

# OPTIMASI *TRANSMISSION EXPANSION PLANNING* BERBASIS ALGORITMA GENETIKA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KAPASITAS BEBAN

Ikrima Alfi<sup>1</sup>, Sarjiya<sup>2</sup>, Oyas Wahyunggoro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains & Teknologi UTY  
Jl. Ring Road Utara Jombor DIY  
ikrima.alfi@gmail.com

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi FT UGM  
Jln. Grafika 2 Yogyakarta

## Abstrak

Tujuan dari *Transmission Expansion Planning* (TEP) adalah menentukan dimana, kapan dan berapa banyak saluran transmisi baru yang harus ditambahkan pada suatu jaringan dengan biaya investasi minimum dan memenuhi kekangan teknis, ekonomis dan keandalan. TEP merupakan permasalahan non-konvek, non linear dan mixed integer yang sangat cocok diselesaikan dengan Algoritma Genetika dibanding dengan metode matematika. Simulasi ini diterapkan pada sistem Garver 6 bus 230 kV dan 400 kV dengan memvariasikan nilai kapasitas beban 30%, 40% dan 50%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk perencanaan jangka panjang penggunaan level tegangan yang tinggi lebih ekonomis. Nilai kapasitas beban mempengaruhi konfigurasi jaringan yang terbentuk, semakin kecil nilai kapasitas beban yang ditetapkan maka jumlah saluran yang harus ditambahkan semakin banyak sehingga biaya investasi semakin tinggi.

Kata kunci: *Static Transmission Expansion Planning*, Algoritma Genetika, Kapasitas Beban.

## Abstract

*Transmission Expansion Planning (TEP) is a basic part of power network planning that determines where, when and how many new transmission lines should be added to the network. Its task is to minimize the network construction and operational cost, while meeting imposed technical, economic and reliability constraints. Genetic Algorithms (GAs) have demonstrated the ability to deal with non-convex, nonlinear, mixed-integer optimization problems, like the TEP problem, better than a number of mathematical methodologies. The simulation is applied to the Garver 6 bus system 230 kV and 400 kV with line loading 30%, 40% and 50%. Simulation results shows the use of a voltage level of 400 kV is more economical than the 230 kV. Value LLmax affect network configuration is formed, the smaller the value specified LLmax the more the number of lines to be added which means greater investment costs.*

Keywords: *Static Transmission Expansion Planning, Genetic Algorithm, line loading.*

## 1. Pendahuluan

Jaringan transmisi adalah penghubungan antar pusat pembangkit dengan pusat beban yang merupakan salah satu elemen yang sangat penting dalam ketenagaan listrik. Dalam pengembangan jaringan transmisi perlu suatu perencanaan (*Transmission Expansion*

*Planning/TEP*) yang baik, sehingga biaya investasi pengembangan jaringan transmisi dapat seminimal mungkin namun tetap memenuhi syarat-syarat teknis, ekonomis dan keandalan.

Kapasitas daya dari suatu jaringan transmisi sangat mempengaruhi waktu operasi (*life time*) dari suatu pengembangan jaringan transmisi. Dengan menentukan nilai kapasitas daya saluran pada saat awal penerapan, diharapkan waktu untuk pengembangan berikutnya tidak terlalu pendek.

Perencanaan pengembangan jaringan transmisi merupakan permasalahan yang menjadi pusat perhatian para peneliti di bidang ketenagaan listrik. Garver (1970) mempelopori penelitian mengenai perencanaan pengembangan jaringan transmisi yang diselesaikan dengan menggunakan metode *linear programming*. Metode optimisasi *TEP* yang digunakan cukup bervariasi mulai dari *Linear Programming/LP* [5], *nonlinear programming* [1] dan *Mix-Integer Non Linear Programming* [2] yang merupakan metode optimisasi matematik. Metode optimisasi matematik membutuhkan waktu komputasi yang lama untuk menghitung permasalahan *TEP* dalam skala besar. Permasalahan *TEP* juga merupakan permasalahan *non-convex*. Penggunaan metode optimisasi matematik sering menghasilkan solusi optimal lokal. Salah satu metode untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan metode *heuristic*.

Metode *heuristic* yang sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *TEP* adalah *Simulated Annealing/SA* [3], *Tabu Search/TS* [9] *Ant Colony Optimization/ACO* [6] dan Algoritma Genetik/AG [4, 8]. AG mempunyai sejumlah nilai awal (*initial point*) yang disebut dengan populasi, sehingga AG dapat memberikan banyak pilihan solusi.

Fungsi obyektif dari *TEP* konvensional hanya meminimisasi biaya investasi, namun beberapa peneliti menambahkan beberapa parameter yang berbeda, diantaranya adalah H. Shayeghi et al., 2009 [4] yang menambahkan efek dari jumlah berkas saluran. Dengan menambahkan jumlah berkas, perencanaan semakin detail. Pengetesan penelitian ini diaplikasikan pada *Garver's 6-bus system*. M. Mahdavi et al, 2011 [8] menambahkan evaluasi efek pertumbuhan beban. Pertumbuhan beban mempunyai efek pada rugi-rugi jaringan, sehingga perhitungan dari rugi-rugi daya lebih presisi. Perhitungan rugi-rugi daya ini dimaksudkan untuk meminimasi biaya operasional. Pada penelitian ini rugi-rugi saluran dihitung berdasar *DC Load Flow (DCLF)*. Metode di atas diterapkan pada sistem Garver 6 bus.

Penulis mengkaji permasalahan optimisasi *static transmission expansion planning* dengan menggunakan Algoritma Genetika serta mempertimbangkan kapasitas daya saluran. Obyek pada penelitian ini adalah sistem Garver 6 bus, dengan mengambil level tegangan 230 kV dan 400 kV dan memvariasikan nilai kapasitas beban saluran. Jangka waktu perencanaan yang digunakan adalah *long-term*. Pada perencanaan *long-term* biasanya model jaringan yang digunakan adalah DC model, namun untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, penulis menggunakan AC model. Perhitungan AC power flow menggunakan program bantu MatPower dan optimasi *TEP* dengan Algoritma Genetik menggunakan perangkat lunak MATLAB.

## 2. Sistem

### 2.1 *Transmission Expansion Planning (TEP)*

Tujuan dari *Transmission Expansion Planning* adalah menentukan: dimana (*where*), kapan (*when*) dan berapa banyak (*howmany*) saluran transmisi baru yang harus ditambahkan ke dalam jaringan dengan biaya investasi minimum dan memenuhi kendala-kendala teknis, ekonomi dan keandalan [11].

*TEP* dapat diklasifikasikan dari berbagai sudut pandang. Berdasar tahap perencanaan terdapat dua tipe *TEP*:

1. Static Transmission Expansion Planning (STEP)
2. Dynamic Transmission Expansion Planning (DTEP)

STEP menentukan dimana (*where*) dan berapa banyak (*how many*) saluran transmisi baru harus ditambahkan ke jaringan selama masa perencanaan tertentu. Jika perencanaan dibagi menjadi beberapa tahap maka disebut sebagai *dynamic transmission expansion planning* (DTEP) dan DTEP menentukan kapan (*when*) saluran baru harus ditambahkan[6].

#### A. Fungsi Obyektif TEP

Fungsi obyektif TEP adalah meminimasi biaya investasi, hal ini dapat ditulis sebagai:

$$C_T = \sum_{i=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NB} CL_{ij} n_{ij}$$

$C_T$  : Total biaya pengembangan jaringan transmisi

$CL_{ij}$  : Biaya konstruksi saluran pada cabang i-j

$n_{ij}$  : jumlah saluran yang ditambahkan pada cabang i-j

NB : total cabang

#### B. Kekangan TEP

$$P(V, \theta, n) - P_G + P_D = 0$$

$$Q(V, \theta, n) - Q_G + Q_D = 0$$

$$P_g^{min} \leq P_g \leq P_g^{max}$$

$$Q_g^{min} \leq Q_g \leq Q_g^{max}$$

$$V^{min} \leq V \leq V^{max}$$

$$(n_{ij} + n_{ij}^0) S^{from} \leq (n_{ij} + n_{ij}^0) S^{max}$$

$$(n_{ij} + n_{ij}^0) S^{to} \leq (n_{ij} + n_{ij}^0) S^{max}$$

$$0 \leq n_{ij} \leq n_{ij}^{max}$$

$$Line\_Loading \leq LL_{max}$$

Dimana:

$P_G$  : Daya aktif pembangkit

$Q_G$  : Daya reaktif pembangkit

$P_D$  : Daya aktif beban

$Q_D$  : Daya reaktif beban

$n_{ij}^0$  : jumlah saluran pada awal sistem

$n_{ij}$  : jumlah saluran yang ditambahkan

$n_{ij}^{max}$  : jumlah maksimum saluran yang dapat ditambahkan pada cabang i-j

$LL_{max}$  : Kapasitas beban maksimum

Persamaan untuk  $P(V, \theta, n)$  dan  $Q(V, \theta, n)$  adalah:

$$P_i(V, \theta, n) = V_i \sum_{j \in N} V_j [G_{ij}(n) \cos \theta_{ij} + B_{ij}(n) \sin \theta_{ij}]$$

$$Q_i(V, \theta, n) = V_i \sum_{j \in N} V_j [G_{ij}(n) \sin \theta_{ij} - B_{ij}(n) \cos \theta_{ij}]$$

dengan:

$G_{ij}$  : Konduktans pada cabang i-j

$B_{ij}$  : susceptans pada cabang i-j

$N$  : total jumlah bus pada sistem

$\theta_i, \theta_j$  : sudut fase pada terminal bus i dan j

$P_{ij}^{max}$  : daya maksimum yang mengalir pada cabang i-j

$g^{max}$  : output daya aktif maksimum yang dibangkitkan pada bus k

Elemen-elemen matriks admitans bus (G dan B):

$$G = \begin{cases} G_{ij}(n) = -(n_{ij}g_{ij} + n_{ij}^0g_{ij}^0) \\ G_{ii}(n) = \sum_{j \in \Omega_i} (n_{ij}g_{ij} + n_{ij}^0g_{ij}^0) \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} B_{ij}(n) = -(n_{ij}b_{ij} + n_{ij}^0b_{ij}^0) \\ B_{ii}(n) = b_i^{sh} + \sum_{j \in \Omega_i} (n_{ij}b_{ij} + b_{ij}^{sh}) + n_{ij}^0(b_{ij}^0 + (b_{ij}^{sh})^0) \end{cases}$$

$\Omega_i$  : semua bus yang terhubung langsung dengan bus i

Persamaan untuk vector  $S^{from}$  dan  $S^{to}$  adalah:

$$S_{ij}^{from} = \sqrt{(P_{ij}^{from})^2 + (Q_{ij}^{from})^2}$$

$$P_{ij}^{from} = V_i^2 g_{ij} - V_i V_j (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_{ij}^{from} = -V_i^2 (b_{ij}^{sh} + b_{ij}) - V_i V_j (g_{ij} \sin \theta_{ij} - b_{ij} \cos \theta_{ij})$$

Dan

$$S_{ij}^{to} = \sqrt{(P_{ij}^{to})^2 + (Q_{ij}^{to})^2}$$

$$P_{ij}^{to} = V_j^2 g_{ij} - V_i V_j (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_{ij}^{to} = -V_j^2 (b_{ij}^{sh} + b_{ij}) + V_i V_j (g_{ij} \sin \theta_{ij} + b_{ij} \cos \theta_{ij})$$

## 2.2 Algoritma Genetik

Algoritma Genetika adalah algoritma komputasi untuk masalah optimasi yang terinspirasi oleh teori evolusi untuk mencari solusi suatu permasalahan. Terdapat banyak sekali variasi pada Algoritma Genetika, salah satunya adalah Algoritma Genetika untuk masalah optimasi kombinasi, yaitu mendapatkan nilai solusi yang optimal terhadap suatu masalah yang memiliki banyak kemungkinan solusi [14].

Ada beberapa komponen algoritma genetika dalam pembuatan program diantaranya yaitu:

### A. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi merupakan langkah awal dalam Algoritma Genetik. Populasi dalam penelitian ini dilambangkan dengan bilangan antara 0 dan 9 yang disebut sebagai pengkodean *decimal*, yang tersusun atas kolom dan baris sehingga membentuk suatu matriks berisi bilangan antara 0 dan 9. Pada penelitian ini ditetapkan nilai gen antara 0 sampai 4 yang merupakan nilai maksimal jumlah saluran pada suatu cabang. Pada satu deret baris matriks

tersusun atas beberapa kolom. Satu deret baris matriks ini pada AG dikenal dengan istilah kromosom sedangkan jumlah kolom tersebut dikenal dengan istilah jumlah gen. Jumlah gen pada penelitian ini sama dengan jumlah cabang pada jaringan transmisi.

#### B. Skema Pengkodean

Terdapat tiga skema paling umum yang digunakan dalam pengkodean, yaitu:

- *Real-number encoding*. Pada skema ini, nilai gen berada pada interval  $[0,R]$ , dimana R adalah bilangan real positif dan biasanya  $R = 1$ .
- *Decimal encoding*. Setiap gen bisa bernilai salah satu bilangan bulat dalam interval  $[0,9]$ .
- *Binary encoding*. Setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1.

Ukuran kromosom sama dengan jumlah cabang. Dalam penelitian ini terdapat 9 cabang. Masing-masing gen mewakili jumlah saluran pada suatu cabang.

|           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1         | 1         | 4         | 2         | 2         | 0         | 1         | 1         | 3         |
| $n_{1-2}$ | $n_{1-4}$ | $n_{1-5}$ | $n_{2-3}$ | $n_{2-4}$ | $n_{2-6}$ | $n_{3-5}$ | $n_{3-6}$ | $n_{4-6}$ |

Gambar 1. Struktur kromosom AG.

#### C. Nilai Fitness

Suatu individu atau kromosom dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performasinya. Fungsi yang digunakan untuk mengukur nilai kecocokan atau derajat optimalitas suatu kromosom disebut dengan *fitness function*. Nilai yang dihasilkan dari fungsi tersebut menandakan seberapa optimal solusi yang diperoleh.

Dalam kasus minimisasi nilai fitness adalah kebalikan dari nilai fungsi tujuan. Fungsi tujuan dari tesis ini adalah minimisasi biaya investasi dan rugi-rugi daya. Pada tesis ini ditambahkan *penalty function* pada fungsi fitness. *Penalty function* adalah fungsi dari pelanggaran *constraints*.

$$f = \sum_{i=1}^{NB} \sum_{j=1}^{NB} CL_{ij} n_{ij}$$

$$Fitness = \frac{1}{f + penalty\ function}$$

dengan:

$$Penalty\ function = \gamma \sum_{j=1}^{\Omega} f(Line\ Loading)$$

Komponen fungsi penalty merupakan total dari pelanggaran batasan kapasitas beban. Nilai penalty dinyatakan dengan persamaan:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x_{min} \leq x \leq x_{max} \\ (x - x_{max}) & \text{if } x > x_{max} \\ (x_{min} - x) & \text{if } x < x_{min} \end{cases}$$

#### D. Reproduksi dengan *Roulette Wheel*

Reproduksi adalah proses penyalinan string atau kromosom sesuai dengan nilai *fitness*. Setiap kromosom dalam populasi akan diseleksi berdasar nilai *fitness*. Probabilitas terpilihnya satu kromosom untuk bereproduksi adalah sebesar nilai *fitness* tersebut dibagi

dengan jumlah total nilai *fitness* seluruh kromosom dalam populasi. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_i = \frac{f_i}{\sum f_i}$$

dengan:

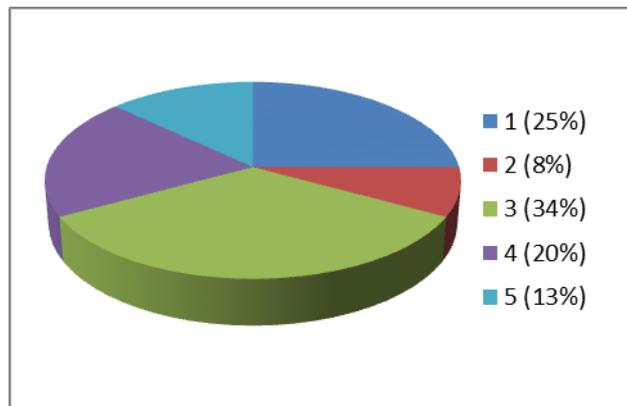
$P_i$  = peluang kromosom  $i$  terpilih

$f_i$  = nilai *fitness* kromosom  $i$

$\sum f_i$  = jumlah nilai *fitness* seluruh kromosom  $i$

Kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi dibandingkan dengan kromosom yang lain akan direproduksi lebih banyak. Jumlah reproduksi untuk satu kromosom sebanding dengan nilai *fitness* tersebut. Kromosom dengan nilai *fitness* yang lebih besar akan mempunyai kemungkinan direproduksi lebih banyak.

Salah satu cara untuk mengimplentasikan proses reproduksi pada genetik tiruan (*artificial*) adalah dengan menggunakan roda rolet (*roulette wheel*), seperti terlihat pada gambar di bawah:



Gambar 2. Grafik pembagian nilai *fitness*

Piringan ini dibagi menjadi sektor-sektor dengan jumlah yang sama sesuai ukuran populasi. Besar masing-masing sektor berbeda tergantung dari nilai *fitness* kromosom yang menempati sektor tersebut. Kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi menempati sektor yang lebih besar pada piringan rolet.

Calon-calon anggota populasi untuk generasi berikutnya dipilih dengan cara piringan rolet diputar sebanyak jumlah kromosom yang akan ditempatkan pada generasi berikutnya. Apabila pada suatu putaran piringan rolet berhenti pada satu sektor, maka kromosom yang menempati sektor tersebut dipilih sebagai calon anggota populasi berikutnya. Dengan demikian, karena probabilitas dari berhentinya piringan rolet pada suatu sektor sebanding dengan besarnya sektor, maka kromosom dengan nilai *fitness* yang tinggi mempunyai kemungkinan untuk dipilih pada generasi berikutnya.

E. Pindah Silang (*crossover*)

Proses pindah silang dilakukan dengan memisahkan suatu kromosom menjadi dua bagian dan selanjutnya salah satu bagian ditukar dengan salah satu bagian dari kromosom yang lain yang telah dipisahkan dengan cara yang sama. Proses ini dikenal dengan operator pindah silang (*crossover*) satu titik.

F. Mutasi

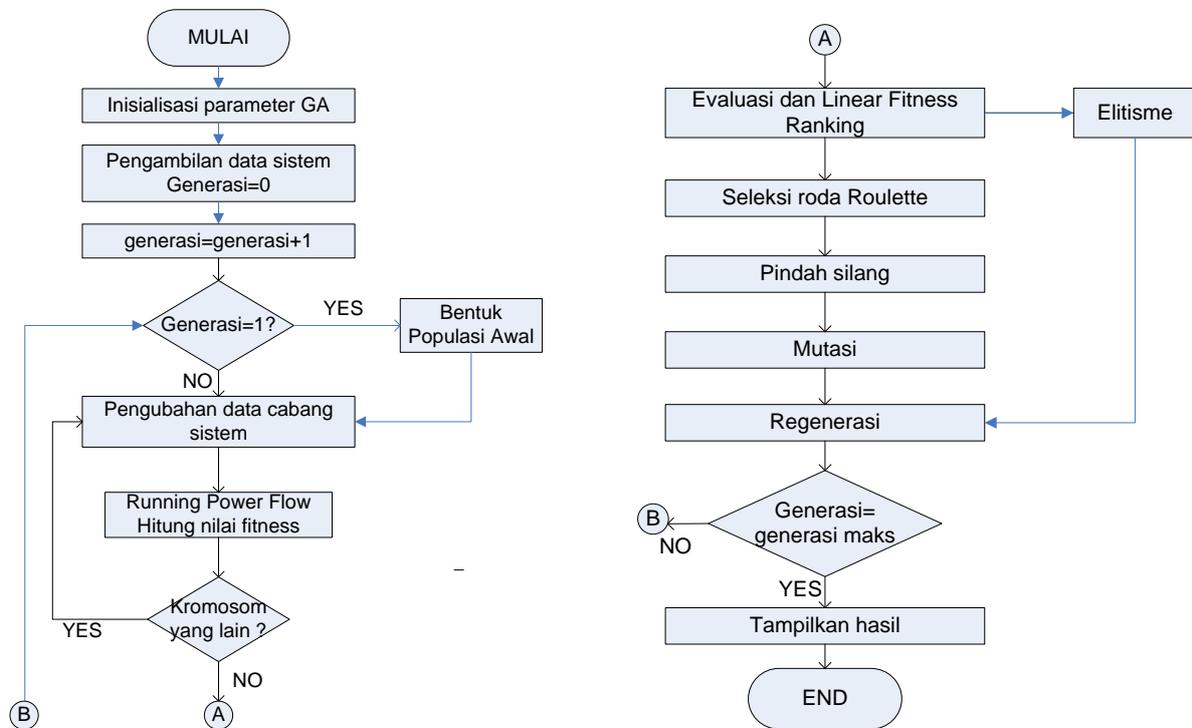
Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari suatu kromosom. Mutasi ini berperan untuk menggantikan kromosom yang hilang dari populasi akibat seleksi yang memungkinkan munculnya kembali kromosom yang tidak muncul pada inisialisasi populasi. Untuk semua kromosom yang ada, jika bilangan acak yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi  $P_{mut}$  yang ditentukan maka kromosom tersebut di ubah menjadi nilai kebalikannya.

#### G. *Elitisme*

Karena seleksi dilakukan secara random, maka tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Walaupun individu bernilai fitness tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai fitness turun) karena proses pindah silang. Untuk menjaga individu tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Prosedur ini dikenal sebagai elitism.

### 2.3 Prinsip Kerja Sistem

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

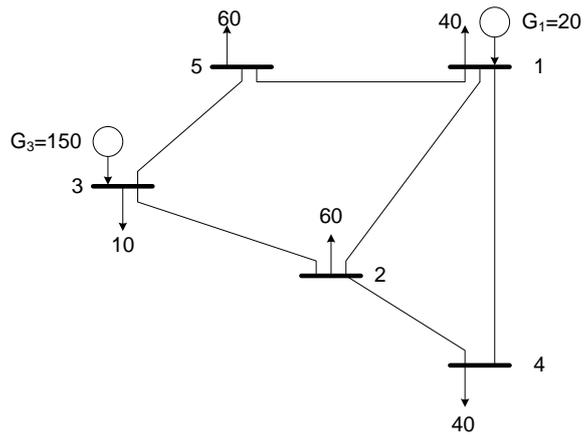


Gambar 3. Diagram alir dari TEP dengan menggunakan Algoritma Genetika

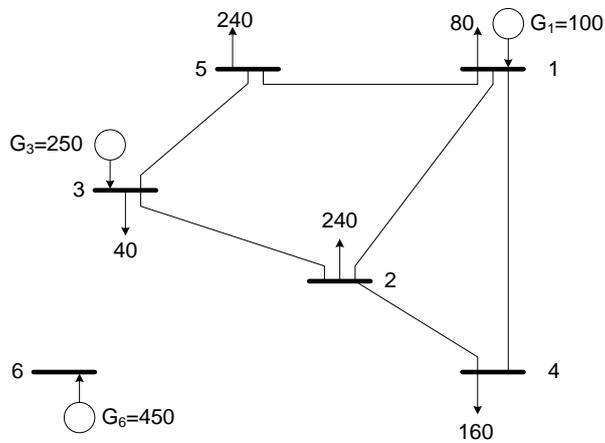
Perencanaan pengembangan jaringan transmisi tanpa mempertimbangkan kapasitas beban, dapat menyebabkan periode pengembangan transmisi berikutnya yang terlalu singkat. Pada penelitian ini nilai kapasitas beban saluran divariasikan dari 30%, 40% dan 50% masing-masing pada level tegangan 230 kV dan 400 kV.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Implementasi optimasi *Transmission Expansion Planning* dengan menggunakan Algoritma Genetik dengan mempertimbangkan kapasitas beban diterapkan pada sistem Garver 6 bus 230 kV dan 400 kV.



Gambar 4. Jaringan Awal Sistem Garver 6 Bus

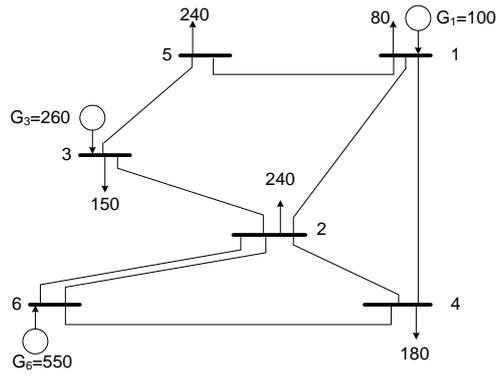


Gambar 5. Jaringan awal sistem garver 6 bus dengan rencana beban dan pembangkit

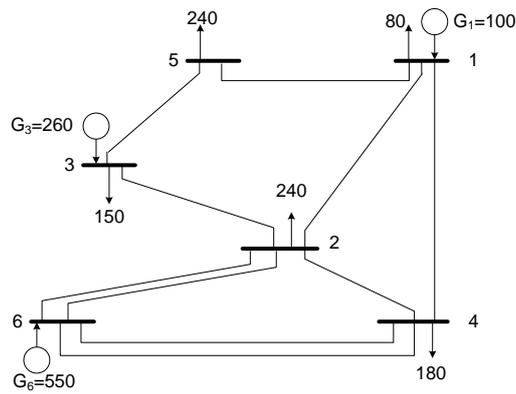
A. Hasil Simulasi TEP Sistem Garver 6 Bus 230 kV

Tabel 1. Jumlah saluran hasil simulasi skenario 1 Sistem Garver 230 kV

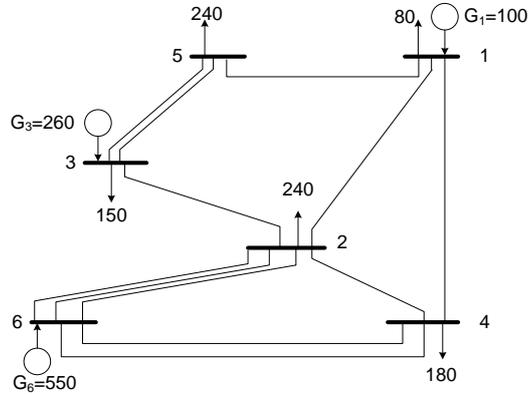
| Cabang | $LL_{max}=50\%$ | $LL_{max}=40\%$ | $LL_{max}=30\%$ |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
|        | $n_{ij}$        | $n_{ij}$        | $n_{ij}$        |
| 1 – 2  | 1               | 1               | 1               |
| 1 – 4  | 1               | 1               | 1               |
| 1 – 5  | 1               | 1               | 1               |
| 2 – 3  | 1               | 1               | 1               |
| 2 – 4  | 1               | 1               | 1               |
| 2 – 6  | 2               | 2               | 3               |
| 3 – 5  | 1               | 1               | 2               |
| 3 – 6  | 0               | 0               | 0               |
| 4 – 6  | 1               | 2               | 2               |



(a)  $LL_{max}=50\%$



(b)  $LL_{max}=40\%$



(c)  $LL_{max}=30\%$

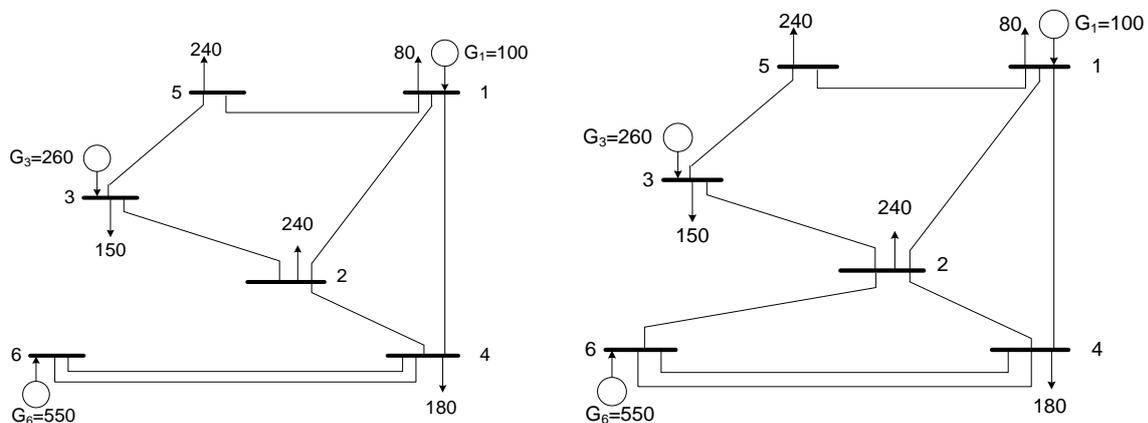
Gambar 6. Konfigurasi jaringan hasil simulasi sistem Garver 230 kV  
Tabel 2. Penambahan saluran dan biaya investasi sistem Garver 230 kV

| $LL_{max}=50\%$ |                                 | $LL_{max}=40\%$ |                                 | $LL_{max}=30\%$ |                                 |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan | Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan | Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan |
| 2 - 6           | 2                               | 2 - 6           | 2                               | 3 - 5           | 1                               |
| 4 - 6           | 1                               | 4 - 6           | 2                               | 2 - 6           | 2                               |
|                 |                                 |                 |                                 | 4 - 6           | 2                               |
| Biaya investasi | 17,488 M US\$                   | Biaya investasi | 20,113 M US\$                   | Biaya investasi | 32,681 M US\$                   |

B. Hasil Simulasi TEP Sistem Garver 400 kV

Tabel 3. Jumlah saluran hasil simulasi sistem Garver 400 kV

| Cabang | LL=50%   | LL=40%   | LL=30%   |
|--------|----------|----------|----------|
|        | $n_{ij}$ | $n_{ij}$ | $n_{ij}$ |
| 1 - 2  | 1        | 1        | 1        |
| 1 - 4  | 1        | 1        | 1        |
| 1 - 5  | 1        | 1        | 1        |
| 2 - 3  | 1        | 1        | 1        |
| 2 - 4  | 1        | 1        | 1        |
| 2 - 6  | 0        | 0        | 1        |
| 3 - 5  | 1        | 1        | 1        |
| 3 - 6  | 0        | 0        | 0        |
| 4 - 6  | 2        | 2        | 2        |



(a)  $LL_{max}=50\%$  dan  $LL_{max}=40\%$

(b)  $LL_{max}=30\%$

Gbr. 7 Konfigurasi jaringan hasil simulasi sistem Garver 400 kV

Tabel 4. Penambahan saluran dan biaya investasi sistem Garver 400 kV

| LLmax=50%       |                                 | LLmax=40%       |                                 | LLmax=30%       |                                 |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan | Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan | Cabang          | Jumlah saluran yang ditambahkan |
| 4 - 6           | 2                               | 4 - 6           | 2                               | 2 - 6           | 1                               |
|                 |                                 |                 |                                 | 4 - 6           | 2                               |
| Biaya investasi | 19,778 M US\$                   | Biaya investasi | 19,778 M US\$                   | Biaya investasi | 35,461 M US\$                   |

Dari Tabel 2 dan 4 biaya investasi awal untuk sistem Garver 230 kV lebih besar dibandingkan dengan sistem Garver 400 kV. Hal ini menunjukkan untuk perencanaan jangka panjang level tegangan yang tinggi lebih ekonomis dibanding dengan level tegangan yang rendah. Nilai  $LL_{max}$  sangat mempengaruhi konfigurasi yang terbentuk, dan otomatis sangat berpengaruh terhadap biaya investasi. Semakin kecil nilai  $LL_{max}$  yang diterapkan, maka biaya investasi juga semakin besar.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode Algoritma Genetik dengan pengkodean desimal ini dapat bekerja dengan baik untuk menyelesaikan permasalahan *Transmission Expansion Planning* dengan mempertimbangkan kapasitas beban.
2. Pada perencanaan jangka panjang, penggunaan level tegangan 400 kV lebih ekonomis dibanding level tegangan 230 kV.
3. Nilai LLmax mempengaruhi konfigurasi jaringan yang terbentuk, semakin kecil nilai LLmax yang ditetapkan semakin banyak jumlah saluran yang harus ditambahkan yang berarti biaya investasi semakin besar.

#### Daftar Pustaka

- [1] Al Hamouz Zakariya, Al-Faraj Ali, 2002, *Transmission Expansion Planning Using Non Linear Programming*, IEEE.
- [2] Alguacil Natalia, 2003, *Transmission Expansion Planning: A Mixed-Integer LP Approach*, IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, pp. 1070–1077, Aug.
- [3] Braga A.S., Saraiva, 2003, *Transmission Expansion Planning and Long Term Marginal Prices Calculation Using Simulated Annealing*, IEEE Bologna Power Tech Conference.
- [4] Shayegi, M. Mahdavi, 2009, *Studying the Effect of Losses Coefficient of Transmission Expansion Planning Using Decimal Codification Based GA*, International Journal on Technical and Physical Problem of Engineering, Volume 1 no 1 pp58 – 64.
- [5] L.L. Garver, 1970, *Transmission Network Estimation Using Linear Programming*, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. 89, No. 7, pp. 1688-1696.
- [6] Leeprechanon N, Limsakul P, Pothiya S, 2010, *Optimal Transmission Expansion Planning Using Ant Colony Optimization*, Journal of Sustainable Energy & Environment 1 pp.71-76,
- [7] Marsudi Djiteng, 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu.
- [8] M Mahdavi, E. Mahdavi, 2011, *Evaluating The Effect of Load Growth on Network Losses in TNEP Considering Bundle Lines Using DCGA*, International Journal on Technical and Physical Problem of Engineering, Volume 3 no 4 pp. 1 – 9.
- [9] Silva Edson Luiz, Ortiz J., Oliveira Gerson, Binato Silvio, 2001, *Transmission Expansion Planning Under a Tabu Search Approach*, IEEE Trans. Power Syst., vol.16.
- [10] Stevenson, 1982, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga.
- [11] Suyanto, 2005, *Algoritma Genetik dalam MATLAB*, Andi Offset.