

## Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode *Newton-Raphson*

Emmy Hosea, Yusak Tanoto

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra  
e-mail: emmyho@peter.petra.ac.id, tanyusak@petra.ac.id

### Abstrak

Analisa aliran daya dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk menentukan parameter-parameter sistem tenaga listrik. Proses perhitungannya sendiri terkait dengan masalah optimasi sistem. Metode yang telah lama digunakan dalam perhitungan aliran daya adalah metode iterasi *Newton-Raphson*. Penggunaan metode Algoritma Genetika sebagai salah satu metode optimasi mampu memberikan penyelesaian bagi sistem, melalui prosedur penggunaan operator Genetika. Kedua metode ini digunakan dalam simulasi perhitungan sistem sederhana 12 Bus dari Sistem Transmisi Jawa Timur 150 KV. Dari hasil perbandingan dua metode diatas didapatkan untuk metode *Newton-Raphson* memerlukan penggunaan matrik *Jacobian* untuk koreksi tegangan sedangkan pada metode Algoritma Genetika penggunaan matrik *Jacobian* tidak diperlukan. Waktu komputasi pada perhitungan dengan Metode *Newton-Raphson* jauh lebih cepat dibanding pada penggunaan metode Algoritma Genetika.

**Kata kunci:** analisa aliran daya, *newton-raphson*, algoritma genetika.

### Abstract

*Load Flow Analysis in Power System is used to determine the system's parameters itself. The computation process closely related with system's optimization problem. Newton-Raphson method for load flow iteration has been used for long time. Genetic Algorithms method's application as one of optimization methods worked in giving solution for the system, through application procedure on genetic operators in process. Both methods apply in simulation to compute simplified 12 Bus East Java 150 KV. From the comparison of the two methods above we have thatr Jacobian matrix is needed to apply in Newton-Raphson method meanwhile it is not needed in Genetic Algorithms method. The computation time for Newton-Raphson method is quite fast comparing with Genetic Algorithms'.*

**Keywords:** *load flow analysis, newton-raphson, genetic algorithms.*

### 1. Pendahuluan

Semua kegiatan pembangunan sarana fisik pada berbagai sektor menggunakan energi listrik sebagai salah satu infrastruktur penunjang kegiatan. Sistem tenaga listrik yang ada diharapkan merupakan sistem yang handal dan berkualitas tinggi berkaitan dengan suplai energi listriknya.

Untuk mengetahui kondisi teknis sistem kelistrikan dilakukan analisa terhadap komponen sistem tenaga listrik yang meliputi pembangkit, saluran transmisi, dan beban terpasang. Kita dapat menggunakan metode perhitungan aliran daya dalam analisa sistem tenaga untuk menge-

tahui besarnya nilai parameter-parameter di setiap Bus sistem yang meliputi tegangan, daya, arus, dan besarnya sudut fasa. Salah satu metode yang dipakai dalam menyelesaikan perhitungan aliran daya adalah metode *Newton-Raphson*. Metode ini menerapkan Deret *Taylor* untuk mendapatkan turunan persamaan matematika sebagai dasar perhitungan iterasi yang melibatkan penggunaan matrik *Jacobian*.

Sementara itu perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah sampai pada tahap pengintegrasian berbagai cabang ilmu untuk menemukan sesuatu yang baru, yang diharapkan dapat semakin meringankan usaha untuk mendapatkan hasil terbaik. Cara-cara konvensional untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan sistem tenaga listrik, misalnya penggunaan metode *Newton-Raphson* dalam perhitungan aliran daya mulai dicari

---

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 5, nomor 1, Maret 2005.

padanannya dengan memasukkan pemikiran dari ilmu pengetahuan lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan melakukan perhitungan yang lebih mudah untuk dilakukan.

Salah satu metode yang mulai populer untuk digunakan dalam analisa dan penyelesaian masalah sistem tenaga listrik adalah metode Algoritma Genetika yang untuk pertama kali diperkenalkan oleh John Holland [1] Salah satu manfaat penggunaan metode Algoritma Genetika ini adalah kita akan mendapatkan penyelesaian yang optimal untuk suatu permasalahan dari sekumpulan kemungkinan penyelesaian.

## 2. Persamaan Aliran Daya

Dalam analisa aliran daya terdapat Bus-bus yang menyusun sebuah sistem tenaga listrik. Pada Bus ke-*i*, daya kompleks *netto* yang diinjeksikan ke Bus dinyatakan oleh persamaan berikut ini [2].

$$S_i = P_i + jQ_i = (P_{Gi} - P_{Li}) + j(Q_{Gi} - Q_{Li}) \quad (1)$$

Dengan:

G = Generator ( $S_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi}$ )

L = Load ( $S_{Li} = P_{Li} + jQ_{Li}$ )

Secara umum, untuk tiap Bus dari sistem tenaga listrik dengan n Bus berlaku [2]:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n V_k \cdot Y_{ik}$$

atau

$$S_i = V_i \sum_{k=1}^n Y_{ik}^* \cdot V_k^* \quad (2)$$

Untuk *i*, *k* = 1, 2, ..., n

Misalkan suatu sistem Bus terdiri dari lima Bus. Dari persamaan 2, pada saluran transmisi antara Bus ke-2 dan Bus ke-3 berlaku persamaan [2]:

$$\begin{aligned} P_{23} + jQ_{23} &= V_2 I_{23}^* \\ P_{23} + jQ_{23} &= V_2 \left[ \frac{V_2 - V_3}{Z_{23}} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

## 3. Metode Newton-Raphson

Metode *Newton-Raphson* dikembangkan dari Deret *Taylor* dengan mengabaikan derivatif pertama fungsi dengan satu variabel dari persamaan Deret *Taylor* berikut ini [2].

$$\begin{aligned} f(x) &= f(x_0) + \frac{1}{1!} \frac{df(x_0)}{dx} (x - x_0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2f(x_0)}{dx^2} (x - x_0)^2 + \dots \\ &+ \frac{1}{n!} \frac{d^n f(x_0)}{dx^n} (x - x_0)^n = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Jika:  $V_i = |V_i| \angle V_i = |V_i| e^{jq_i}$

$$\mathbf{q}_k = \mathbf{q}_i - \mathbf{q}_k$$

$$Y_{ik} = G_{ik} + jB_{ik}$$

Maka Persamaan 2 menjadi [2]:

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| [G_{ik} \cos(\mathbf{q}_i - \mathbf{q}_k) + B_{ik} \sin(\mathbf{q}_i - \mathbf{q}_k)]$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| [G_{ik} \sin(\mathbf{q}_i - \mathbf{q}_k) + B_{ik} \cos(\mathbf{q}_i - \mathbf{q}_k)]$$

untuk *i*, *k* = 1, 2, 3, ..., n (5)

G = Konduktansi

B = Suseptansi

Y = Admitansi

Daya pada Bus ke-*i* adalah [2]:

$$S_i = V_i \sum_{k=1}^n Y_{ik}^* \cdot V_k^* \quad (6)$$

untuk *i*, *k* = 1, 2, 3, ..., n

Besaran per unit (p.u) didefinisikan sebagai perbandingan harga yang sebenarnya dengan harga dasar (*base value*) dengan persamaan berikut [2]:

$$\text{p.u.} = \frac{\text{Besaran sesungguhnya}}{\text{Besaran Dasar yang Berdimensi Sama}} \quad (7)$$

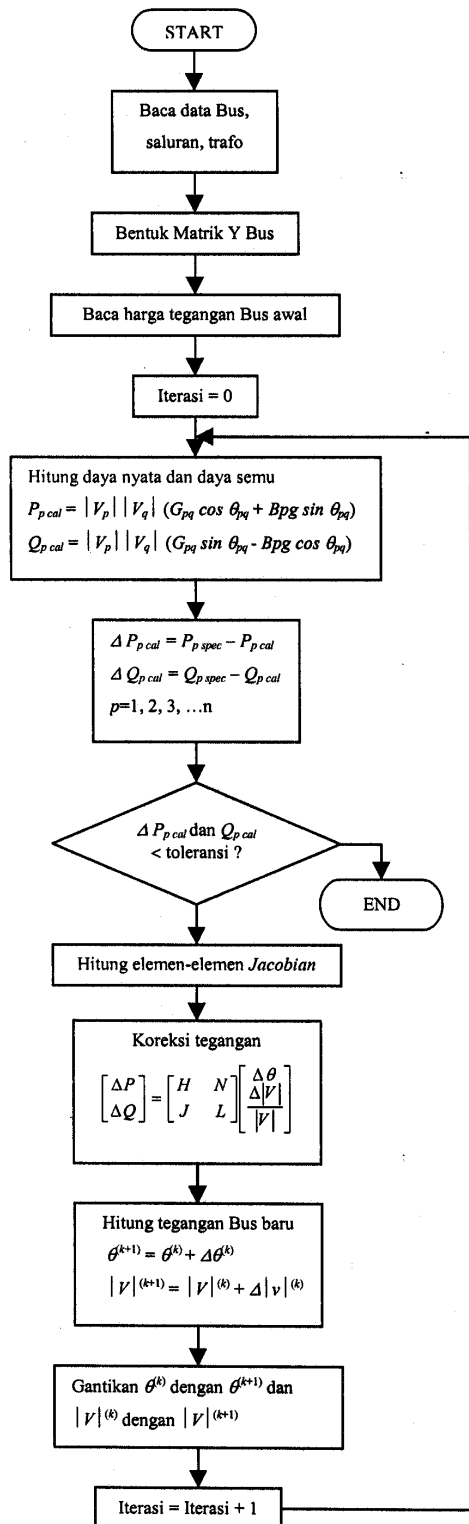
Secara garis besar, metode iteratif *Newton-Raphson* dapat dinyatakan melalui blok diagram berikut ini (Gambar 1).

## 4. Metode Algoritma Genetika

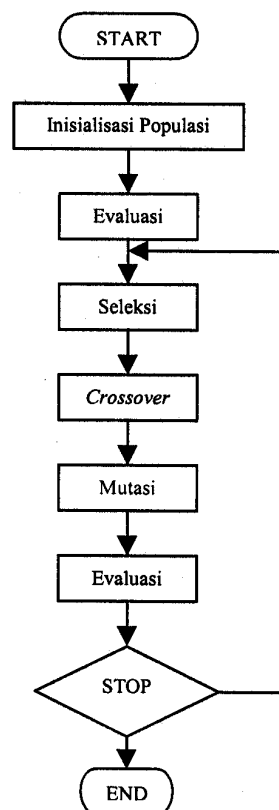
Dalam metode Algoritma Genetika, ada sekumpulan individu (disebut Populasi) untuk suatu permasalahan-dalam hal ini perhitungan aliran daya dinyatakan dalam bentuk bilangan real, yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom tersebut.

Populasi dibentuk dari pembangkitan secara acak dan selanjutnya dipilih melalui prosedur operasi Genetika yang terdiri dari Seleksi, *Crossover*, Mutasi. Hasil dari Mutasi dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* untuk menentukan kromosom mana yang terpilih diikutkan proses perulangan hingga mencapai nilai yang diinginkan sekaligus menghentikan perulangan pada

nilai tertentu pada suatu kriteria berhenti yang telah ditetapkan sebelumnya (dapat berupa suatu nilai tertentu atau pada generasi tertentu). Secara umum metode Algoritma Genetika dapat dinyatakan melalui blok diagram berikut ini (Gambar 2).



Gambar 1. Blok Diagram Metode Newton-Raphson



Gambar 2. Blok Diagram Metode Algoritma Genetika

Dalam penelitian ini urutan langkah penyelesaian perhitungan dengan menggunakan metode Algoritma Genetika adalah sebagai berikut [5]:

1. Inisialisasi Populasi.  
 Kromosom tersusun atas *gen-gen* yang merupakan bilangan kompleks yang dibangkitkan secara acak, merepresentasikan besarnya tegangan kompleks setiap Bus ( $V_n = a_n \pm bi_n$ ,  $n=1, 2, 3, \dots, n$ )
2. Evaluasi Populasi Awal.  
 Kita menghendaki supaya  $P_n$  dan  $Q_n$  mendekati nol (minimasi), sehingga populasi awal yang terbentuk dievaluasi nilainya menggunakan fungsi *fitness* yang didefinisikan sebagai berikut:
 
$$fitness = \sqrt{(\sum \Delta P_n)^2 + (\sum \Delta Q_n)^2}$$

$$n: 1, 2, 3, \dots, \text{jumlah\_bus} \quad (8)$$
3. Seleksi.  
 Proses seleksi adalah proses pemilihan kromosom. Proses seleksi menggunakan metode *Roulette Wheel* [6]. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* besar memiliki probabilitas akumulatif besar pula sehingga mempunyai peluang yang besar untuk terpilih. Pada perhitungan aliran daya, kromosom terpilih adalah yang mempunyai

nilai *fitness* kecil karena perhitungan aliran daya berkaitan dengan minimasi.

4. *Crossover*.

Proses *crossover* menggunakan *arithmetic crossover* yang dikerjakan untuk kondisi bilangan real pada kedua *parent*. Prosedurnya sebagai berikut:

- Bangkitkan bilangan random antara 0 dan 1
- $Offspring1 = (parent1 \times random) + (parent2 \times (1-random))$
- $Offspring2 = (parent1 \times (1-random)) + (parent2 \times random)$

5. Mutasi.

Proses mutasi menggunakan prosedur mutasi dengan arah bebas (*Free Direction Mutation, to mutate chromosome in a free direction*). Sebagai contoh, *parent*  $v = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ , arah mutasi dibangkitkan secara random  $d$ , sehingga *offspring*  $v'$  yang terbentuk ditentukan oleh rumus sebagai berikut:

$$v' = v + M \cdot d \tag{9}$$

Apabila nilai *offspring* yang terbentuk tidak berada pada *range* yang dikehendaki, set  $M$  secara random sebagai bilangan real dalam (0,  $M$ ) sedemikian sampai  $v + M \cdot d$  berada pada *range* yang dikehendaki.

6. Evaluasi Hasil Mutasi.

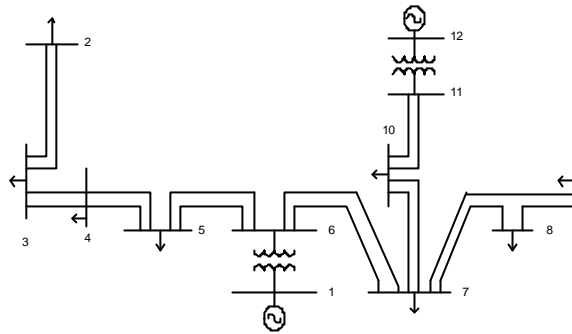
Populasi yang dihasilkan dari mutasi dievaluasi kembali untuk menghitung *fitness* dari masing-masing kromosom.

7. Pembentukan Generasi Baru.

Pembentukan generasi baru dilakukan secara *Steady State* yaitu populasi dibentuk sebanyak  $MaxKromosom$ . Populasi yang terbentuk dari evaluasi hasil mutasi digabungkan dengan populasi generasi sebelumnya. Keuntungan metode *Steady State* adalah kromosom-kromosom dengan nilai *fitness* yang lebih kecil dari generasi sebelumnya tidak akan terbuang. Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap generasi baru. Demikian proses ini diulangi terus sampai tercapai kriteria berhenti yang diinginkan, dalam hal ini sampai dengan *setting* generasi maksimum dalam variabel  $MaxGenerasi$ .

5. Objek Penelitian

Perhitungan aliran daya dilakukan terhadap Sistem Bus sederhana yang terdiri dari 12 Bus yang diambil dari Sistem Transmisi Jawa Timur 150 KV 100 MVA [3] seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Sistem Transmisi 12 Bus yang akan Dianalisa

Tabel 1. Data Bus Sistem Dalam p.u

No. Bus	Asumsi V (p.u)	Pembangkit		Beban	
		P <sub>G</sub> (p.u)	Q <sub>G</sub> (p.u)	P <sub>L</sub> (p.u)	Q <sub>L</sub> (p.u)
1	1.0+0i	0.9	-	0	0
2	1.0+0i	0	0	0.04	0.02
3	1.0+0i	0	0	0.07	0.04
4	1.0+0i	0	0	0.03	0.01
5	1.0+0i	0	0	0.23	0.09
6	1.0+0i	0	0	0	0
7	1.0+0i	0	0	0.4	0.25
8	1.0+0i	0	0	0.35	0.25
9	1.0+0i	0	0	0.45	0.24
10	1.0+0i	0	0	1	0.5
11	1.0+0i	0	0	0	0
12	1.0+0i	0.74	-	0	0

Tabel 2. Data Saluran Dalam p.u

No. Saluran	Jumlah Line	No. Bus		R (p.u)	X (p.u)
		Dari	Ke		
1	2	2	3	0.0219	0.0596
2	2	3	4	0.0206	0.0560
3	2	4	5	0.0186	0.0506
4	2	5	6	0.0019	0.0071
5	2	6	7	0.0056	0.0319
6	1	7	8	0.0013	0.0069
7	1	7	9	0.0027	0.0141
8	2	7	10	0.0062	0.0227
9	1	8	9	0.0018	0.0091
10	2	10	11	0.0040	0.0112

6. Hasil Pengujian Program

Analisa terhadap objek penelitian dilakukan dengan mengadakan pengujian melalui simulasi program.

6.1 Metode *Newton-Raphson*

Perhitungan aliran daya dalam Sistem 12 Bus yang akan dianalisa dengan metode *Newton-Raphson* menggunakan Program *PSA&D Software 2<sup>nd</sup> Ed. Preliminary Version* [4]. Hasil yang didapat dari penggunaan metode *Newton-Raphson* diperoleh setelah melakukan 5 iterasi

dengan nilai  $\epsilon = 0.0000054233$ , waktu komputasi  $\pm 2$  detik. Hasil pengujian yang diperoleh diberikan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Aliran Daya pada Bus dengan Metode Newton-Raphson

No. Bus	Metode Newton-Raphson			
	Magnitude Tegangan	Sudut fasa (derajat)	P (p.u)	Q (p.u)
1	1.0000	0.0000	1.8445	1.2158
2	0.8733	-15.0850	-0.0400	-0.0200
3	0.8745	-15.0120	-0.0700	-0.0400
4	0.8777	-14.8282	-0.0300	-0.0100
5	0.8813	-14.6140	-0.2300	-0.0900
6	0.8823	-14.5284	0.0000	0.0000
7	0.8695	-16.1862	-0.4000	-0.2500
8	0.8664	-16.4081	-0.3500	-0.2500
9	0.8655	-16.4912	-0.4500	-0.2400
10	0.8729	-16.4888	-1.0000	-0.5000
11	0.8799	-16.3048	0.0000	0.0000
12	0.9788	-11.3757	0.7400	1.0000

## 6.2 Metode Algoritma Genetika

Untuk membandingkan hasil yang didapat, pada penelitian ini dibuat program perhitungan aliran daya dengan metode Algoritma Genetika dengan menggunakan *Software* Matlab.

Pengujian program dilakukan dengan mengadakan beberapa kali percobaan dengan melakukan perubahan pada nilai parameternya, yaitu  $P_c$  (*Crossover Probability*),  $P_m$  (*Mutation Probability*), jumlah generasi (*MaxGenerasi*), dan jumlah kromosom (*MaxKromosom*). Tahap pengujian awal dilakukan untuk dua percobaan yang berbeda dengan *setting*  $P_c=1$ ,  $P_m = 0.1$ , *MaxGenerasi* = 100 dan 200, *MaxKromosom* = 400 dan 50, *MaxTolerance* = 0.001 dan 0.005. Hasil yang didapat belum memenuhi kriteria berhenti (nilai *fitness* = 1.1077, lebih besar dari *setting* *MaxTolerance*). Tahap pengujian berikutnya adalah dengan memperbesar nilai parameter *MaxGenerasi* dan memperbesar nilai *MaxTolerance* masing-masing sebesar 600 dan 0.005. Pada tahap pengujian ini kriteria berhenti dapat tercapai. Hasil terbaik yang diperoleh untuk nilai tegangan tiap Bus dan aliran dayanya terdapat pada Tabel 4.

Tabel 5 berikut ini adalah tabel konversi untuk Tabel 4, sehingga dapat lebih mudah dibandingkan dengan Tabel 3, dimana data *output* tegangan dikonversi dalam bentuk fasor.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa data Magnitude Tegangan (dalam bentuk fasor), P, dan Q (dalam

p.u) hampir sama dengan data Magnitude Tegangan, P, dan Q dari Tabel 3. Hasil pengujian dengan variasi *setting*  $P_c = 1$  dan  $P_m = 0.5$ , *MaxKromosom*= 100, *MaxGenerasi* = 600 diberikan pada Tabel 6. Dari Tabel 6 terlihat bahwa data Tegangan Bus (dalam p.u) masih terpaut jauh dengan data Tegangan, Bus pada Tabel 3.

Tabel 4. Aliran Daya pada Bus dengan Setting  $P_c = 1$ ,  $P_m = 0.1$

No. Bus	Tegangan Bus (p.u)	Daya Bus	
		P (p.u)	Q (p.u)
1	0.99715+0.05422i	1.8421	1.2178
2	0.92996+0.39875i	-0.03788	-0.02215
3	0.89804+0.029549i	-0.0685	-0.0387
4	0.83364-0.34711i	-0.0268	-0.01259
5	0.87734 -0.26543i	-0.2487	-0.0874
6	0.83264+0.36543i	-0.0124	-0.00254
7	0.82654+0.013345i	-0.4518	-0.2657
8	0.86793-0.546326i	-0.3654	-0.27894
9	0.89298-0.05061i	-0.5068	-0.2457
10	0.88042+0.42383i	-0.9854	-0.54781
11	0.88863+0.001333i	-0.0012	-0.1234
12	0.93056-0.245321i	0.7365	0.9987

Tabel 5. Aliran Daya pada Bus dengan Metode Algoritma Genetika

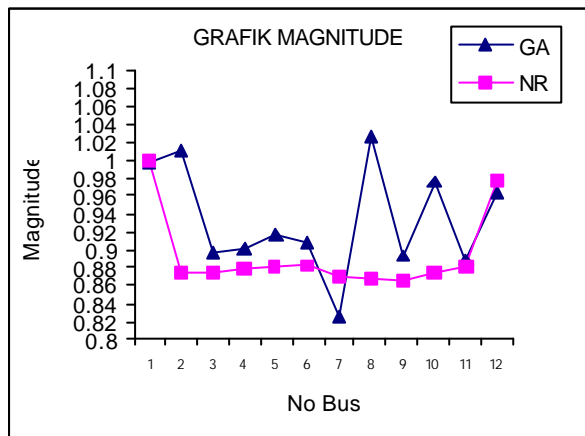
No. Bus	Metode Algoritma Genetika			
	Magnitude Tegangan	Sudut fasa (derajat)	P (p.u)	Q (p.u)
1	0.9986	3.1123	1.8421	1.2178
2	1.0118	23.2088	-0.03788	-0.02215
3	0.8985	1.8845	-0.0685	-0.0387
4	0.9030	-22.6058	-0.0268	-0.01259
5	0.9166	-16.8326	-0.2487	-0.0874
6	0.9093	23.6957	-0.0124	-0.00254
7	0.8266	0.9249	-0.4518	-0.2657
8	1.0255	-32.188	-0.3654	-0.27894
9	0.8944	-3.2437	-0.5068	-0.2457
10	0.9771	25.7059	-0.9854	-0.54781
11	0.8886	0.0860	-0.0012	-0.1234
12	0.9623	-14.7688	0.7365	0.9987

Tabel 6. Aliran Daya pada Bus dengan Setting  $P_c = 1$ ,  $P_m = 0.5$

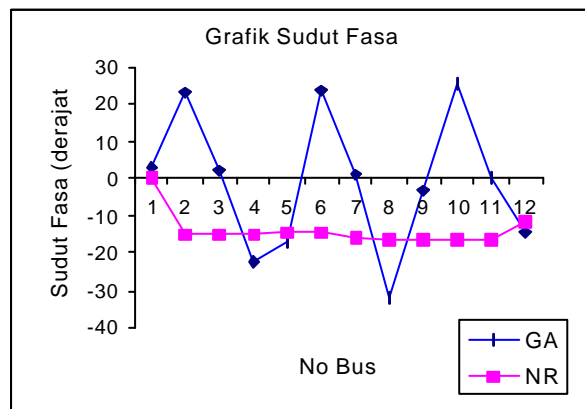
No. Bus	Tegangan Bus (p.u)	Daya Bus	
		P (p.u)	Q (p.u)
1	0.91036+0.28945i	1.6482	1.0188
2	0.89246+0.39891i	-0.03025	-0.01736
3	0.81642+0.35472i	-0.0489	-0.0392
4	0.78821-0.872011i	-0.02402	-0.01382
5	0.86348-0.31843i	-0.2002	-0.0846
6	0.78614+0.34387i	-0.0009	-0.00257
7	0.80581+0.051357i	-0.4026	-0.2601
8	0.80798-0.506396i	-0.3124	-0.35097
9	0.78605-0.06952i	-0.4704	-0.2497
10	0.78328+0.79380i	-0.8514	-0.56201
11	0.77863+0.501343i	-0.0098	-0.1035
12	0.82550-0.074521i	0.7052	0.8623

Hasil terbaik dari penggunaan metode Algoritma Genetika pada beberapa percobaan yang telah dilakukan dihasilkan pada  $P_c=1$ ,  $P_m=0.1$ , MaxKromosom =100, MaxGenerasi = 600, nilai  $\epsilon$  (dinyatakan dengan nilai *fitness*) = 0.002575, waktu komputasi 3 jam 15 menit (Tabel 4 dan Tabel 5 yang menunjukkan konversi tegangan Bus).

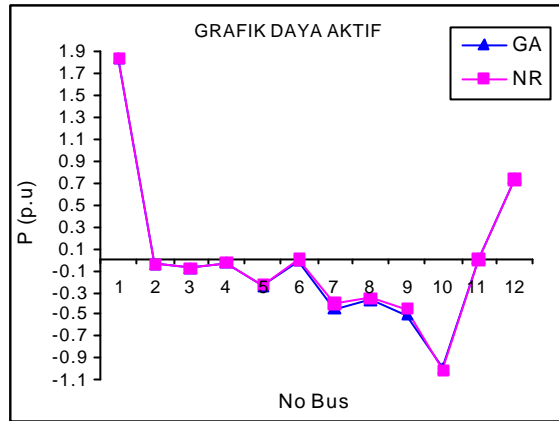
Berikut ini perbandingan Tabel 3 dan Tabel 5 dalam bentuk grafik, berturut-turut grafik Magnitude Tegangan, grafik sudut fasa, grafik Daya Aktif, grafik Daya Reaktif. (GA : Hasil yang diperoleh menggunakan metode Algoritma Genetika, NR : Hasil yang diperoleh menggunakan metode *Newton-Raphson*).



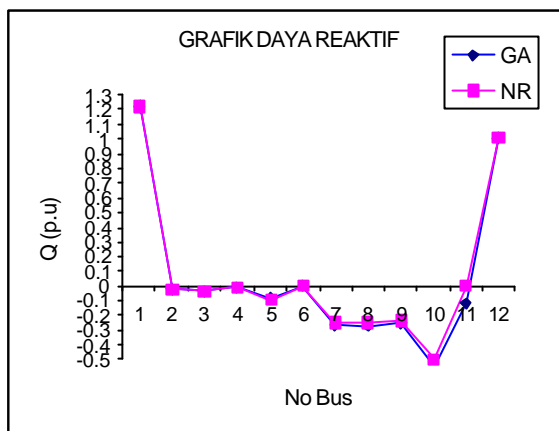
Gambar 4. Grafik Magnitude Tegangan



Gambar 5. Grafik Sudut Fasa (Derajat)



Gambar 6. Grafik Daya Reaktif (Q)



Grafik 4. Daya Reaktif (Q)

## 7. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penggunaan metode Algoritma Genetika maupun metode *Newton-Raphson* pada penelitian ini adalah:

1. Metode iterasi *Newton-Raphson* maupun metode Algoritma Genetika dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter Bus dalam perhitungan aliran daya.
2. Dalam perhitungan dengan menggunakan metode *Newton-Raphson* diperlukan penggunaan matrik *Jacobian* sedangkan metode Algoritma Genetika tidak memerlukan penggunaan matrik *Jacobian* karena koreksi tegangan dan sudut fasa dilakukan pada setiap pembentukan generasi baru selama proses perhitungan.
3. Metode *Newton-Raphson* dapat menyelesaikan perhitungan dengan waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan dengan waktu komputasi pada metode Algoritma Genetika untuk mencapai kriteria berhenti yang sama.

4. Program perhitungan yang menggunakan metode *Newton-Raphson* mempunyai kecepatan proses yang tinggi (cepat). Setelah melakukan 5 iterasi dengan nilai  $\epsilon = 0.0000054233$ , diperoleh waktu komputasi  $\pm 2$  detik.
5. Hasil terbaik dari penggunaan metode Algoritma Genetika pada beberapa percobaan yang telah dilakukan didapatkan pada *setting*  $P_c=1$ ,  $P_m=0.1$ , MaxKromosom =100, Max-Generasi = 600, nilai  $\epsilon$  (dinyatakan dengan nilai *fitness*) = 0.002575, waktu komputasi 3 jam 15 menit.
6. Pada penggunaan metode Algoritma Genetika, semakin kecil nilai  $P_m$  serta semakin besar nilai  $P_c$  untuk jumlah kromosom dan generasi yang sama, semakin cepat proses komputasinya, serta semakin besar pula kecenderungan untuk mendapatkan nilai *fitness* yang kecil (semakin minimal, galat semakin kecil,  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  semakin kecil).

## Daftar Pustaka

- [1] Holland, John. *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
- [2] Stevenson Jr, William D. *Elements of Power System Analysis*. 4th ed. Singapore: Mc Graw-Hill International Book Company, 1985.
- [3] Prayogo, Tjahyo. *Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Newton-Raphson yang Menggunakan Pendekatan Kuadratis dan Penerapannya pada Sisten Transmisi 150 KV di Jawa Timur*. Surabaya: Skripsi / Tugas Akhir Nomor 88/E/TST/002 Universitas Kristen Petra, 1988.
- [4] Glover, Sarma. *Power System Analysis and Design*. 2nd ed. Boston: PWS Publishing Company, 1994
- [5] Gen, Mitsuo, and Runwei Cheng. *Genetic Algorithms and Engineering Design*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1997.
- [6] Goldberg, David E. *Genetic Algorithms in Search and Machine Learning*. New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.