil dari operasi mutasi.



Gambar 3. FlowChart Program Pemecahan Masalah



Gambar 4. Flowchart Program Penentuan Letak Optimal Kapasitor Pada Sistem Distribusi Dengan Algoritma Genetika



Gambar 5. Flowchart Program Fitness (Fuzzy)

## 3. HASIL DAN ANALISIS HASIL.

Perhitungan penempatan kapasitor diawali dengan melakukan studi aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Studi aliran daya dilakukan untuk menganalisa harga tegangan dan sudut fasa tiap-tiap bus, aliran daya yang mengalir tiap saluran dan arus yang mengalir pada saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan

barulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya saluran. Algoritma perhitungannya seperti ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5.

Dari hasil aliran daya diperoleh profil tegangan tiap-tiap bus, arus tiap-tiap saluran dan rugi-rugi saluran seperti pada Gambar 7.

### 3.1 Hasil Program

Setelah dilakukan analisa dengan menggunakan metode kombinasi Algoritma Fuzzy-Genetika maka diperoleh hasil lokasi, kapasitas, tipe dan biaya dari pemasangan kapasitor seperti terlihat pada Gambar 6.



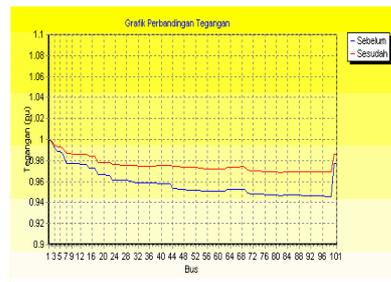
Gambar 6. Hasil Perhitungan Metode Kombinasi Fuzzy-Algorithm Genetika

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor diperoleh perbaikan profil tegangan serta aliran daya saluran.

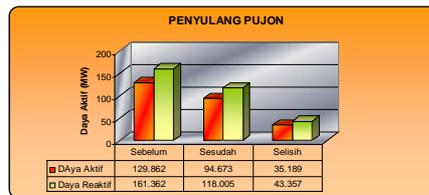
Untuk lebih lengkapnya hasil metode kombinasi Algoritma *Fuzzy-Genetics* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Program Metode Kombinasi *Fuzzy-Genetics Algorithm*

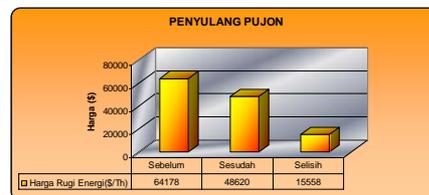
No	Keterangan	Sebelum	Sesudah				
			Kapasitas		Setting		
			Bus	(kVAR)	L	N	H
1	Lokasi, kapasitas, dan setting kapasitor yang akan dipasang		45	810	810	720	780
			67	720	510	660	720
			94	390	90	270	390
2	Tegangan terendah pada bus 99(pu)	0.94572	0.96919				
3	Rugi Daya: Aktif (kW)	129.862	94.673				
	Pengurangan (%)		27.10				
	Reaktif (kVAR)	161.362	118.005				
	Pengurangan (%)		26.87				
4	Total Biaya (Rp/Tahun)	596.855.400	452.166.000				
	Selisih (Rp/Tahun)		144.689.400				
	Penghematan (%)		24.24				



Gambar 7. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi



Gambar 8. Perbandingan Rugi-Rugi Saluran Sebelum dan Sesudah Kompensasi



Gambar 9. Harga Rugi Energi Sebelum dan Sesudah Kompensasi

## 4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa dari uji coba program dalam menentukan lokasi kapasitor pada sistem distribusi 20 kV pada penyulang Pujon maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode kombinasi ini letak kapasitor yang optimal terletak pada bus 45 dengan kapasitas 810 kVAR dengan setting 810 kVAR pada level beban rendah, 720 kVAR pada level beban normal, dan 780 kVAR pada level beban tinggi. Bus 67 dengan kapasitas 720 kVAR dengan setting 510 kVAR pada level beban rendah, 660 kVAR pada level beban normal, dan 720 kVAR pada level beban tinggi. Dan pada bus 94 dengan kapasitas 390 kVAR dengan setting 90 kVAR pada level beban rendah, 270 kVAR pada level normal, dan 390 kVAR pada level beban tinggi.
- Dari hasil perhitungan aliran daya sebelum kompensasi dengan metode *Newton Raphson* pada penyulang Pujon, tegangan yang beroperasi diluar batas yang diijinkan (0.95% - 1,05%), tidak terjadi pada semua bus. Tegangan terendah saluran yang terjadi sebesar 0.94572 pu atau sebesar 18.9144 kV pada bus 99 dan setelah kompensasi diperbaiki menjadi 0.96919 pu atau sebesar 19.3838 kV.

- c. Besarnya penurunan rugi-rugi daya setelah kompensasi dengan metode kombinasi Algoritma *Fuzzy-Genetic* : rugi daya aktif sebesar 27.10 % dari 129.862 kW menjadi 94.673 kW , dan daya reaktif sebesar 26.87 % dari 161.362 kVAR menjadi 118.005 kVAR.
- d. Nilai penghematan yang diperoleh setelah kompensasi dengan metode kombinasi Algoritma *Fuzzy-Genetic* sebesar Rp. 144.689.400/Tahun atau sebesar 24.24%, dimana biaya sebelum pemasangan sebesar 64.178\$/tahun atau sebesar Rp. 596.855.400,-/tahun, dan total biaya setelah pemasangan sebesar 48.620\$/tahun atau sebesar Rp.452.166.000,-/tahun (dengan assumsi 1\$/ adalah Rp. 9300,-).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ying-Tung Hsiao, Chia-Hong Chen, Cheng-Chih Chien, Optimal Capacitor Placement in Distribution System Using a Combination Fuzzy-GA Method, *Electrical Power and Energy System*, Vol 26, 2004.
- [2] Irrine Budi S., I Made Wartana, Optimasi Penentuan Lokasi Switched Kapasitor Dengan Metode Algoritma Genetika Pada Jaringan Distribusi Radial 20 kV GI Sengkaling Penyulang Pujon, *International Seminar on Electrical Power, Electronics, Communication, Control and Informatics*, Universitas Brawijaya, Malang, 2006.
- [3] William D. Stevenson Jr, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta, 1996
- [4] Hasan Basri, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik* Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta, 1996.
- [5] A. S. Pabla, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [6] Djiteng Marsudi, *Operasi Sitem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.

