

# Optimasi Load Tap Changing Transformer Menggunakan Algoritma Genetik Guna Meminimalisasi Rugi Daya Transmisi

Oktovianus Lawang<sup>1</sup>      Ir. Nugroho AD, MT<sup>2</sup>      Ir. Tejo Sukmadi, MT<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Sudarto S.H Tembalang, Semarang  
Email : [eeundip@indosat.net.id](mailto:eeundip@indosat.net.id)

## Abstrak

*Transformator memberikan suatu sarana tambahan untuk mengatur daya reaktif dengan menggunakan on load tap changing transformer. Walau posisi tap transformator bukan merupakan sumber daya reaktif, tetapi posisi tap transformator mengubah impedansi jalur yang dilalui daya reaktif sehingga akan mempengaruhi aliran daya reaktif. Jika keadaan beban di setiap simpul tidak berubah, maka perubahan tap dari sebuah transformator akan secara langsung mengubah tegangan dari simpul yang berhubungan dengan tap transformator. Perubahan tegangan ini juga akan mengubah besarnya arus yang mengalir antara simpul tersebut dan selanjutnya juga akan mempengaruhi simpul-simpul yang lain serta mempengaruhi rugi-rugi dalam sistem, yaitu  $P_L$ .*

*Tugas Akhir ini menggunakan Algoritma Genetik (ALGEN) untuk menentukan nilai tap changing transformator yang optimal ditinjau dari rugi-rugi transmisi yang minimum. ALGEN adalah metode yang memberikan sekumpulan solusi yang bersifat global (global solutions) karena karakteristik pencarian solusi ALGEN adalah multi point searching sehingga seorang decision maker dapat menentukan solusi optimal dari permasalahan yang dihadapi.*

*ALGEN memiliki operator-operator genetik yang identik dengan kejadian-kejadian pada evolusi alam seperti seleksi alam dan reproduksi, rekombinasi dan mutasi. Tugas Akhir ini menggunakan operator-operator genetik standar yaitu seleksi menggunakan metode roulette wheel selection, rekombinasi menggunakan metode single point crossover dan mutasi menggunakan metode flip-bit.*

## 1. Latar Belakang

Alokasi daya reaktif yang tepat dalam sistem bisa menghasilkan kondisi optimum, yaitu kondisi dengan rugi-rugi transmisi yang minimum. Walaupun posisi tap transformator bukan merupakan sumber daya reaktif tetapi posisi tap transformator merupakan pengubah impedansi yang mempengaruhi aliran daya reaktif. Jika keadaan beban di setiap simpul tidak berubah, maka perubahan tap dari sebuah transformator akan secara langsung mengubah tegangan dari simpul yang berhubungan dengan tap transformator. Perubahan tegangan ini juga akan mengubah besarnya arus yang mengalir antara simpul tersebut dan selanjutnya juga akan mempengaruhi simpul-simpul yang lain serta mempengaruhi rugi-rugi dalam sistem, yaitu  $P_L$ .

Penentuan nilai optimal tap transformator merupakan permasalahan yang bersifat kombinatorial yang sangat kompleks. Nilai kombinasi yang dihasilkan akan bertambah besar seiring dengan besarnya sistem tenaga yang dianalisa. Metode optimasi yang dapat menghasilkan solusi optimal yang handal adalah algoritma genetik. Algoritma genetik mengadopsi pada mekanisme alam pada sistem biologi. Proses evolusi dan seleksi alam yang berlangsung terus menerus akan menghasilkan individu yang handal dan mampu bertahan pada generasi berikutnya. Konsep ini akan diadopsi untuk mencari solusi optimal studi aliran daya dilihat dari aspek perubahan nilai tap transformator.

## 2. Tujuan

Tujuan penelitian adalah mengetahui berapa besar pengaruh perubahan nilai *load tap changing transformer* guna meminimalisasi susut daya/energi transmisi dengan mengoptimalkan nilai *load tap changing transformer* menggunakan algoritma genetik.

## 3. Batasan Masalah

Optimasi nilai *On Load Tap Changing Transformer* dengan menggunakan Algoritma Genetik dengan obyektif

permasalahan meminimalkan rugi-rugi daya transmisi ( $P_L$ ) dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut.

- a. Model sistem tenaga listrik yang diujikan adalah 30 – bus IEEE sample system berdasarkan referensi [1].
- b. Metode aliran daya yang digunakan adalah metode Newton-Raphson.
- c. Kondisi beban dianggap konstan.
- d. Besar daya pembangkitan konstan.
- e. Variabel-variabel lain selain posisi tap transformator, yang dapat mempengaruhi aliran daya reaktif, seperti arus penguatan generator, kapasitor sinkron dan reaktor variabel tidak disertakan dalam perhitungan.
- f. Optimasi hanya dilakukan pada nilai OLTC tanpa mempertimbangkan lokasi OLTC yang optimal.
- g. Permasalahan sistem mekanis OLTC diabaikan.
- h. Model algoritma genetik yang digunakan adalah *Simple Genetic Algorithm*.
- i. Operator genetik yang digunakan adalah operator standar yaitu Seleksi, Rekombinasi dan Mutasi.

## 4. Konsep Aliran Daya Optimal Pada Sistem Tenaga Listrik

### Pembentukan Persamaan Jaringan

Persamaan-persamaan yang berlaku dalam jaringan sistem tenaga listrik dapat dibentuk dengan berbagai macam cara. Metode yang paling banyak digunakan dalam analisa sistem tenaga adalah metode simpul tegangan. Pembentukan persamaan-persamaan simpul tegangan dilakukan dengan melakukan konversi dari jaringan impedansi menjadi jaringan admitansi, dengan terbentuknya jaringan admitansi maka analisa arus melalui persamaan-persamaan simpul tegangan menjadi lebih mudah.

Untuk analisa simpul tegangan persamaan daya yang terbentuk merupakan fungsi dari arus yang mengalir pada tiap elemen yang terdapat pada jaringan sistem tenaga, sehingga jika elemen arus diketahui maka semua persamaan daya dapat diselesaikan.

Pada sistem tenaga listrik besaran daya lebih dapat diketahui dari pada besaran arus, maka dalam analisa sistem

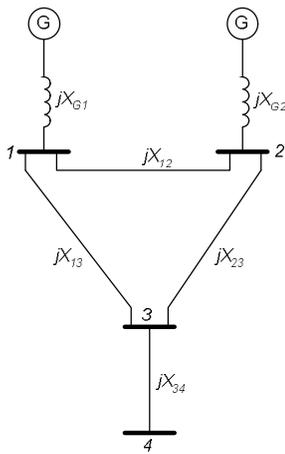
<sup>1</sup> Penulis, Mahasiswa Teknik Elektro Undip

<sup>2</sup> Dosen Pembimbing I

<sup>3</sup> Dosen Pembimbing II

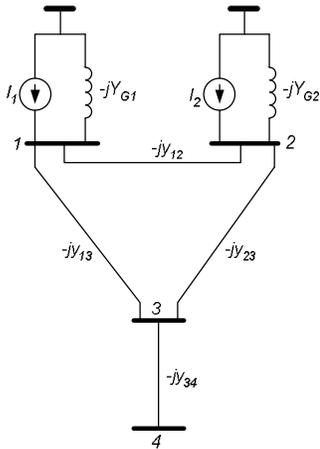
MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

tenaga persamaan-persamaan simpul yang terbentuk sering disebut sebagai persamaan-persamaan aliran daya. Persamaan-persamaan tersebut merupakan persamaan tidak linier dan harus diselesaikan dengan metode yang sesuai.



Gambar 4.1 Sistem Tenaga Listrik 4 Bus

Pembentukan persamaan-persamaan arus pada gambar 4.1 dapat dilakukan dengan melakukan konversi besaran impedansi ke besaran admitansi sebagai manipulasi. Setelah melakukan beberapa manipulasi jaringan listrik, maka akan didapatkan bentuk jaringan admitansi seperti tampak pada gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2 Jaringan Admitansi

Dalam format matrik, algoritma penyusunan persamaan-persamaan arus pada sistem tenaga listrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana  $I_{bus}$  adalah vektor arus,  $V_{bus}$  adalah vektor tegangan yang diukur dari suatu titik referensi dan  $Y_{bus}$  adalah matrik admitansi jaringan, sedangkan komponen diagonalnya disebut sebagai admitansi diri, dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \dots\dots\dots(4.2)$$

Komponen off-diagonal dari matrik admitansi bus disebut admitansi bersama dan ditulis sebagai berikut :

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \dots\dots\dots(4.3)$$

**Penyelesaian Persamaan Aliran Daya**

Dalam analisa aliran daya diperlukan suatu metode numerik yang dipergunakan untuk memecahkan persamaan-persamaan aliran daya secara simultan. Salah satu metode

berbasis kalkulus yang paling luas dipergunakan adalah metode Newton-Raphson.

Persamaan arus pada simpul jaringan sistem dapat ditulis kembali :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots(4.4)$$

Jika ditulis dalam format koordinat polar akan diperoleh :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(4.5)$$

Sedangkan persamaan daya pada bus dapat ditulis :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \dots\dots\dots(4.6)$$

Jika disubstitusikan kedalam persamaan sebelumnya akan diperoleh :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(4.7)$$

Jika dipisahkan komponen real dan imajiner akan diperoleh persamaan berikut :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots(4.8)$$

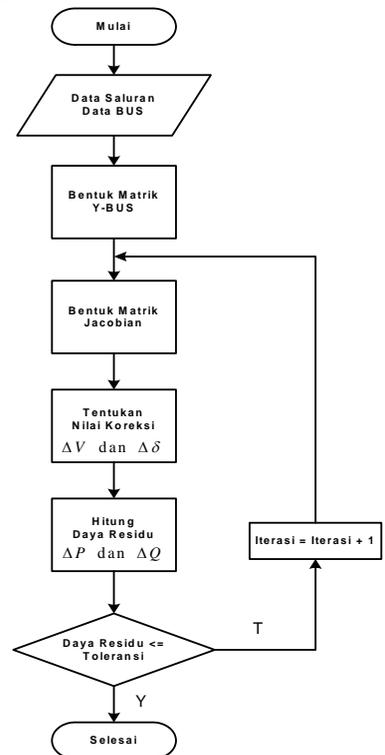
$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Jika digunakan deret Taylor akan diperoleh suatu linierisasi persamaan (4.8) diatas dan dapat dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix}$$

Pada matrik diatas diambil asumsi, bus 1 adalah *slack bus*.

Metode penyelesaian aliran daya dapat ditulis dalam bentuk algoritma perhitungan aliran daya dengan Metode Newton-Raphson :



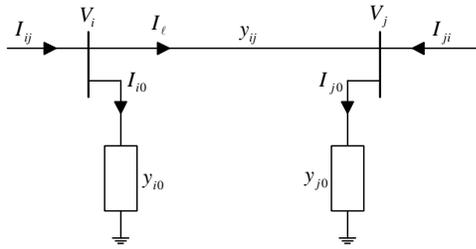
Gambar 4.3 Diagram alir metode Newton-Raphson

**Perhitungan Aliran Daya dan Rugi-Rugi Saluran**

Dalam analisa sistem tenaga listrik selain menentukan besaran daya pada tiap bus, analisa aliran daya juga digunakan untuk menentukan besar kerugian daya yang hilang pada saluran transmisi selama proses penyaluran daya dari pembangkit ke pusat beban.

Perhitungan aliran daya dan rugi-rugi saluran dapat dilakukan dari penyelesaian iterative tegangan tiap bus.

Perhatikan saluran yang terhubung antara dua bus  $i$  dan  $j$  dalam gambar 4.4.



Gambar 4.4 Model saluran transmisi untuk perhitungan aliran daya

Arus saluran  $I_{ij}$ , diukur pada bus  $i$  dan dianggap positif untuk arah  $i \rightarrow j$ , dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \dots\dots\dots(4.9)$$

Demikian juga, arus saluran  $I_{ji}$  diukur pada bus  $j$  dan dianggap positif untuk arah  $j \rightarrow i$ , dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \dots\dots\dots(4.10)$$

Daya kompleks  $S_{ij}$  dari bus  $i$  ke  $j$  dan  $S_{ji}$  dari bus  $j$  ke  $i$  dinyatakan sebagai berikut :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \dots\dots\dots(4.11)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \dots\dots\dots(4.12)$$

Rugi daya dalam saluran  $i - j$  adalah penjumlahan aljabar dari aliran daya - aliran daya yang ditentukan oleh (4.11) dan (4.12), yaitu :

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \dots\dots\dots(4.13)$$

Persamaan rugi daya kompleks di atas dapat diuraikan sebagai komponen rugi daya nyata dan rugi daya reaktif, sebagai berikut :

$$S_{Lij} = P_{Lij} + Q_{Lij} \dots\dots\dots(4.14)$$

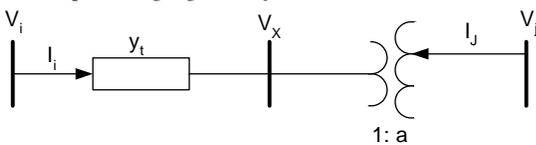
Sehingga persamaan untuk mendapatkan rugi-rugi total saluran untuk sistem dengan  $n$  buah bus :

$$P_{LT} = \text{Re}[S_{LT}] = \text{Re} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{Lij} \dots\dots\dots(4.15)$$

**Pengaruh Tap Transformator**

Tap Changing Transformer jika dikondisikan pada perbandingan belitan pada nilai nominal, maka pada kondisi ini tidak terjadi regulasi tegangan sehingga dapat direpresentasikan ke sebuah admitansi  $y_t$ . Pada kondisi *off-nominal* dimana perbandingan belitan tidak seperti nominalnya, maka admitansi transformator akan terdapat perbedaan baik pada sisi primer ataupun pada sisi sekunder. Representasi transformator sangat ditentukan oleh perbandingan belitannya.

Gambar 4.5 berikut menunjukkan rangkaian ekivalen On Load Tap Changing Transformer :



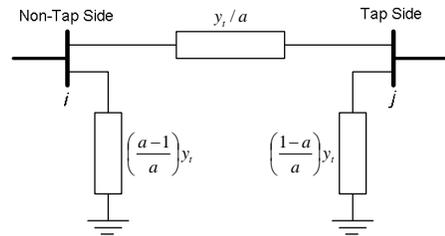
Gambar 4.5 Rangkaian ekivalen On Load Tap Changing Transformer

Gambar 4.5 diatas merupakan konsep dasar on load tap changing transformer yang disesuaikan dengan perubahan elemen kompleks arus injeksi (I), tegangan (V), perbandingan belitan (a) dan admitansi (y). Perbandingan tegangan dan arus dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_x = \frac{1}{a}V_j \dots\dots\dots(4.16)$$

$$I_i = -a^* I_j \dots\dots\dots(4.17)$$

Rangkaian ekivalen transformator dapat diubah menjadi rangkaian ekivalen nominal  $\pi$ .



Gambar 4.6 Rangkaian ekivalen  $\pi$

Dan akan diperoleh persamaan-persamaan berikut :

$$I_i = y_t(V_i - V_x) \dots\dots\dots(4.18)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (4.16) ke persamaan (4.18) diperoleh,

$$I_i = y_t V_i - \frac{y_t}{a} V_j \dots\dots\dots(4.19)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (4.19) ke persamaan (4.17) diperoleh,

$$I_j = -\frac{y_t}{a} V_i + \frac{y_t}{|a|^2} V_j \dots\dots\dots(4.20)$$

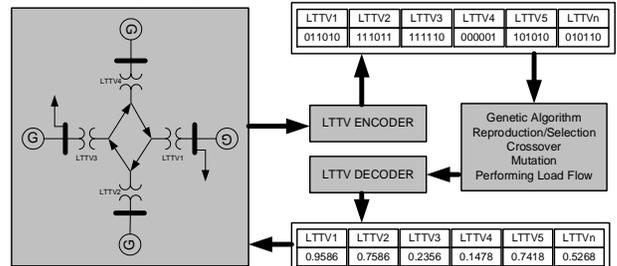
$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_t & -\frac{y_t}{a} \\ -\frac{y_t}{a^*} & \frac{y_t}{|a|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix}$$

Aliran daya pada saluran  $ij$  dari bus  $i$  ke bus  $j$  dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{ij} &= V_i^* [y_t a^* (a-1)V_i + (V_i - V_j)y_t a^*] \\ &= V_i^2 a^2 y_t - V_i^2 a^* y_t + V_i^2 a^* y_t - V_i^* V_j a^* y_t \\ &= V_i^2 a^2 y_t - V_i^* V_j a^* y_t \end{aligned} \dots\dots\dots(4.21)$$

**Konsep Genetik untuk Menentukan Solusi Optimal Aliran Daya**

Konsep genetik yang digunakan untuk menentukan solusi optimal studi aliran daya optimal untuk menghasilkan susut energi listrik minimum di saluran transmisi diperlihatkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Konsep penyelesaian studi aliran daya optimal

Model sistem tenaga yang terdiri dari beberapa transformator akan diubah ke format genetik atau kromosom oleh suatu sistem yaitu LTTV (Load Tap Transformer Value) ENCODER, format kromosom adalah biner dimana setiap gen atau LTTV memiliki kode biner dengan jumlah bit tertentu. Setelah terbentuk kromosom akan dilakukan mekanisme genetik dan metode evaluasi kromosom. Evaluasi kromosom ditentukan dengan tipe studi aliran daya yang digunakan. Kromosom dengan kualitas yang baik diindikasikan dengan total susut energi yang kecil. Setelah kromosom terbaik ditentukan maka akan diambil informasi mengenai nilai LTTV dengan menggunakan LTTV DECODER yang kemudian dikembalikan ke sistem. Proses ini dilakukan berulang-berulang sampai solusi optimal tercapai.

**5. Algoritma Genetik**  
**5.1. Tinjauan Umum**

Algoritma genetik pertama kali dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1975 dengan paper "Adaptation in Natural and Artificial System". Dalam

paper ini banyak dibicarakan tentang proses adaptasi natural dan pengembangan perangkat lunak yang berbasis pada mekanisme alam.<sup>[15][16]</sup>

Algoritma genetik (ALGEN) adalah metode pencarian stokastik global yang memiliki kesamaan pada mekanisme evolusi alam. Algoritma genetik bekerja pada suatu populasi solusi permasalahan, perkembangan populasi pada generasi berikutnya dihasilkan melalui mekanisme genetik yang dihasilkan dari perkawinan dua individu yang memiliki kualitas diatas rata-rata. Proses perkembangbiakan individu akan terus berlangsung dan akan memberikan hasil yaitu suatu populasi dimana setiap individu memiliki kualitas baik, proses evolusi akan berlangsung dalam beberapa generasi yang ditentukan. Setiap individu dalam suatu populasi memiliki kromosom yang mempunyai struktur gen yang sama. Setiap kromosom membawa informasi tentang parameter-parameter yang dibutuhkan dalam suatu proses pemecahan masalah.

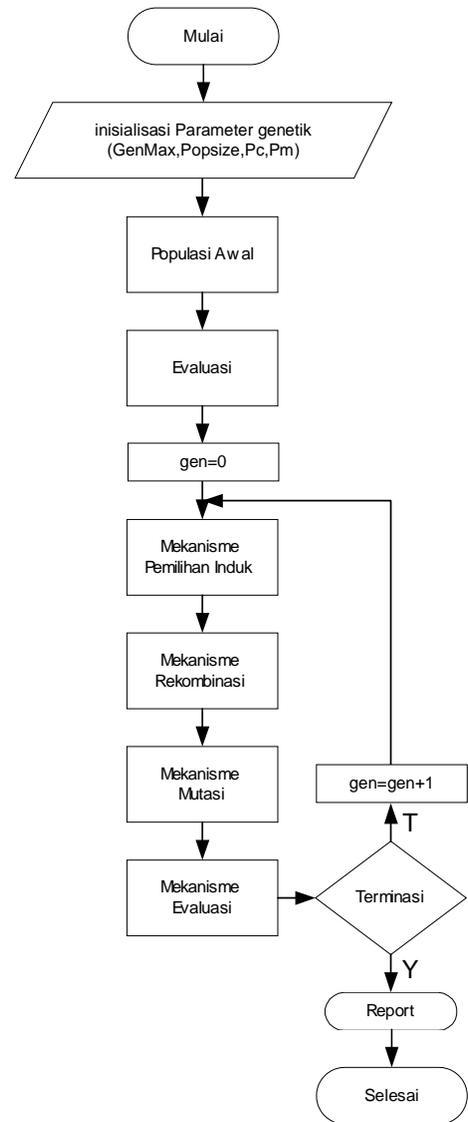
Algoritma genetik memiliki perbedaan yang mendasar dengan metode pencarian solusi optimal dengan basis model matematika kalkulus (*calculus based*), perbedaan-perbedaan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Mekanisme optimasi algoritma genetik bekerja berdasarkan kromosom, dimana setiap kromosom menyimpan informasi parameter-parameter yang dibutuhkan untuk penyelesaian masalah.
- b. Proses pencarian solusi optimal pada mekanisme algoritma genetik tidak dilakukan pada satu titik pencarian, tetapi pada sekumpulan titik pencarian.
- c. Algoritma genetik tidak membutuhkan prosedur-prosedur matematis dalam mencari solusi optimal tetapi algoritma genetik menggunakan informasi langsung dari hasil transfer tiap-tiap parameternya ke suatu fungsi yang dapat mewakili tujuan dari proses optimasi yang sedang dilakukan.
- d. Mekanisme genetik digunakan dalam pemrosesan kode parameter suatu permasalahan, melalui proses seleksi, rekombinasi dan mutasi untuk memperoleh solusi optimal.
- e. Proses pencarian solusi optimal menggunakan metode algoritma genetik menggunakan titik acuan sembarang, untuk menghindari solusi optimal lokal.
- f. Mekanisme pencarian terbimbing diberikan melalui penilaian terhadap kualitas kode atau kromosom yang dimiliki oleh setiap individu dalam suatu generasi.

### 5.2. Mekanisme Kerja Algoritma Genetik

Setelah format permasalahan yang akan dioptimasi sudah diubah ke format genetik, maka siklus algoritma genetik yang dibutuhkan adalah membentuk populasi awal sebagai bahan dasar untuk membentuk generasi berikutnya.

Mekanisme genetik seperti rekombinasi, mutasi kromosom serta mekanisme seleksi alam sangat berperan penting dalam proses pembentukan generasi baru yang memiliki individu-individu yang berkualitas. Secara garis besar siklus tersebut dapat dijelaskan seperti gambar 5.1. Dari gambar 5.1 tersebut dapat diketahui algoritma genetik memerlukan materi genetik awal, dalam hal ini populasi individu dengan model kromosom genetik tertentu. Pembentukan populasi awal dilakukan secara random dengan memperhatikan kriteria format kromosom dan gengen penyusunnya. Setelah populasi awal terbentuk dilakukan evaluasi pertama dengan menggunakan fungsi-fungsi evaluasi dan fungsi fitness yang sesuai dengan permasalahan yang akan dipecahkan.



Gambar 5.1 Siklus Sederhana Algoritma Genetik

### 5.3. Operator-operator Algoritma Genetik

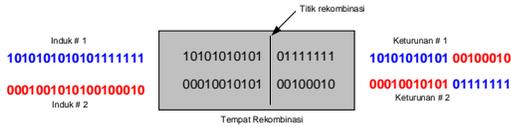
Operator-operator genetik merupakan 'tool' yang sangat penting dalam proses algoritma genetik. Ada empat operator genetik yang digunakan pada perancangan tugas akhir ini yang antara lain :

- a. Seleksi/Reproduksi  
Proses seleksi adalah suatu proses awal berupa pemilihan individu-individu terbaik dalam suatu populasi yang pantas untuk mengikuti proses genetik selanjutnya. Operator seleksi dapat dikatakan merupakan model dari siapa yang terkuat (*fittest*) dialah yang dapat bertahan (*survive*).
- b. Rekombinasi (crossover)  
Rekombinasi adalah proses pertukaran struktur kromosom anatar dua induk terpilih dalam proses seleksi dengan tujuan untuk menciptakan keberagaman individu-individu baru yang tetap mewarisi sifat-sifat terbaik dari induk-induknya. Dalam algoritma genetik dilakukan atau tidaknya proses rekombinasi ditentukan oleh nilai probabilitas terjadinya peristiwa rekombinasi ( $P_C$ ) yang ditentukan oleh pengguna. Jenis rekombinasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah rekombinasi dengan jenis sisi tunggal (*single site crossover*).

#### Single Site Crossover (SSC)

Rekombinasi jenis ini memiliki ciri ada sebuah titik yang menjadi tempat terjadinya perpindahan struktur kromosom antar kromosom induk. Titik tempat terjadi awal dari pertukaran struktur kromosom induk ditentukan secara sembarang dalam rentang yang tidak melebihi dari panjang kromosom induk. Jenis rekombinasi seperti ini banyak digunakan karena efektifitas dalam penganekaragaman struktur kromosom individu lebih baik dan materi genetik dari kromosom induk tidak cepat

hilang. Contoh mekanisme rekombinasi satu titik adalah sebagai berikut .



Gambar 5.2 Mekanisme rekombinasi satu titik

c. Mutasi

Mutasi adalah operator genetik yang mengubah satu atau lebih gen-gen dalam sebuah kromosom dari bentuk aslinya dan menghasilkan sebuah gen baru. Dengan gen baru yang dihasilkan, algoritma genetik dapat menghasilkan solusi yang lebih baik. Mutasi adalah bagian penting dalam penelusuran genetika karena dapat membantu menjaga populasi dari kemacetan pada saat optimasi lokal.

5.4. Fungsi Objektif dan Fungsi Fitness

Fungsi yang akan dioptimasi, atau sering disebut juga fungsi objektif, merupakan mekanisme evaluasi untuk masing-masing string. Hanya saja karena untuk setiap permasalahan yang berbeda, jangka harga parameternya juga bervariasi, maka diperlukan suatu fungsi yang dapat menormalisasi fungsi objektif. Fungsi yang berguna untuk menormalisasi ruang solusi dari fungsi objektif disebut sebagai fungsi fitness dari string, dimana fitness ini nantinya akan digunakan sebagai evaluator setiap individu didalam populasi.

Dalam pemodelan sistem tenaga listrik dengan mengimplementasikan *on load tap changing transformer* untuk meregulasi aliran daya reaktif sehingga tercapai total rugi daya minimal, maka fungsi objektif dibentuk berdasarkan total rugi daya di sistem. Total rugi daya dapat dicari melalui mekanisme analisa aliran daya, secara eksplisit dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$F_o = \min(P_{LR}) \dots\dots\dots (5.1)$$

$$= \min[\text{Re} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{L,ij}]$$

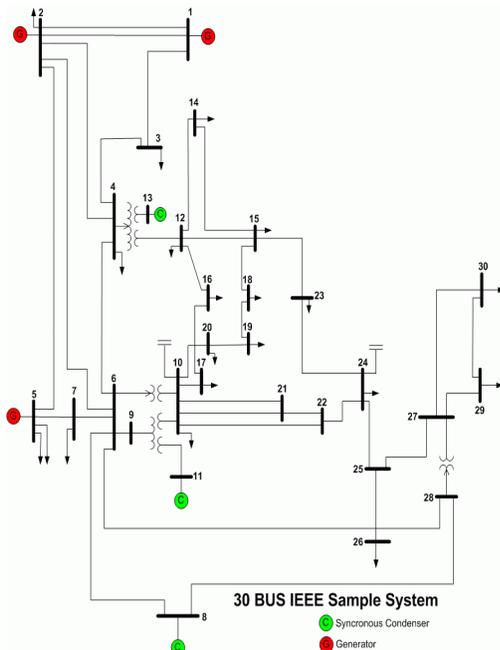
sedangkan fungsi fitness dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Fitness} = \text{norm}[C - \text{Re} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{L,ij}] + K\Psi \dots\dots\dots (5.2)$$

dimana

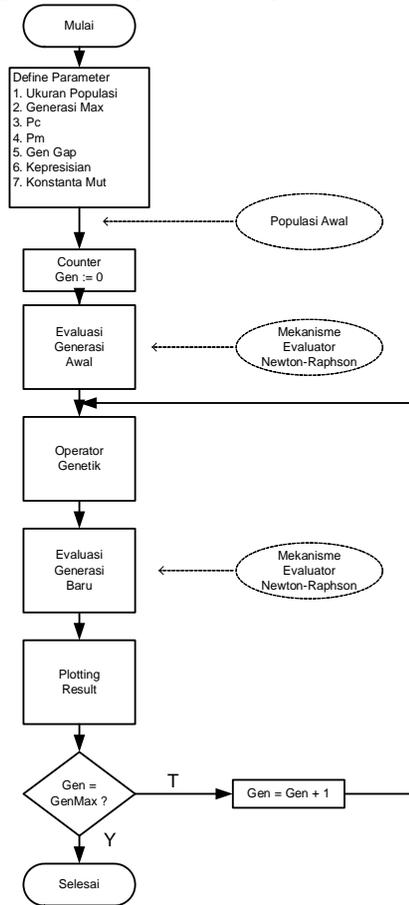
- C : Konstanta marginal objektif
- K : Konstanta pinalti
- $\psi$  : Fungsi pinalti parabolik

6. Perancangan Perangkat Lunak Modul Simulasi Algoritma Genetik



Gambar 6.1 Sistem tenaga listrik 30 bus

Gambar 6.1 adalah gambar sistem yang akan diuji. Sedangkan diagram alir perancangan modul simulasi algoritma genetik ditunjukkan oleh gambar 6.2 di bawah ini.

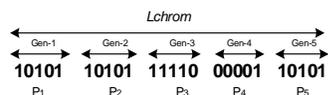


Gambar 6.2. Diagram alir perancangan

6.1. Pembentukan Kromosom

Model sistem tenaga listrik terutama nilai-nilai tap yang akan dioptimasi melalui metode algoritma genetik terlebih dahulu diformat ke dalam mekanisme komputasi non-parametrik, yaitu dengan cara mengkodekan parameter-parameter optimal kedalam format biner yang kemudian tersusun secara sistematis didalam kromosom. Parameter-parameter optimal sistem tenaga listrik yang akan dicari adalah semua nilai tap setiap *on load tap changing transformer* yang terpasang di sistem. Setiap nilai tap transformator akan dimodelkan ke dalam bentuk gen, yang tersusun *n* bit biner, sedangkan kromosom tersusun atas gen-gen yang mewakili setiap parameter. Jadi panjang kromosom dapat dihitung dengan persamaan (6.1).

$$L_{chrom} = m * n \text{ bit} \dots\dots\dots (6.1)$$



Gambar 6.3 Model kromosom biner

6.2. Mekanisme Evaluasi

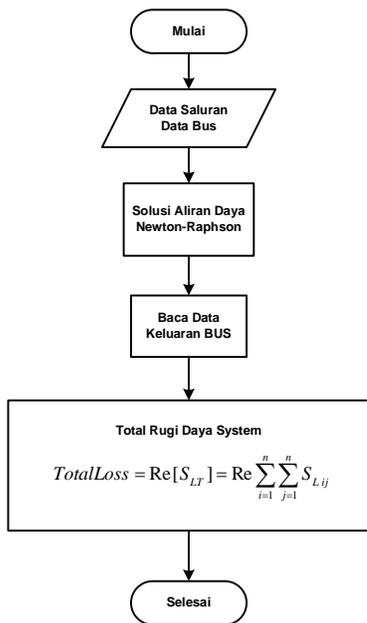
Algoritma genetik menggunakan fungsi matematik yang didesain sedemikian rupa sehingga mampu memberikan penilaian terhadap kualitas individu. Fungsi matematik yang digunakan sebagai fungsi evaluator individu disebut sebagai fungsi evaluasi, fungsi diturunkan dari fungsi objektif permasalahan yang akan dioptimasi, dalam tugas akhir fungsi objektif adalah persamaan (5.1).

Fungsi lain yang digunakan dalam algoritma genetik adalah fungsi fitness. Fungsi fitness digunakan untuk memberikan kualitas spesifik pada suatu individu dalam suatu besaran tertentu. Fungsi ini diturunkan dari fungsi evaluasi dan fungsi pinalti. Fungsi pinalti digunakan untuk mengetahui penyimpangan parameter-parameter optimal terhadap nilai marginal dari parameter tersebut. Persamaan (5.2) merupakan fungsi fitness. Nilai yang dihasilkan dari fungsi ini disebut nilai fitness, nilai ini lebih signifikan

MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

dibandingkan nilai yang dihasilkan dari fungsi objektif karena nilai ini sudah melibatkan nilai-nilai pelanggaran terhadap konstrain yang digunakan. Oleh karena itu nilai fitness digunakan dalam algoritma genetik sebagai referensi pencarian individu terbaik.

Prosedur yang digunakan untuk mengevaluasi dapat digambarkan dalam gambar 6.4.



Gambar 6.4. Diagram alir mekanisme evaluasi

7. Hasil Komputasi

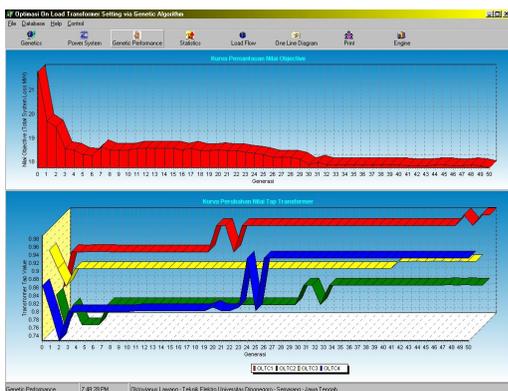
7.1. Skenario Pengujian Berdasarkan Variasi Nilai Pc

Skenario-skenario pengujian berdasarkan variasi probabilitas rekombinasi memiliki data-data parameter seperti berikut :

- Jumlah individu per generasi (N<sub>IND</sub>) : 30
- Generasi maksimum (MAXGEN) : 50
- Panjang kromosom (L<sub>chrom</sub>) : 80
- Generation gap (GGAP) : 0,9
- Probabilitas mutasi (P<sub>m</sub>) : 0,001
- Probabilitas rekombinasi (P<sub>c</sub>) : divariasikan ke dalam tiga nilai berbeda.

A. Skenario Pengujian # 1, Pc = 0,50

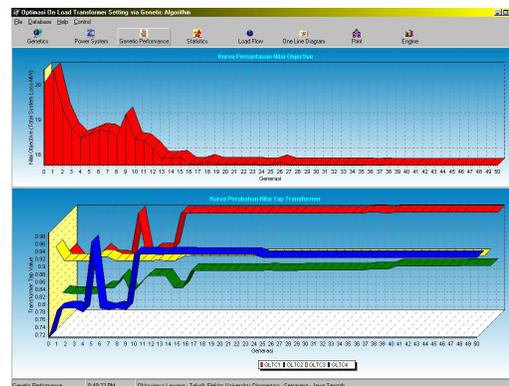
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.1 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 1

B. Skenario Pengujian # 2, Pc = 0,85

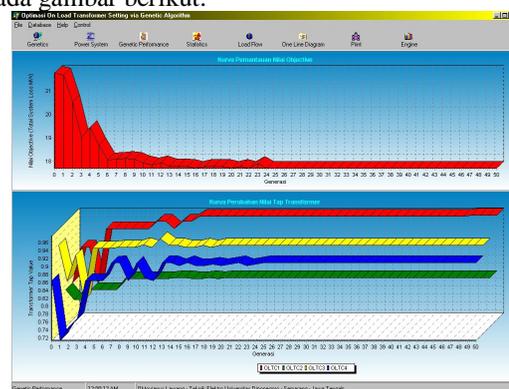
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.2 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 2

C. Skenario Pengujian # 3, Pc = 1,0

Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.3 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 3

Hasil-hasil pengujian diatas disusun dalam tabel 7.1 berikut ini.

Tabel 7.1 Hasil pengujian berdasarkan variasi Pc

	LOSSES (MW)	OLTC 1 (p.u)	OLTC 2 (p.u)	OLTC 3 (p.u)	OLTC 4 (p.u)
Skenario # 1, Pc = 0,50	17.750	0.988	0.831	0.907	0.933
Skenario # 2, Pc = 0,85	17.695	0.989	0.866	0.909	0.924
Skenario # 3, Pc = 1,0	17.703	0.976	0.837	0.936	0.910

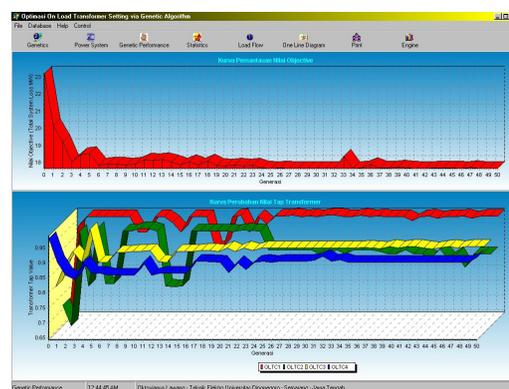
7.2. Skenario Pengujian Berdasarkan Variasi Nilai Pm

Skenario-skenario pengujian berdasarkan variasi probabilitas mutasi memiliki data-data parameter seperti berikut :

- Jumlah individu per generasi (N<sub>IND</sub>) : 30
- Generasi maksimum (MAXGEN) : 50
- Panjang kromosom (L<sub>chrom</sub>) : 80
- Generation gap (GGAP) : 0,9
- Probabilitas rekombinasi (P<sub>c</sub>) : 0,85
- Probabilitas mutasi (P<sub>m</sub>) : divariasikan ke dalam tiga nilai berbeda.

A. Skenario Pengujian # 4, Pm = 0,005

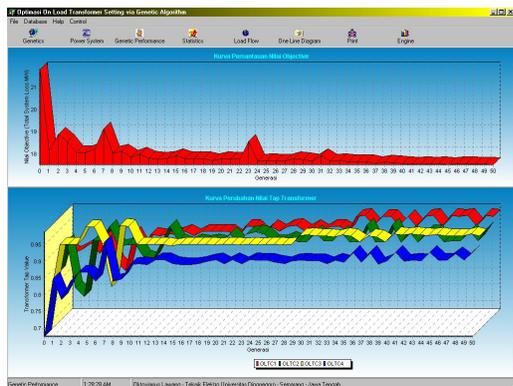
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.4 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 4

**B. Skenario Pengujian # 5,  $P_m = 0,008$**

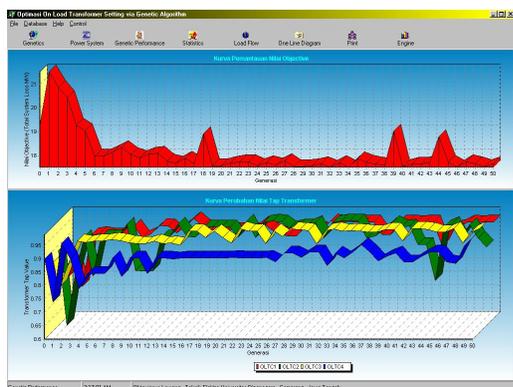
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.5 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 5

**C. Skenario Pengujian # 6,  $P_m = 0,02$**

Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.6 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 6

Hasil-hasil pengujian diatas disusun dalam tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 7.2 Hasil pengujian berdasarkan variasi  $P_m$

	LOSSES (MW)	OLTC 1 (p.u)	OLTC 2 (p.u)	OLTC 3 (p.u)	OLTC 4 (p.u)
Skenario # 4, $P_m = 0,005$	17.650	0.986	0.884	0.931	0.918
Skenario # 5, $P_m = 0,008$	17.515	0.973	0.956	0.956	0.928
Skenario # 6, $P_m = 0,02$	17.512	0.957	0.985	0.980	0.926

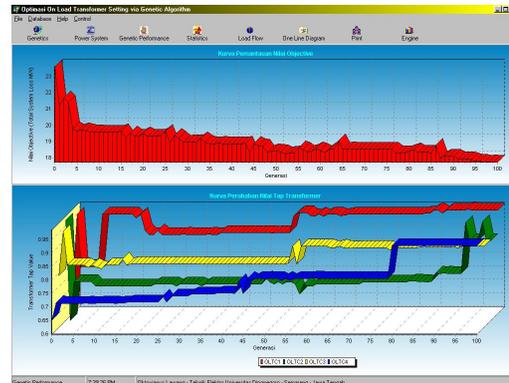
**7.3. Skenario Pengujian Berdasarkan Variasi Jumlah Individu per Populasi**

Skenario-skenario pengujian berdasarkan variasi jumlah individu per populasi memiliki data-data parameter seperti berikut :

- Jumlah individu per generasi ( $N_{IND}$ ): divariasikan ke dalam tiga nilai berbeda.
- Generasi maksimum (MAXGEN) : 100
- Panjang kromosom ( $L_{chrom}$ ) : 80
- Generation gap (GGAP) : 0,9
- Probabilitas rekombinasi ( $P_c$ ) : 0,85
- Probabilitas mutasi ( $P_m$ ) : 0.008

**A. Skenario Pengujian # 7,  $N_{IND} = 10$**

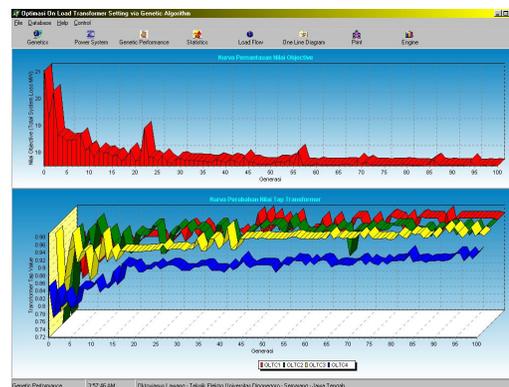
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.7 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 7

**B. Skenario Pengujian # 8,  $N_{IND} = 40$**

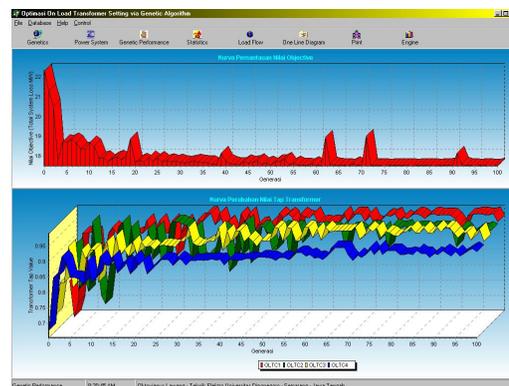
Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.8 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 8

**C. Skenario Pengujian # 9,  $N_{IND} = 75$**

Unjuk kerja algoritma genetik dan perubahan nilai tap changing transformator yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 7.9 Unjuk Kerja Algoritma Genetik Skenario # 9

Hasil-hasil pengujian diatas disusun dalam tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 7.3 Hasil pengujian berdasarkan variasi  $N_{IND}$

	LOSSES (MW)	OLTC 1 (p.u)	OLTC 2 (p.u)	OLTC 3 (p.u)	OLTC 4 (p.u)
Skenario # 7, $N_{IND} = 10$	17.720	0.982	0.896	0.901	0.929
Skenario # 8, $N_{IND} = 40$	17.501	0.976	0.974	0.973	0.937
Skenario # 9, $N_{IND} = 75$	17.493	0.989	0.960	0.987	0.943

Solusi akhir analisa aliran daya optimal terhadap perubahan nilai setting tap changing transformator akan dibandingkan dengan hasil analisa Prof. Hadi Saadat [1] pada sistem yang sama diperoleh hasil rugi-rugi daya sebesar 17.599 MW. Hasil terbaik implementasi algoritma genetik diperoleh pada skenario pengujian # 9 yaitu dengan rugi-rugi daya sebesar 17.493 MW, atau 0.106 MW lebih rendah.

**8. PENUTUP****8.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian implementasi algoritma genetik sebagai metode alternatif penyelesaian masalah aliran daya optimal dengan objektif permasalahan meminimalkan rugi-rugi daya transmisi di sistem tenaga listrik melalui mekanisme regulasi aliran daya reaktif menggunakan *on load tap changing transformer* dapat disimpulkan sebagai berikut :

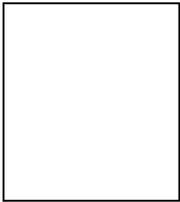
1. Solusi akhir yang dihasilkan melalui mekanisme algoritma genetik mampu menghasilkan rugi-rugi daya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan [1]. Hasil dari mekanisme algoritma genetik sebesar 17,493 MW sedangkan dari [1] di peroleh 17,599 MW atau lebih rendah sebesar 0,106 MW.
2. Penentuan nilai-nilai parameter algoritma genetik sangat menentukan kualitas akhir solusi yang dihasilkan, terbukti melalui sembilan skenario pengujian unjuk kerja algoritma genetik mengalami perubahan yang signifikan.
3. Pengaruh parameter kontrol algoritma genetik terhadap solusi optimal tidak dapat dimodelkan secara matematis karena hal ini merupakan proses stokastik dan hanya bisa dilakukan secara *trial and error*. Dari proses trial and error performansi algoritma genetik terbaik untuk nilai probabilitas rekombinasi  $P_C = 0,85$ , probabilitas mutasi  $P_m = 0.008$  dan jumlah individu per populasi  $N_{NIND} = 75$ ; yaitu dengan rugi-rugi daya sebesar 17,493 MW.
4. Metode optimasi algoritma genetik sangat baik diimplementasikan dalam proses optimasi suatu permasalahan yang bersifat *non-convex* dan *large-scale* karena proses pencarian solusi optimal tidak bersifat parameteristik tetapi melalui suatu bentuk lain yang merupakan pengkodean dari parameter tersebut.

**8.2. SARAN**

1. Model sistem yang diujikan dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan lokasi *on load tap changing transformer* yang optimal.
2. Regulasi daya reaktif tidak terbatas pada pengaturan tap transformator, tetapi dapat dilakukan dengan menggunakan kapasitor, reaktor maupun pengaturan arus eksitasi generator. Model algoritma genetik yang digunakan dalam penelitian ini dapat diimplementasikan langsung untuk peralatan-peralatan tersebut tanpa banyak mengalami perubahan.

- [1] Hadi Sadaat, *Power System Analysis*, McGraw-Hill Company, Singapore, 1999.
- [2] Sulasno, Ir., *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Satya Wacana, Semarang, 1993.
- [3] Djiteng Marsudi, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta, 1990.
- [4] Wood, Allen J., Wollenberg, Bruce F., *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley & Sons, Singapore, 1984.
- [5] Bergen, Arthur R., Vijay Vittal, *Power Systems Analysis 2<sup>nd</sup> Edition*, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [6] Stevenson, W. D., Kamal Idris, Ir., *Analisa Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat*, Penerbit Erlangga, Jakarta 1996.
- [7] Gonen, T., *Modern Power System Analysis*, John Wiley & Sons, Inc, 1988.
- [8] Nagrath, I.J., Kothari, D.P., *Modern Power System Analysis*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1980.
- [9] Flatabe, N., Foosnas, J.A., Berntsen, T.O., *Transformer Tap Setting in Optimal Load Flow*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 6, June 1985, pp. 1356-1362.
- [10] Mamandur, K.R.C and Chenoweth, R.D., *Optimal Control of Reactive Power Flow for Improvements in Voltage Profiles and for Real Power Loss Minimization*, IEEE Transactions PAS Vol. 100, 1981, pp. 3185-3193.
- [11] Stadlin, W.O. and Fletcher, D. L., *Voltage versus Reactive Current Model for Dispatch and Control*, IEEE Transactions PAS Vol. 101, 1982, pp. 3751-3758.
- [12] Dommel, H.W. and Tinney, W.F., *Optimal Power Flow Solutions*, IEEE Transactions PAS Vol. 87, 1968, pp. 1866-1876.
- [13] Franklin, A.C., Franklin, J.S.C., *The J&P Transformer Book*, Butterworth-Heinemann Ltd, 1983.
- [14] Gonen, T., *Electric Power Transmission System Engineering : Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Singapore, 1988.
- [15] Golberg, David, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company. Inc, 1989.
- [16] Davis, Lawrence ED, *Hand Book of Genetic Algorithm*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.
- [17] Mitsuo Gen, Runwei Cheng, *Genetic Algorithms & Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1997.
- [18] ....., *Genetic Server and Genetic Library*, [www.neurodimension.com](http://www.neurodimension.com)
- [19] Chipperfield, A., Fleming, P., Pohlheim, H., Fonseca, C., *Genetic Algorithm Toolbox for Use With MATLAB, Version 1.2 User's Guide*, Department of Automatic Control and Systems Engineering, University of Sheffield.
- [20] Dhar, R.N., *Computer Aided Power System Operation & Analysis*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1984.

- [21] Stagg and El. Abiad,. *Computer Methods in Power System Analysis*
- [22] Hanselman, D., Littlefield, B., Jozep Edyanto, *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2001.
- [23] Pranata, A., *Pemrograman Borland Delphi Edisi 3*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2000.
- [24] Pranata, A., *Algoritma dan Pemrograman*, J & J Learning Yogyakarta, 2000.



**Oktovianus Lawang**, Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Ekstensi Universitas Diponegoro (L2F301537) angkatan 2001 dengan konsentrasi Teknik Tenaga Listrik.

Semarang, September 2003

Mengetahui/Mengesahkan  
Pembimbing I

Mengetahui/Mengesahkan  
Pembimbing II

Ir. Nugroho A.D., MT  
NIP 131 598 859

Ir. Tejo Sukmadi, MT  
NIP 131 764 876