



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

***GENETIC ALGORITHM* UNTUK PENYELESAIAN OPTIMAL  
POWER FLOW PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL  
MEMPERTIMBANGKAN DG**

Basuki Rachmad  
NRP 2213105070

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMAL POWER FLOW  
SOLUTION IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM  
CONSIDERING DG**

Basuki Rachmad  
NRP 2213105070

Supervisors

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2016

**GENETIC ALGORITHM UNTUK PENYELESAIAN  
OPTIMAL POWER FLOW PADA SISTEM DISTRIBUSI  
RADIAL MEMPERTIMBANGKAN DG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

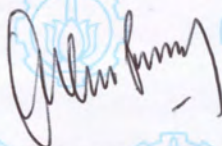
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga

Jurusan Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Menyetujui :**

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D  
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
NIP. 197411292000121001



# **GA (*Genetic Algorithm*) Untuk Penyelesaian Optimal Power Flow Pada Sistem Distribusi Radial Mempertimbangkan DG**

Basuki Rachmad  
2213105070

Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **Abstrak :**

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, sistem distribusi listrik menjadi semakin luas dan kompleks sehingga menyebabkan rugi-rugi yang terjadi pada sistem menjadi lebih besar. Untuk mengatasi hal tersebut, cara yang umum dilakukan adalah dengan pemberian *Distributed Generation* (DG) yang tepat. Pada tugas akhir ini, diusulkan penyelesaian optimisasi aliran daya pada sistem distribusi dengan lokasi dan ukuran DG secara simultan untuk memperoleh minimum rugi saluran, minimum perubahan tegangan, dan menaikkan keluaran daya aktif DG. Dan untuk menyelesaikan permasalahan sedemikian tidak konveks, *Genetic Algorithm* (GA) metode yang diusulkan, yang mana mendekati iterative optimisasi aliran daya.

Hasil simulasi kasus sistem IEEE 33 bus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian jaring dan deviasi tegangan. Total kerugian jaring menjadi (22,173 kW) turun 89,06% dari nilai awal dan total deviasi tegangan menjadi (-0,1652). Hasil simulasi kasus sistem IEEE 69 bus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian jaring dan deviasi tegangan. Total kerugian jaring menjadi (13,188 kW) turun 94,1% dari nilai awal dan total deviasi tegangan menjadi (-0,0012).

**Kata Kunci :** *Jaringan Distribusi Listrik, Kerugian Jaring, Deviasi Tegangan, Genetic Algorithm (GA), Distributed Generation (DG).*

# ***GA (Genetic Algorithm) for Optimal Power Flow Solution in Radial Distribution System Considering DG***

Basuki Rachmad  
2213105070

Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.  
Supervisor II : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

## **Abstract :**

*In the development of electric power systems, electrical distribution systems become increasingly extensive and complex, causing losses that occur on the system becomes greater. To overcome this, the common way is the provision of Distributed Generation (DG) is appropriate. In this thesis, the proposed completion of the optimization of power flow in the distribution system with location and sizing DG simultaneously to obtain the minimum channel loss, minimum voltage changes, and increase the active power output of DG. To solve such problems are not convex, Genetic Algorithm (GA) method is proposed, which approached the iterative optimization of the power flow.*

*The simulation results of IEEE 33 bus system case obtained optimal power flow when injected DG with objective function value equal weighting for network loss and voltage deviation. Total network loss become (22,137 kW) decrease 89,06% of the initial value and the total voltage deviation becomes (-0,1652). The simulation result of IEEE 69 bus system case obtained optimal power flow when injected DG with objective function value equal weighting for network loss and voltage deviation. Total network loss become (13,188 kW) decrease 94,1% of the initial value and the total voltage deviation become (-0,0012).*

**Keywords :** *Distribution network system, Network Losses, Voltage Deviation, Genetic Algorithm (GA), Distributed Generation (DG).*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....	xxi

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.4 Batasan Tugas Akhir .....	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	4
1.7 Relevansi .....	4

### BAB II SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, ALIRAN DAYA, DISTRIBUTED GENERATION DAN *GENETIC ALGORITHM*

2.1 Sistem Distribusi Listrik .....	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial .....	6
2.2 Aliran Daya .....	8
2.3 Rugi Saluran .....	10
2.4 Deviasi Tegangan .....	11
2.4.1 Undervoltage dan Overvoltage .....	11
2.5 Distributed Generation (DG).....	12
2.5.1 Teknologi DG yang Dapat Dikembangkan .....	14
2.5.2 Keuntungan Distributed Generation .....	15
2.5.3 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial....	16
2.6 Genetic Algorithm (GA) .....	17
2.6.1 Terminologi dalam Genetic Algorithm .....	20
2.6.2 Parameter Genetika.....	20
2.6.3 Operator Genetika.....	21

### **BAB III OPTIMASI PENEMPATAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

3.1 Diagram Alur Sistem .....	23
3.2 Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus .....	25
3.2.1 Data Saluran Sistem.....	26
3.2.2 Data Pembebanan Sistem .....	27
3.3 Jaringan Distribusi IEEE 69 Bus .....	28
3.3.1 Data Saluran Sistem .....	29
3.3.2 Data Data Pembebanan .....	30
3.4 Pemodelan OPF Algoritma Genetika.....	32
3.4.1 Penentuan Variabel Awal .....	34
3.4.2 Inisialisasi Populasi.....	35
3.4.3 Pengkodean Kromosom.....	35
3.4.4 Evaluasi Populasi.....	36
3.4.5 Seleksi Pindah Silang.....	36
3.4.6 Seleksi Mutasi.....	37
3.4.7 Elitisme.....	37
3.4.8 Iterasi.....	37
3.5 Fungsi Objektif.....	37
3.6 Normalisasi dari Multiple Objektif.....	39
3.7 Batasan ( <i>constraint</i> ).....	39

### **BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1 Kasus A Base Sistem IEEE 33 bus .....	41
4.2 Optimasi Menggunakan GA untuk Lokasi dan ukuran DG	
Kasus A.....	45
4.2.1 Hasil Simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal.....	46
4.2.2 Analisis hasil simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal.....	54
4.3 Kasus B Base Sistem IEEE 69 bus .....	59
4.4 Optimasi Menggunakan GA untuk Lokasi dan ukuran DG	
Kasus B .....	67
4.4.1 Hasil Simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal .....	68

4.4.2 Analisis hasil simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal.....	76
4.5 Validasi Hasil Perhitungan MATLAB dengan Software ETAP ...	80
4.5.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 33 Bus .....	81
4.5.2 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaringan IEEE 69 Bus .....	81
4.6 Perbandingan Metode untuk GA dan PSO.....	82

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	83
5.2 Saran .....	84

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **RIWAYAT HIDUP PENULIS**

## **INDEKS**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Distributed Generation.....	12
Tabel 2.2 Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan.....	13
Tabel 3.1 Data Saluran Sistem IEEE 33 bus.....	26
Tabel 3.2 Data Pembebanan Sistem IEEE 33 bus.....	27
Tabel 3.3 Data Pembebanan Sistem IEEE 69 bus.....	29
Tabel 3.4 Data Saluran Sistem IEEE 69 bus.....	30
Tabel 4.1 Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus.....	41
Tabel 4.2 Kerugian Jaringan antar bus pada sistem IEEE 33 bus.....	43
Tabel 4.3 Deviasi Tegangan Tiap Bus pada Sistem IEEE 33 bus.....	44
Tabel 4.4 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-1).....	46
Tabel 4.5 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-2).....	48
Tabel 4.6 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-3).....	49
Tabel 4.7 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-4).....	50
Tabel 4.8 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-5).....	52
Tabel 4.9 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-6).....	53
Tabel 4.10 Perbandingan hasil simulasi untuk 2 DG.....	56
Tabel 4.11 Perbandingan hasil simulasi untuk 3 DG.....	58
Tabel 4.12 Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 69 bus.....	59
Tabel 4.13 Kerugian Jaringan antar bus pada sistem IEEE 69 bus.....	62
Tabel 4.14 Deviasi Tegangan Tiap Bus pada Sistem IEEE 69 bus.....	65
Tabel 4.15 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-1).....	68
Tabel 4.16 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-2).....	70
Tabel 4.17 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-3).....	71
Tabel 4.18 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-4).....	72
Tabel 4.19 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-5).....	74

Tabel 4.20 Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-6).....	75
Tabel 4.21 Perbandingan hasil simulasi untuk 2 DG.....	78
Tabel 4.22 Perbandingan hasil simulasi untuk 3 DG.....	80
Tabel 4.23 Hasil Validasi nilai total P losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus.....	81
Tabel 4.24 Hasil Validasi nilai total P losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 69 bus.....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Proses Penyaluran listrik .....	5
Gambar 2.2 Lokasi Distribusi Primer dan Distribusi Sekunder .....	5
Gambar 2.3 Sistem Jaring Distribusi Radial .....	7
Gambar 2.4 Contoh Single Line Diagram.....	9
Gambar 2.5 Koneksi DG pada Sistem Distribusi Radial .....	16
Gambar 2.6 Flowchart Genetic Algorithm.....	18
Gambar 3.1 Flowchart Tugas Akhir pada Seluruh Sistem.....	23
Gambar 3.2 Single Line Diagram Jaring Distribusi IEEE 33 Bus .....	25
Gambar 3.3 Single line diagram jaring distribusi IEEE 69 bus.....	28
Gambar 3.4 Flowchart OPF untuk GA.....	33
Gambar 3.5 Inisialisasi Populasi dalam Genetik Algoritma .....	35
Gambar 3.6 Pindah Silang .....	36
Gambar 3.7 Mutasi.....	37
Gambar 4.1 Tegangan pada setiap bus untuk kasus (A-1) .....	36
Gambar 4.2 Deviasi tegangan untuk kasus (A-1).....	40
Gambar 4.3 Rugi jaring untuk kasus (A-1) .....	44
Gambar 4.4 Rugi jaring untuk kasus (A-2) .....	45
Gambar 4.5 Deviasi tegangan untuk kasus (A-3).....	36
Gambar 4.6 Tegangan pada setiap bus untuk kasus (A-4) .....	40
Gambar 4.7 Deviasi tegangan untuk kasus (A-4).....	44
Gambar 4.8 Rugi jaring untuk kasus (A-4) .....	45
Gambar 4.9 Rugi jaring untuk kasus (A-5) .....	36
Gambar 4.10 Deviasi tegangan untuk kasus (A-6).....	40
Gambar 4.11 Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus A.....	44
Gambar 4.12 Perbandingan rugi jaring tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus A.....	45
Gambar 4.13 Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG kasus A.....	44
Gambar 4.14 Perbandingan kerugiam jaring tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG kasus A5	
Gambar 4.15 Tegangan pada setiap bus untuk kasus (B-1) .....	36
Gambar 4.16 Deviasi tegangan untuk kasus (B-1).....	40
Gambar 4.17 Rugi jaring untuk kasus (B-1) .....	44
Gambar 4.18 Rugi jaring untuk kasus (B-2) .....	45
Gambar 4.19 Deviasi tegangan untuk kasus (B-3).....	36
Gambar 4.20 Tegangan pada setiap bus untuk kasus (B-4) .....	40

Gambar 4.21 Deviasi tegangan untuk kasus (B-4) .....	44
Gambar 4.22 Rugi jaring untuk kasus (B-4).....	45
Gambar 4.23 Rugi jaring untuk kasus (B-5).....	36
Gambar 4.24 Deviasi tegangan untuk kasus (B-6) .....	40
Gambar 4.25 Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus B.....	44
Gambar 4.26 Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus B.....	45
Gambar 4.27 Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus B.....	44
Gambar 4.28 Perbandingan rugi jaring tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus B.....	45
Gambar 4.29 Nilai Tegangan Program dan Etap .....	45

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<i>OPF</i>	=	<i>Optimal Power Flow</i>
<i>GA</i>	=	<i>Genetic Algorithm</i>
<i>DG</i>	=	<i>Distributed Generation</i>
IPTEK	=	Ilmu Pengetahuan dan Teknologi
<i>HV</i>	=	<i>High Voltage</i>
<i>MV</i>	=	<i>Medium Voltage</i>
<i>LV</i>	=	<i>Low Voltage</i>
$Y_{bus}$	=	Admintasi bus
$Z_{bus}$	=	Impedansi bus
<i>BIBC</i>	=	<i>Bus Injection to Branch Current</i>
<i>BCBV</i>	=	<i>Branch Current to Bus Voltage</i>
$I_k$	=	arus pada bus $k$
$P_k$	=	daya aktif pada bus $k$
$jQ_k$	=	daya reaktif pada bus $k$
$V_k$	=	tegangan pada bus $k$
$B$	=	injeksi arus ke beban
$I$	=	arus beban
$V$	=	tegangan
$Z$	=	Impedansi
$\Delta V$	=	tegangan jatuh
<i>DLF</i>	=	<i>Different Load Flow</i>
<i>IEEE</i>	=	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>UPS</i>	=	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
<i>ETAP</i>	=	<i>Electric Transient analysis Program</i>
<i>MATLAB</i>	=	<i>Matrix Laboratory</i>
$V_i$	=	tegangan magnitude pada bus $i$
$V_i^{spek}$	=	spesifikasi tegangan magnitude
$V_i^{max}$	=	batas atas dari tegangan pada bus $i$
$V_i^{min}$	=	batas bawah dari tegangan pada bus $i$
$P_j^L$	=	Daya aktif pada bus $j$
$Q_j^L$	=	Daya reaktif pada bus $j$
$V_j$	=	Tegangan pada bus $j$
$I_{ij}$	=	arus antar bus $i$ dan $j$
$R_{ij}$	=	resistansi antar bus $i$ dan $j$

$S_{ij}$	=	Daya semu antar bus $i$ dan $j$
$P_{losses}$	=	Kerugian daya
$P_{DGi}$	=	Daya aktif DG
$Q_{DGi}$	=	Daya reaktif DG
$P_D$	=	Daya aktif permintaan
$Q_D$	=	Daya reaktif permintaan
$F_1$	=	Fungsi objektif kerugian daya
$F_2$	=	Fungsi objektif deviasi tegangan
$w_1$	=	Faktor pembobotan pertama
$w_2$	=	Faktor pembobotan kedua

*--- Halaman ini sengaja dikosongkan ---*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama manusia, seperti juga kebutuhan utama yang lain. Masyarakat modern tidak dapat melakukan aktivitas dengan baik tanpa tenaga listrik. Kebutuhan akan tenaga listrik selalu bertambah dari waktu ke waktu. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan tenaga listrik, maka sistem tenaga listrik haruslah dikembangkan seiring dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik. Permintaan daya listrik yang terus bertambah menyebabkan daya listrik yang harus disuplai oleh pembangkit menjadi sangat besar. Sumber energi yang dapat diperbarui serta ekonomi energi listrik adalah faktor penentu perkembangan industri yang dapat meningkatkan standar hidup masyarakat. Sehingga berdampak semakin luasnya topologi jaring listrik dari sistem pembangkit, sistem transmisi, hingga sistem distribusi radial. Sistem distribusi radial yang banyak digunakan menyebabkan tingginya drop tegangan dan daya yang hilang pada saluran. Permasalahan ini akan menyebabkan kerugian pada konsumen maupun produsen listrik. Dan salah satu cara meningkatkan kualitas sistem distribusi adalah dengan menjaga level tegangan di setiap bus pada keadaan normal dan pemasangan unit *distributed generation* pada sistem distribusi tersebut.

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Namun, ada beberapa kendala yang dihadapi pada sistem distribusi ini yaitu kerugian daya dan perubahan tegangan.

Salah satu cara untuk mengurangi masalah diatas dengan cara *Optimal Power Flow* (OPF). OPF merupakan perhitungan untuk meminimalkan suatu fungsi yaitu kerugian daya pada pada saluran dengan mengatur pembangkitan daya aktif dan reaktif setiap pembangkit yang terinterkoneksi dengan memperhatikan batas-batas tertentu. Batas yang umum dinyatakan dalam perhitungan analisis aliran daya optimal adalah berupa batas minimum dan maksimum untuk pembangkitan daya aktif pada pembangkit [1].

Dalam tugas akhir ini, diusulkan sebuah optimasi aliran daya yang digunakan untuk meminimalkan kerugian daya, meminimalkan perubahan tegangan pada sistem distribusi. Pendekatan yang dilakukan

dengan mengoptimasi aliran daya pada sistem tersebut menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)*. Metode ini mempresentasikan analisis untuk mengoptimalkan untuk penempatan dan ukuran *Distributed Generation (DG)* dan optimasi aliran daya dari sistem distribusi [2].

## 1.2 Permasalahan

Ruang lingkup permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan aliran daya optimal (OPF) dengan multiobjektif berbasis *Genetic Algorithm*
2. Menguji performa OPF *Genetic Algorithm* terhadap sistem distribusi IEEE 33 bus dan IEEE 69 bus

## 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk Meminimalkan kerugian daya, meminimalkan perubahan tegangan. Menginjeksi DG pada sistem distribusi radial aktif tiga fasa seimbang dengan lokasi dan ukuran optimal. Dengan Menerapkan metode *Genetic Algorithm (GA)* untuk OPF dengan multiobjektif.

## 1.4 Batasan Tugas Akhir

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan kerugian daya, meminimalkan deviasi tegangan.
2. *Optimal Power Flow* dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm (GA)*
3. Simulasi menggunakan Matlab
4. Analisis dilakukan dalam kondisi steady state
5. Sistem dalam keadaan seimbang ( $R = S = T$ )
6. DG dimodelkan dengan *negative PQ load*
7. Faktor koordinasi dan sinkronisasi antar DG dan pada sistem diabaikan
8. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

## 1.5 Metodologi Tugas Akhir

Pada tugas akhir ini dibuat program untuk memperoleh aliran daya optimal dengan mempertimbangkan DG menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)*. Program dibuat dengan menggunakan software Matlab. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah

1. Studi literature  
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti *Optimal Power Flow* dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data  
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi saluran. Semua data tersebut digunakan untuk memperoleh data pengukuran sebenarnya menggunakan software matlab.
3. Pemodelan program  
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari aliran daya optimal dengan mempertimbangkan *distributed generation (DG)*. Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui hasil aliran daya optimal. Input berupa data saluran, data beban, data kapasitas DG, data lokasi penempatan DG, data konfigurasi jaring dan data parameter GA. Output digunakan untuk perancangan perangkat lunak sehingga hasilnya dapat diolah oleh Matlab dan diperoleh aliran daya optimal dengan mempertimbangkan DG untuk meminimasi kerugian daya, meminimasi tegangan deviasi.
4. Perancangan perangkat lunak  
Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh aliran daya optimal dengan mempertimbangkan DG. Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
5. Simulasi dan analisis  
Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi radial. Simulasi terdiri dari empat kasus, yaitu: base sistem, penempatan DG, aliran daya optimal. Optimasi digunakan untuk mengetahui ukuran dan penempatan optimal *distributed generation (DG)* untuk mendapatkan nilai kerugian daya dan deviasi tegangan paling minimal pada jaring tersebut.

6. Penulisan buku  
Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.

## 1.6 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

- Bab 1: Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2: Dasar teori yang menjelaskan teori mengenai sistem distribusi, *Power Flow*, *Distributed Generation* (DG) dan *Genetic Algorithm* (GA).
- Bab 3: Perancangan sistem *Optimal Power Flow* dengan berdasarkan teori *Genetic Algorithm*.
- Bab 4: Hasil simulasi *Optimal Power Flow* dengan mempertimbangkan DG untuk meminimasi rugi saluran dan meminimasi tegangan deviasi.
- Bab 5: Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

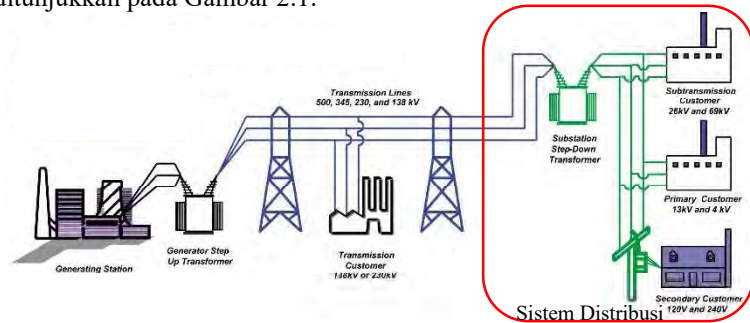
1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam *Optimal Power Flow* (OPF) dan *Genetic Algorithm* (GA).
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang sistem tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

## BAB II

### SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, ALIRAN DAYA, DISTRIBUTED GENERATION DAN GENETIC ALGORITHM

#### 2.1 Sistem Distribusi Listrik

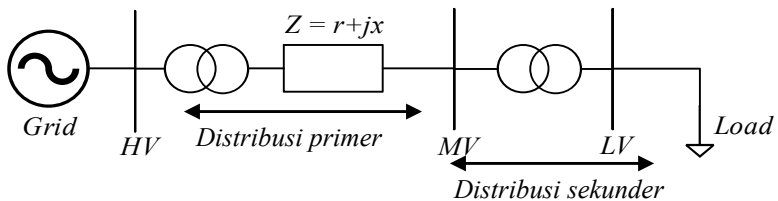
Dalam sistem tenaga listrik, sistem distribusi adalah tahap terakhir dari proses penyaluran dan distribusi energi listrik dari pembangkit listrik menuju beban. Diagram proses penyaluran listrik secara detail ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Diagram proses penyaluran listrik [3]

Jaring distribusi dapat dibedakan menjadi 2 menurut posisi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

1. Jaring distribusi primer (jaring distribusi tegangan menengah)
2. Jaring distribusi sekunder (jaring distribusi tegangan rendah)



**Gambar 2.2** Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Jaring distribusi primer menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi dari pada tegangan menengah (*medium voltage*). Lokasi jaring tersebut terletak sebelum transformator distribusi. Jaring tersebut menghubungkan antara sisi sekunder transformator gardu induk dengan sisi primer transformator distribusi. Sedangkan jaring distribusi sekunder menyalurkan tenaga listrik pada tegangan rendah 220V/380V. Lokasi jaring terletak setelah transformator ditribusi. Jaring distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder pada transformator distribusi dengan sisi konsumen.

Berdasarkan skema operasinya, sistem distribusi dibagi menjadi 3 konfigurasi, yaitu: *radial system*, *ring main system* dan *interconnected system*. Dalam tugas akhir ini, sistem distribusi yang digunakan adalah tipe radial.

### **2.1.1 Sistem Distribusi Radial**

Jaring radial merupakan bentuk paling sederhana dan banyak dioperasikan dalam sistem distribusi. Hal ini disebabkan biaya untuk membentuk jaring ini cukup murah. Jaring ini dinamakan jaring radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang – cabangkan ke titik beban. Sehingga bentuk jaring radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yakni menuju beban.

Pada jaring ini, satu atau beberapa sumber hanya akan ada dalam area yang sama sehingga ketika terjadi gangguan maka area tersebut akan terkena dampak dari gangguan karena daya listrik mengalir sepanjang jalur tunggal yaitu jalur yang terhubung antara setiap pelanggan dan gardu. Jika terganggu, akan mengakibatkan berkurang sumber energi yang didistribusikan kepada pelanggan.

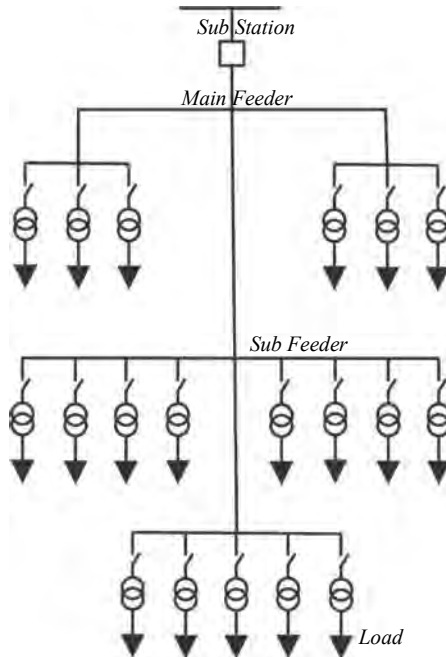
Sumber yang berasal dari satu titik yang menuju percabangan menyebabkan perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Sehingga terjadi perbedaan luas penampang konduktor. Hal ini juga akan menyebabkan saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk memiliki luas penampang yang lebih besar dan saluran cabang – cabangnya. Untuk itu, semakin dekat suatu saluran dengan sumber maka luas penampang semakin kecil.

Sistem distribusi radial ini mempunyai beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

1. Sistem radial pohon.
2. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah.

3. Sistem radial dengan pembagian fasa area.
4. Sistem radial dengan pusat beban.
5. Sistem *margerithe*.

Bentuk sistem jaring distribusi radial contoh bentuk pohon dapat dilihat pada Gambar 2.3.:



**Gambar 2.3** Sistem jaring distribusi radial

Pada konfigurasi ini memiliki kekurangan dalam hal kualitas pelayanan daya dan kontinuitas pelayanan kurang baik. Kualitas daya kurang baik disebabkan oleh deviasi tegangan dan kerugian daya yang relatif besar. Hal yang mempengaruhi semakin buruknya kualitas daya adalah besar nilai impedansi dan nilai arus yang melewati saluran. Konfigurasi ini memiliki kontinuitas yang kurang baik disebabkan hanya memiliki satu alternatif saluran sehingga saat saluran terjadi gangguan maka saluran sesudah gangguan akan mengalami pemadaman total selama gangguan tersebut belum teratasi.

## 2.2 Aliran Daya [4]

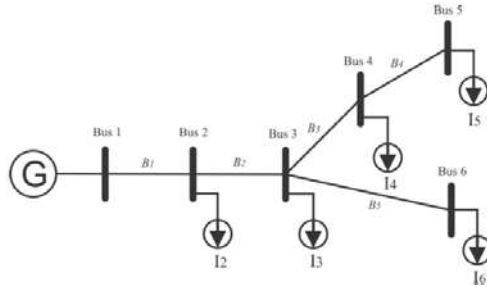
Merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, dan daya yang terdapat pada berbagai titik suatu jaring pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun akan datang. Sehingga dapat memantau beban untuk dilakukan pengaturan kualitas daya yang dikirim. Banyak peneliti yang mengembangkan metode aliran daya, khususnya pada jaring distribusi. Data yang diperlukan untuk studi aliran daya adalah matriks  $Y_{bus}$  atau matriks  $Z_{bus}$  dari sistem yang akan dipelajari. Hal ini sangat penting karena matriks  $Y_{bus}$  maupun  $Z_{bus}$  berisi informasi data saluran sistem. Kemudian data-data jenis bus, termasuk ke dalam jenis bus beban atau bus generator. Jika pada bus terdapat generator, maka bus tersebut disebut bus generator. Sedangkan bus yang tidak memiliki generator disebut sebagai bus beban. Pada setiap bus generator perlu dimasukkan data pembangkitan daya aktif pada generator, kemudian pada bus beban juga perlu dimasukkan data beban. Ada satu bus generator yang tidak ditentukan besar pembangkitan daya aktif, yang disebut *slack* atau *swing bus*. *Swing bus* ini terhubung dengan generator yang memiliki kapasitas daya paling besar pada sistem. Generator pada *swing bus* mensuplai perbedaan antara daya aktif ke dalam sistem pada bus lain dan total keluaran ditambah losses. Tegangan *magnitude* dan sudut tegangan pada *swing bus* telah ditentukan terlebih dahulu. Pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran daya adalah metode *backward – forward sweep* [7]. Berikut tahapan dari metoda *Backward – Forward Sweep* :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah *backward sweep*, yaitu menghitung besar arus yang mengalir pada saluran diawali pembentukan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) , kemudian besar arus saluran dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$I_k = \left( \frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (2.1)$$

Dimana  $I_k$ ,  $P_k$ ,  $jQ_k$ ,  $V_k$  adalah nilai arus, daya aktif, daya reaktif dan tegangan pada bus  $k$





**Gambar 2.4** Contoh single line diagram

Dari Gambar 2.4 dapat dibentuk matrik BIBC. Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya

Matrik BIBC :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya.

Matrik BIBC dapat disederhanakan menjadi :

$$[B] = [BIBC][I] \tag{2.2}$$

- Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang diawali dengan pembentukan matrik BCBV (*Branch Current to Bus Voltage*). Berikut adalah contoh matrik BCBV yang menyatakan hubungan antara tegangan bus dan arus saluran:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari matrik BCBV di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.3)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik  $\Delta V$  , persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.4)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (2.5)$$

Dengan menggunakan matrik BIBC, BCBV dan  $\Delta V$  dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan :

$$[V_i] = [V_i] - [\Delta V] \quad (2.6)$$

### 2.3 Kerugian Saluran

Daya listrik yang dikirim dan disalurkan dari gardu induk/transformator distribusi ke pemakai mengalami tegangan dan kerugian daya, ini disebabkan karena saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi, dan kapasitas. Karena saluran distribusi primer ataupun sekunder berjarak pendek maka kapasitas dapat diabaikan, dengan demikian dapat dibuat rangkaian ekivalen dari saluran distribusi.

Kerugian akibat pelembehan, pelembehan logam berpengaruh terhadap sedikit pada semua suhu dan merupakan fungsi suhu dan waktu. Bersamaan dengan penurunan batas tegangan tarik pada keadaan kumulatif. Pelembehan yang terlihat dan kerugian tegangan tarik tidak berpengaruh jika penghantar dalam batas yang dianjurkan. Pada keadaan tertentu harga – harga pada suatu tingkat umur yang ditaksir dapat ditentukan. Untuk para ahli perlu mengetahui hubungan antara suhu kerja, waktu suhu kerja dan penurunan kekuatan penghantaryang bersangkutan.

Kerugian akibat panas, jika suatu penghantar dialairi arus listrik secara terus – menerus maka akan menimbulkan panas, panas ini timbul akibat energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut. Semakin lama arus tersebut mengalir maka semakin panas penghantar tersebut dan semakin banyak energi listrik yang hilang karena energi tersebut berubah menjadi panas. Kerugian akibat Jarak, jarak sangat berpengaruh pada keandalan jaring karena semakin jauh atau semakin panjang penghantar listrik tersebut maka akan banyak tegangan listrik yang menghilang karena penghantar itu sendiri memiliki hambatan atau tahanan.

## 2.4 Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan merupakan salah satu jenis gangguan kualitas daya berupa selisih magnitude yang dihasilkan dari bus sumber dengan bus saluran. Deviasi tegangan sendiri memiliki dua kondisi, yaitu kondisi *undervoltage* dan *overvoltage*. Deviasi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$\Delta \text{Deviasi Tegangan} = \left( \frac{V_i - V^{spek}}{V_i^{max} - V_i^{min}} \right)^2 \quad (2.7)$$

Dimana  $V^{spek}$  adalah spesifikasi tegangan magnitude.  $V_i^{max}$  dan  $V_i^{min}$  adalah batas atas dan batas bawah dari tegangan pada bus  $i$ , berturut – turut dengan batasan deviasi tegangan ( $\pm 5\%$ ).

### 2.4.1 Under Voltage dan Over Voltage

Dari beragam permasalahan *power quality*, tegangan turun (*under voltage*) dan tegangan lebih (*Over Voltage*) adalah problem yang tergolong sebagai problem klasik. Problem ini di alami oleh hampir semua wilayah, terlebih di wilayah yang berdekatan dengan kawasan industri.

Dalam terminologi *power quality*, under voltage dikategorikan sebagai fenomena *long duration voltage variation*. Berbeda dengan *voltage DIP* yang berlangsung cepat, under voltage biasanya terjadi dalam kurun waktu diatas 1 menit. Menurut **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**, penurunan tegangan biasanya berkisar menjadi 80 % hingga 90% dari nominal voltagenya., namun rata- rata perusahaan membatasi penurunan tegangan hanya berada pada 95% dari nomila voltagenya.

Penyebab dari *undervoltage* sendiri cukup beragam. Pada intinya, under voltage dihasilkan oleh adanya low distribution voltage yang digunakan untuk mensupply beban-beban yang berarus tinggi (*heavy load*). Under voltage juga dapat ditimbulkan oleh adanya proses switching off dari capacitor bank.

Meski tergolong sebagai problem klasik, fenomena ini tentu tak dapat dianggap ringan. Undervoltage dapat mengakibatkan *overheat*, *malfuction* hingga *premature fail* (kerusakan dini). Beberapa perangkat yang sering menjadi sasaran adalah perangkat-perangkat yang menggunakan motor seperti refrigerators dan air conditioners. Sementara

itu, perangkat-perangkat perangkat yang menggunakan battery charging seperti UPS dapat mengalami kegagalan pengisian.

*Over Voltage* sendiri adalah naiknya amplitudo tegangan dalam waktu yang cukup lama. Penyebab terjadinya *Under Voltage* adalah karena pengkawatan pada system yang kurang baik dan pembebanan yang berlebih pada system (*overloaded*). Sedangkan penyebab terjadinya *over voltage* adalah salah satunya karena *seting tap* transformator yang kurang sesuai dan pembebanan yang kurang pada *system (underloaded)*.

Dampak dari *over voltage* juga menyebabkan degradasi pada peralatan elektronik (berkurangnya masa penggunaan alat), dapat merusak belitan rotor dan membuat motor cepat panas.

## 2.5 Distributed Generation (DG)

*Distributed Generation* atau pembangkit tersebar merupakan salah satu solusi dalam hal pemerataan distribusi energi listrik sehingga dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat suatu bangsa. Keuntungan adanya DG bila dibandingkan dengan pembangkitan listrik terpusat adalah penerapan generator kecil, biasanya memiliki kapasitas dari 5 kW hingga 10 MW, yang ditempatkan di lokasi yang dekat dengan konsumen energi listrik untuk menyediakan tenaga listrik yang dibutuhkan sehingga sistem distribusi dapat melayani konsumen di desa – desa kecil. DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaring distribusi. Klasifikasi jenis DG dan kapasitas secara detail ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan dan kapasitas ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Distributed Generation [5]

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG (DG Mikro)	1 Watt – 5Kw
Small DG (DG Kecil)	5kW – 5MW
Medium DG (DG sedang)	5MW – 50 MW
Large DG (DG Besar)	50MW – 300 MW

**Tabel 2.2** Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan [5]

<b>Teknologi DG</b>	<b>Kapasitas per Modul</b>
<b><i>Fossil Fuel</i></b>	
<i>Combined cycle gas turbine (CCGT)</i>	35 – 400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW - 1 MW
<b><i>Renewable Resources</i></b>	
<i>Small hydro</i>	1 – 100 MW
<i>Micro hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt – 3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt – 1000 kW
<i>Solar terminal, central receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar terminal, Lutz system</i>	10 – 80 MW
<i>Biomass, e.g based on gasification</i>	100 kW – 20 MW
<i>100 kW-20 MW</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 2 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling engine</i>	2 – 10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW - 5 MW

Perkembangan DG di masa sekarang didukung oleh dua isu utama dalam sistem tenaga listrik pada masa sekarang, yaitu:

1. Perubahan kebijakan energi listrik di seluruh dunia dari sistem monopoli menjadi sistem yang lebih kompetitif terkhusus pada sektor pembangkit yang memungkinkan keragaman dalam kepemilikan aset pembangkit sehingga terdapat adanya persaingan yang mendorong harga energi listrik menjadi lebih murah.
2. Kebijakan lingkungan yang berkelanjutan yang mengharuskan DG dapat membantu mengurangi gas emisi terutama emisi karbon. Pemanfaatan energi DG harus mendorong pengurangan emisi karbon karena umumnya teknologi DG memiliki emisi karbon yang rendah bahkan ada yang emisi karbonnya nol seperti *photovoltaic* (sel surya) dan turbin angin (*wind turbine*).

IEEE mendefinisikan *Distributed Generation* sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan

pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik.

DG merupakan teknologi yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia karena DG memiliki manfaat yang signifikan dalam penyaluran energi listrik. Jika DG dipasang di lokasi yang optimal dan dikoordinasikan dengan benar, hal ini akan meningkatkan profil tegangan dan tentunya dapat mengurangi kerugian daya pada sistem distribusi. Penggunaan utama dari DG adalah untuk menyuplai energi listrik pada daerah terpencil. Keuntungan lain dari penggunaan DG adalah DG dapat menyuntikkan kelebihan daya bila kapasitas DG lebih tinggi dari beban lokal.

### 2.5.1 Teknologi DG yang Dapat Dikembangkan

Beberapa jenis teknologi DG yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah mikrohidro, bahan bakar nabati, biomassa, energi angin, tenaga surya, energi hybrid (angin dan surya), pasang surut, dan panas bumi. Secara garis besar, interkoneksi pada DG terbagi atas tiga komponen, yaitu:

#### 1. Sumber Energi Utama (Prime Energy Source)

Hal ini menunjuk pada teknologi DG sebagai sumber energi seperti energi surya, angin, mikrohidro, pasang surut dan biomassa. Setiap teknologi DG memiliki karakter yang berbeda-beda dalam menghasilkan energi, misalnya tipikal energi yang dihasilkan oleh PV dan *fuel cell* berupa *direct current* atau *wind turbin* yang tipikal energinya berupa energi mekanis (dihasilkan dari putaran pada turbin).

#### 2. Power Converter

Power converter dalam interkoneksi, berfungsi untuk mengubah energi dari sumber energi utama (*prime energy resources*) menjadi energi dengan level frekuensi tertentu (50Hz - 60Hz). Secara garis besar, ada 3 kategori power converter yang digunakan dalam interkoneksi, yaitu: generator sinkron, generator induksi dan static power converter.

Generator sinkron dan generator induksi mengkonversi putaran energi mekanis ke dalam tenaga listrik dan sering disebut dengan routing power converter. *Static power converter* (biasa dikenal dengan inverter) tersusun atas *solid-device* seperti transistor. Pada inverter, transistor mengkonversi energi dari sumber menjadi energi dengan

frekuensi 50-60Hz dengan switching (*switch on-off*). Teknologi DG yang dijual di pasaran, kebanyakan telah diintegrasikan dengan *power converter* masing-masing. Misalnya *fuel cell* yang telah diintegrasikan dengan inverter. *Power converter* memiliki efek yang besar terhadap DG pada sistem distribusi. Oleh sebab itu dibutuhkan peralatan interkoneksi untuk menjamin keamanan dan kestabilan operasi. Generator sinkron, generator induksi dan inverter memberikan respon yang sangat berbeda terhadap variasi kondisi dari sistem tenaga.

### 3. Sistem Interface dan Peralatan Proteksi

Peralatan ini ditempatkan sebagai penghubung antara terminal output dari power converter dan jaring primer. Komponen interkoneksi ini biasanya terdiri atas *step-up transformer*, *metering* kadang ditambahkan *controller* dan relay proteksi.

Adapun beberapa teknologi DG yang sering digunakan adalah micro-hydro, panel surya, turbin angin, mesin diesel, sel bahan bakar, dan baterai yang terdiri dari sejumlah modul-modul kecil dan dirakit secara tersendiri oleh pabrik. Hal ini dilakukan untuk mempermudah konstruksi dan implementasi pada lokasi DG. Modul-modul kecil tersebut dapat dipasang dengan sangat cepat pada lokasi akhir dimana pembangkit membutuhkan penghematan waktu yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan pembangunan pembangkit tenaga listrik besar yang letaknya terpusat pada suatu lokasi tertentu.

#### 2.5.2 Keuntungan Distributed Generation

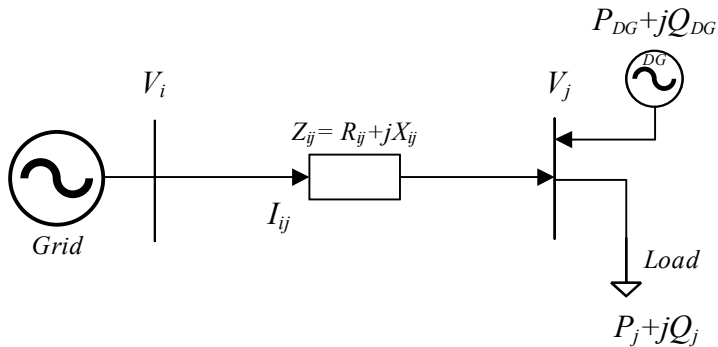
Dalam banyak penelitian, DG dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi melalui cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat – pusat pembangkit konvensional. Dalam pemasangannya dalam jaring distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG meliputi:

1. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaring, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi kerugian pada sistem.

4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol

### 2.5.3 Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial

Jaring distribusi memasok tenaga listrik ke pengguna akhir. Sebuah model sederhana dari jaring distribusi radial. Sistem tersebut terdiri dari grid, jalur transmisi, transformator dan beban. DG yang terhubung ke jaring distribusi dapat ditampilkan seperti Gambar 2.4.



**Gambar 2.5** Koneksi DG pada sistem distribusi radial

Nilai arus dari percabangan yang terhubung antara bus  $p$  dan  $q$  sebelum penambahan DG adalah

$$I_{ij} = \sqrt{\frac{P_j^2 + Q_j^2}{V_j^2}} \quad (2.1)$$

Sehingga Nilai kerugian daya pada cabang  $ij$  sebelum penambahan DG adalah

$$P_{losses} = I_{ij}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.2)$$

Nilai arus dari percabangan yang terhubung antara bus  $i$  dan  $j$  setelah penambahan DG adalah



$$I'_{ij} = \sqrt{\frac{(P_j^L - P_j^{DG})^2 + (Q_j^L - Q_j^{DG})^2}{V_j^2}} \quad (2.3)$$

Besar nilai kapasitas DG yang dipasang memiliki konstrain

$$\sum_{i=1}^{NDG} P_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{Nl} P_D(j) \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^{NDG} Q_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{Nl} Q_D(j) \quad (2.5)$$

Sehingga Nilai kerugian daya pada cabang  $ij$  setelah penambahan DG adalah

$$P'_{losses} = I'_{ij}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.5)$$

Aliran daya dalam jaring tergantung pada ukuran dan lokasi dari DG dan juga pada permintaan beban pada waktu tertentu. DG yang dipasang dalam suatu bus menjadikan bus tersebut sebagai bus tipe PV atau PQ node [8,9]. Dalam tugas akhir ini, bus yang dipasang DG ditentukan sebagai bus tipe PQ node. Selain itu, dalam aplikasinya, DG terdiri dari berbagai macam jenis yang memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun beberapa contoh jenis teknologi pembangkitan yang menggunakan *Distributed Generation*, yaitu: *photovoltaic* (PV), *tubin angin* (*wind turbine*), *fuel cell*, *micro turbine* dan baterai serta diesel generator sebagai *backup* saat beban naik.

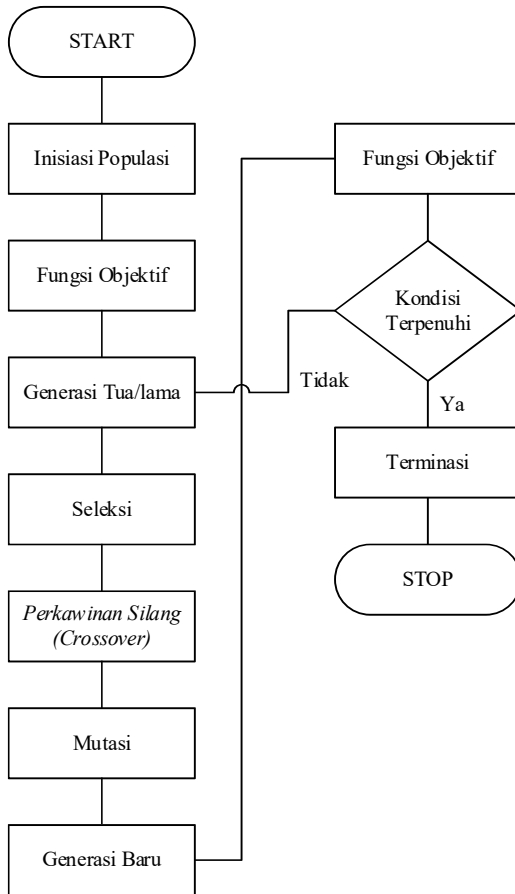
## 2.6 Genetic Algorithm (GA)

*Genetic Algorithm* (GA) adalah algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Dalam proses evolusi, individu secara terus-menerus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. “Hanya individu - individu yang kuat yang mampu bertahan”. Proses seleksi alamiah ini melibatkan perubahan gen yang terjadi pada individu melalui proses perkembangbiakan. Dalam algoritma genetika ini, proses perkembangbiakan ini menjadi proses dasar yang menjadi perhatian utama, dengan dasar berpikir:

“Bagaimana mendapatkan keturunan yang lebih baik”.

Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi dari kromosom antar individu organisme. Variasi kromosom akan mempengaruhi laju reproduksi dan tingkat kemampuan organisme untuk tetap hidup.

*Genetic Algorithm* digunakan untuk menemukan nilai yang paling optimal dari suatu fungsi. Dengan menggunakan prinsip evolusi yang ada di alam, dalam GA memiliki istilah-istilah yang sama dengan proses seleksi ilmiah yang ada di alam. Ditunjukkan *Flowchart* untuk *Genetic Algorithm* pada Gambar 2.5:



**Gambar 2.6** *Flowchart Genetic Algorithm*

Secara bentuk umum urutan dari *Genetic Algorithm* adalah sebagai berikut :

### 1. Membangkitkan populasi awal

Populasi awal ini dibangkitkan secara random sehingga didapatkan solusi awal. Populasi itu sendiri terdiri atas sejumlah kromosom yang merepresentasikan solusi yang diinginkan.

### 2. Membentuk generasi baru

Untuk membentuk generasi baru, digunakan operator reproduksi/seleksi, crossover dan mutasi. Crossover adalah memindah silang antar 2 induk untuk mendapatkan 2 keturunan yang baru. Mutasi adalah merubah satu atau beberapa alel pada kromosom untuk membentuk individu baru. Dan seleksi adalah proses pemilihan induk yang akan mengalami evolusi. Ada beberapa proses seleksi yang biasa digunakan yaitu seleksi roda rolet (roulette wheel selection), seleksi ranking (rank selection) dan seleksi turnamen (tournament selection).

Proses ini dilakukan berulang-ulang sehingga didapatkan jumlah kromosom yang cukup untuk membentuk generasi baru dimana generasi baru ini merupakan representasi dari solusi baru. Generasi baru ini dikenal dengan istilah anak.

### 3. Evaluasi solusi

Pada tiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang dinamakan fitness. Nilai dari fitness ini didapatkan dari fungsi fitness yang telah ditetapkan sebelumnya. Dimana pada tugas akhir ini fungsi fitness adalah fungsi untuk meminimalkan kerugian daya.

Nilai fitness suatu kromosom menggambarkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Proses ini akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai fitness setiap kromosom dan mengevaluasinya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Bila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah 2. Beberapa kriteria berhenti sering digunakan antara lain: berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai fitness tertinggi tidak berubah, berhenti dalam  $n$  generasi tidak didapatkan nilai fitness yang lebih tinggi.

#### **2.6.1 Terminologi dalam *Genetic Algorithm***

Penggunaan algoritma genetika banyak mengambil istilah dari disiplin ilmu biologi dan komputer, karena konsep awal dari algoritma

tersebut merupakan teori evolusi dan seleksi yang terjadi di alam. Beberapa terminologi penting dalam algoritma genetika dalam mendefinisikan individu untuk membangun penyelesaian permasalahan adalah sebagai berikut :

- a. **Kromosom**, Sekumpulan gen yang membentuk satu kesatuan nilai. Dari model kromosom inilah GA dapat dibedakan menjadi GA kromosom biner, kromosom float dan kromosom kombinatorial. Model GA sangat ditentukan oleh nilai dari setiap gennya.
- b. **Genotype (Gen)**, Elemen terkecil yang menyatakan nilai parameter dari individu didalam GA. Terdapat berbagai macam jenis gen biner, gen float dan gen string atau kombinasi.
- c. **Individu**, Satu kesatuan kromosom yang menyatakan satu kemungkinan penyelesaian.
- d. **Allele**, Nilai yang dimasukkan pada gen.
- e. **Genotype**, Sekumpulan string yang merupakan hasil perkawinan dan berpotensi untuk menjadi solusi akhir dari kombinasi kromosom.
- f. **Populasi**, Sekumpulan individu yang menjadi dasar dari pengolahan seleksi alamiah.
- g. **Generasi**, Satu pengulangan (loop) dari proses seleksi alamiah yang dimulai dari satu populasi hingga membentuk populasi baru.
- h. **Nilai fitness**, menyatakan seberapa baik nilai dari suatu individu atau solusi yang didapatkan dimana setiap individu memiliki satu nilai fitness.

### 2.6.2 Parameter Genetika

Dalam genetika algoritma terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk mendapatkan nilai fitness terbaik. Parameter tersebut yaitu adalah :

#### 1. Probabilitas Persilangan (Crossover Probability)

Menunjukkan kemungkinan crossover terjadi antara 2 kromosom. Jika tidak terjadi crossover maka keturunannya akan sama persis dengan kromosom orangtua, tetapi tidak berarti generasi yang baru akan sama persis dengan generasi yang lama. Jika probabilitas crossover 100% maka semua keturunannya dihasilkan dari crossover. Crossover dilakukan dengan harapan bahwa kromosom yang baru akan lebih baik.

#### 2. Probabilitas Mutasi (Mutation Probability)

Menunjukkan kemungkinan mutasi terjadi pada gen-gen yang menyusun sebuah kromosom. Jika tidak terjadi mutasi maka keturunan

yang dihasilkan setelah crossover tidak berubah. Jika terjadi mutasi bagian kromosom akan berubah. Jika probabilitas 100%, semua kromosom dimutasi. Jika probabilitasnya 0%, tidak ada yang mengalami mutasi.

### 3. Jumlah Individu

Menunjukkan jumlah kromosom yang terdapat dalam populasi (dalam satu generasi). Jumlah dari individu ini mempengaruhi variasi hasil dari GA. Semakin banyak variasi maka kemungkinan untuk menemukan hasil yang paling optimal semakin besar.

### 4. Jumlah Generasi

Menentukan jumlah populasi atau banyaknya generasi atau iterasi yang dihasilkan, digunakan sebagai batas akhir proses seleksi, persilangan dan mutasi.

## 2.6.3 Operator Genetika

Pada algoritma genetika terdapat operator-operator yang mewakili terjadinya evolusi di alam yang diterapkan pada algoritma ini. Operator operator tersebut adalah seleksi, crossover dan mutasi.

### 1. Cross Over

Cross Over (Pindah Silang) merupakan salah satu operator dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. Cross over dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Proses cross over dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas cross over yang ditentukan.

Ada beberapa jenis metode cross over yang biasa diterapkan dalam algoritma genetika yaitu :

#### 1. Cross over satu titik

Membagi 2 kromosom dari induk yang berbeda kemudian saling memindah silangkan kromosom. Sehingga didapat 2 anak yang berbeda kromosom.

induk 1 : 

0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

induk 2 : 

1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Keturunan**

anak 1 : 

0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

anak 2 : 

1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. *Crossover* 2 titik

*Crossover* ini dilakukan dengan memilih dua titik *crossover*. Kromosom keturunan kemudian dibentuk dengan barisan bit dari awal kromosom sampai titik *crossover* pertama disalin dari orangtua pertama.

induk 1 : **1 1 0 0 1 0 1 1**

induk 2 : 1 1 **0 1 1 1 1 1**

**Keturunan**

anak 1 : **1 1 0 1 1 1 1 1**

anak 2 : 1 1 0 0 1 0 1 1

3. Cross over seragam *Crossover* seragam menghasilkan kromosom keturunan dengan menyalin bit-bit secara acak dari kedua orangtuanya.

induk 1 : **1 1 0 0 1 0 1 1**

induk 2 : 1 1 0 **1 1 1 1 1 1**

**Keturunan**

anak 1 : **1 1 0 1 1 1 1 1**

anak 2 : 1 1 0 0 1 0 1 1

2. **Mutasi**

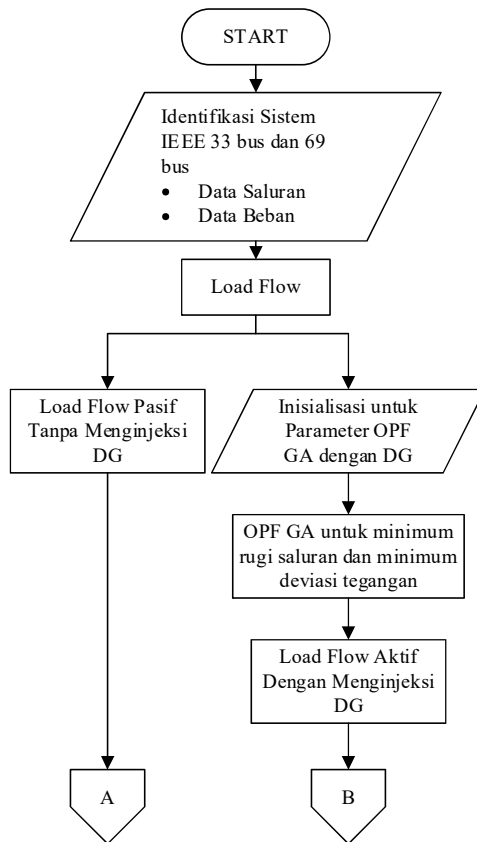
Mutasi Gen merupakan operator yang menukar nilai gen dengan nilai inversinya, misalnya gennya bernilai 0 menjadi 1. Setiap individu mengalami mutasi gen dengan probabilitas mutasi yang ditentukan. Mutasi dilakukan dengan memberikan nilai inversi atau menggeser nilai gen pada gen yang terpilih untuk dimutasikan.

# BAB III

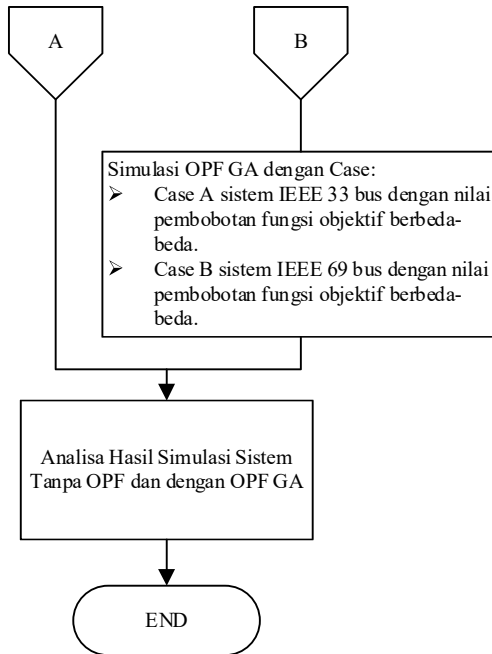
## OPTIMASI PENEMPATAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM (GA)*

### 3.1 Diagram Alur Sistem

Pemodelan sistem dilakukan untuk mengetahui parameter parameter yang akan digunakan dalam pembuatan program, Pemodelan sistem keseluruhan dapat dilihat pada flowchart Gambar 3.1



**Gambar 3.1** Flowchart Tugas Akhir pada Seluruh Sistem



**Gambar 3.1** Flowchart tugas akhir pada seluruh sistem lanjutan

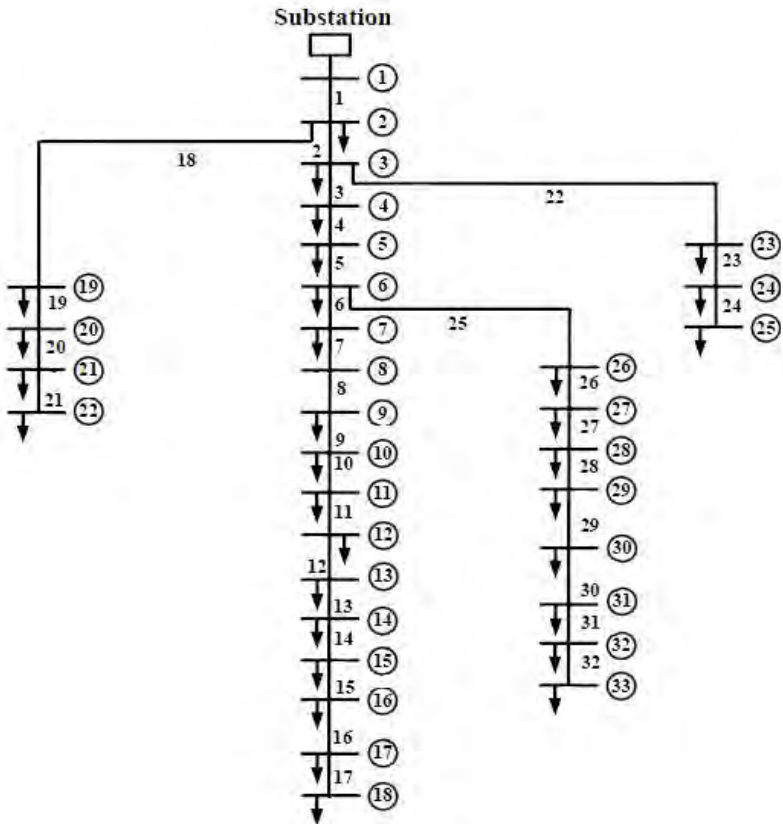
Flowchart di atas menunjukkan penerapan tugas akhir terhadap sistem yang akan dikerjakan, Penjelasan dari flowchart akan dibagi menjadi beberapa point agar mempermudah dalam pemahamannya, yaitu:

1. Identifikasi sistem IEEE 33 bus dan IEEE 69 bus
2. Load flow
3. Inisialisasi untuk parameter OPF GA
4. OPF GA untuk minimum rugi saluran dan minimum deviasi tegangan
5. Simulasi OPF GA dengan Case
6. Analisa Hasil Simulasi Sistem



### 3.2 Single Line Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus

Sistem jaring yang digunakan adalah jaring distribusi IEEE 33 bus dengan rating tegangan 12,66 kV, sistem ini berbentuk radial (Gambar 3.2), Sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa seimbang, dimana fasa dari R, S dan T mempunyai nilai impedansi dan nilai pembebanan yang sama, Sehingga pada penulisan tugas akhir ini hanya digunakan salah satu fasanya saja, Dengan mengetahui single line dari suatu sistem akan mempermudah dalam menganalisa aliran daya yang terjadi pada sistem.



**Gambar 3.2** Single Line Diagram Jaringan Distribusi IEEE 33 Bus

### 3.2.1 Data Saluran Sistem

**Tabel 3.1** Data saluran Sistem IEEE 33 bus

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
1	2	0,0922	0,0470
2	3	0,0493	0,2511
3	4	0,0366	0,1864
4	5	0,3811	0,1941
5	6	0,8190	0,7070
6	7	0,1872	0,6188
7	8	0,7144	0,2351
8	9	1,0300	0,7400
9	10	1,0400	0,7400
10	11	0,1966	0,0640
11	12	0,3744	0,1238
12	13	1,4680	1,1550
13	14	0,5416	0,7129
14	15	0,5910	0,0526
15	16	0,7463	0,5450
16	17	1,2890	1,7210
17	18	0,7320	0,5740
2	19	0,1640	0,1565
19	20	1,5042	1,3554
20	21	0,4095	0,4784
21	22	0,7089	0,9373
3	23	0,4512	0,3083
23	24	0,8980	0,7091
24	25	0,8960	0,7011
6	26	0,2030	0,1034
26	27	0,2842	0,1447
27	28	1,0590	0,9337
28	29	0,8042	0,7006
29	30	0,5075	0,2585
30	31	0,9744	0,9630
31	32	0,3105	0,3619
32	33	0,3410	0,5302

Data saluran sistem digunakan dalam perhitungan aliran daya pada sistem, Data saluran berisi informasi nilai impedansi yang berlaku pada saluran sistem tersebut.

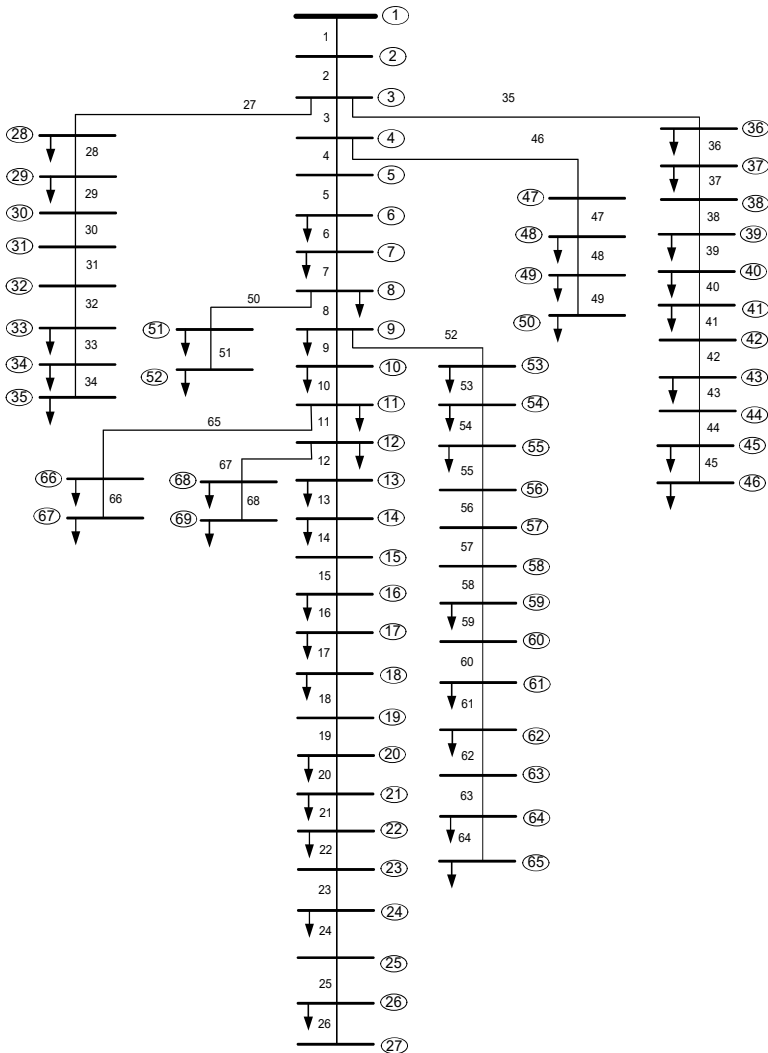
### 3.2.2 Data Pembebanan Sistem

**Tabel 3.2** Data Pembebanan Sistem IEEE 33 bus

No Bus	Data Pembebanan		No Bus	Data Pembebanan	
	P(MW)	Q(MVar)		P(MW)	Q(MVar)
1	0,100	0,060	20	0,090	0,040
2	0,090	0,040	21	0,090	0,040
3	0,120	0,080	22	0,090	0,050
4	0,060	0,030	23	0,420	0,200
5	0,060	0,020	24	0,420	0,200
6	0,200	0,100	25	0,060	0,025
7	0,200	0,100	26	0,060	0,025
8	0,060	0,020	27	0,060	0,020
9	0,060	0,020	28	0,120	0,070
10	0,045	0,030	29	0,200	0,600
11	0,060	0,035	30	0,150	0,070
12	0,060	0,035	31	0,210	0,100
13	0,120	0,080	32	0,060	0,040
14	0,080	0,010	33	0,100	0,060
15	0,060	0,020			
16	0,060	0,020			
17	0,090	0,040			
18	0,090	0,040			
19	0,090	0,040			

Data pembebanan digunakan untuk mengetahui nilai pembebanan yang berlaku pada sistem, Data pembebanan berupa beban daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVar). Jumlah total beban daya aktif pada sistem adalah 3,715 MW dan beban daya reaktifnya 2,3 Mvar.

### 3.3 Single Line Jaringan Distribusi IEEE 69 Bus



**Gambar 3.3** Single line diagram jaring distribusi IEEE 69 bus

Sistem jaring yang digunakan adalah jaring distribusi IEEE 69 bus dengan rating tegangan 12,66kV, sistem ini berbentuk radial (Gambar 3.3), Sistem yang digunakan adalah sistem tiga fasa seimbang, dimana fasa dari R, S dan T mempunyai nilai impedansi dan nilai pembebanan yang sama, Sehingga pada penulisan tugas akhir ini hanya digunakan salah satu fasanya saja, Dengan mengetahui single line dari suatu sistem akan mempermudah dalam menganalisa aliran daya yang terjadi pada sistem

### 3.3.1 Data Pembebanan Sistem

**Tabel 3.3** Data beban sistem IEEE 69 bus

No Bus	Data Pembebanan		Bus Number	Data Pembebanan	
	P (kW)	Q (kVAr)		P (kW)	Q (kVAr)
6	2,60	2,20	37	26,00	18,55
7	40,40	30,00	39	24,00	17,00
8	75,00	54,00	40	24,00	17,00
9	30,00	22,00	41	1,20	1,00
10	28,00	19,00	43	6,00	4,30
11	145,00	104,00	45	39,22	26,30
12	145,00	104,00	46	39,22	26,30
13	8,00	5,00	48	79,00	56,40
14	8,00	5,50	49	384,70	274,50
16	45,50	30,00	50	384,70	274,50
17	60,00	35,00	51	40,50	28,30
18	60,00	35,00	52	3,60	2,70
20	1,00	0,60	53	4,35	3,50
21	114,00	81,00	54	26,40	19,00
22	5,00	3,50	55	24,00	17,20
24	28,00	20,00	59	100,00	72,00
26	14,00	10,00	61	1244,00	888,00
27	14,00	10,00	62	32,00	23,00
28	26,00	18,60	64	227,00	162,00
29	26,00	18,60	65	59,00	42,00
33	14,00	10,00	66	18,00	13,00
34	19,50	14,00	67	18,00	13,00

**Tabel 3.3** Data beban sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

No Bus	Data Pembebanan		Bus Number	Data Pembebanan	
	P (kW)	Q (kVAr)		P (kW)	Q (kVAr)
35	6,00	4,00	68	28,00	20,00
36	26,00	18,55	69	28,00	20,00

Data pembebanan digunakan untuk mengetahui nilai pembebanan yang berlaku pada sistem, Data pembebanan berupa beban daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVar). Jumlah total beban daya aktif pada sistem adalah 3,783 MW dan beban daya reaktifnya 1,8915 Mvar.

### 3.3.2 Data Saluran Sistem

**Tabel 3.4** Line Data sistem distribusi IEEE 69 bus

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	0,0005	0,0012
2	2	3	0,0005	0,0012
3	3	4	0,0015	0,0036
4	4	5	0,0251	0,0294
5	5	6	0,3660	0,1864
6	6	7	0,3811	0,1941
7	7	8	0,0922	0,0470
8	8	9	0,0493	0,0251
9	9	10	0,8190	0,2707
10	10	11	0,1872	0,0619
11	11	12	0,7114	0,2351
12	12	13	1,0300	0,3400
13	13	14	1,0440	0,3450
14	14	15	1,0580	0,3496
15	15	16	0,1966	0,0650
16	16	17	0,3744	0,1238
17	17	18	0,0047	0,0016
18	18	19	0,3276	0,1083
19	19	20	0,2106	0,0690
20	20	21	0,3416	0,1129

**Tabel 3.4** Line Data sistem distribusi IEEE 69 bus (lanjutan)

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
21	21	22	0,0140	0,0046
22	22	23	0,1591	0,0526
23	23	24	0,3463	0,1145
24	24	25	0,7488	0,2475
25	25	26	0,3089	0,1021
26	26	27	0,1732	0,0572
27	3	28	0,0044	0,0108
28	28	29	0,0640	0,1565
29	29	30	0,3978	0,1315
30	30	31	0,0702	0,0232
31	31	32	0,3510	0,1160
32	32	33	0,8390	0,2816
33	33	34	1,7080	0,5646
33	33	34	1,7080	0,5646
34	34	35	1,4740	0,4873
35	3	36	0,0044	0,0108
36	36	37	0,0640	0,1565
37	37	38	0,1053	0,1230
38	38	39	0,0304	0,0355
39	39	40	0,0018	0,0021
40	40	41	0,7283	0,8509
41	41	42	0,3100	0,3623
42	42	43	0,0410	0,0478
43	43	44	0,0092	0,0116
44	44	45	0,1089	0,1373
45	45	46	0,0009	0,0012
46	4	47	0,0034	0,0084
47	47	48	0,0851	0,2083
48	48	49	0,2898	0,7091
49	49	50	0,0822	0,2011
50	8	51	0,0928	0,0473
51	51	52	0,3319	0,1114
52	9	53	0,1740	0,0886
53	53	54	0,2030	0,1034

**Tabel 3.4** *Line Data* sistem distribusi IEEE 69 bus (lanjutan)

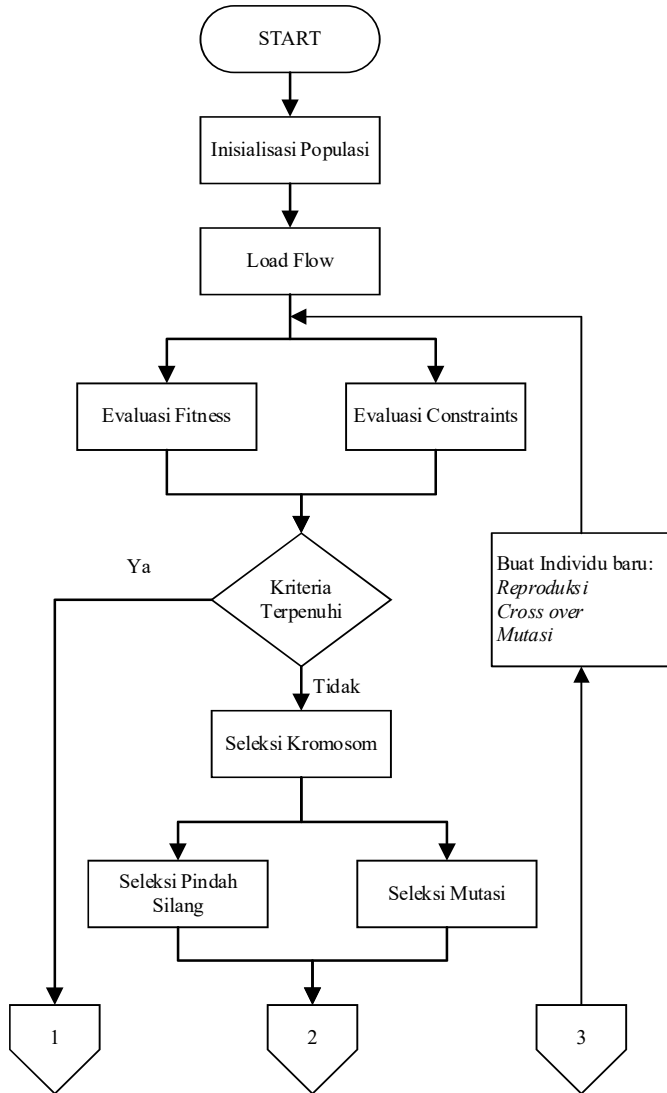
Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
54	54	55	0,2842	0,1447
55	55	56	0,2813	0,1433
56	56	57	1,5900	0,5337
57	57	58	0,7837	0,2630
58	58	59	0,3042	0,1006
59	59	60	0,3861	0,1172
60	60	61	0,5075	0,2585
61	61	62	0,0974	0,0496
62	62	63	0,1450	0,0738
63	63	64	0,7105	0,3619
64	64	65	1,0410	0,5302
65	11	66	0,2012	0,0611
66	66	67	0,0047	0,0014
67	12	68	0,7394	0,2444
68	68	69	0,0047	0,0016

Data saluran sistem digunakan dalam perhitungan aliran daya pada sistem, Data saluran berisi informasi nilai impedansi yang berlaku pada saluran sistem tersebut.

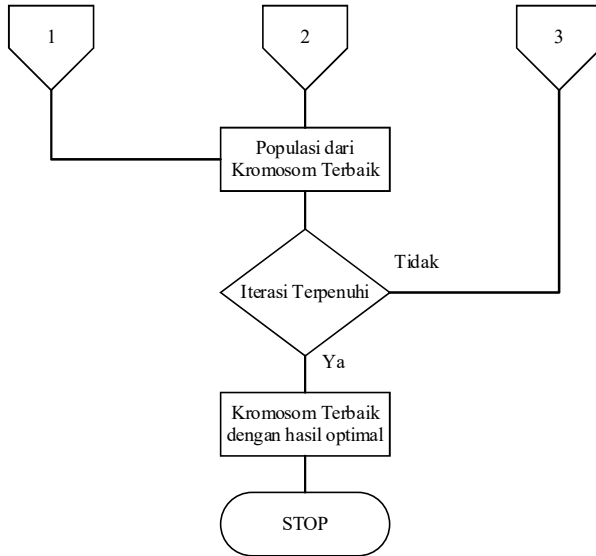
### 3.4 Pemodelan OPF Algoritma Genetika

Pemodelan OPF algoritma genetika pada sistem digunakan untuk mempermudah mendapatkan sistem dengan keadaan yang diinginkan optimal tanpa harus mencoba semua kemungkinan secara manual, melainkan perhitungan diganti dengan algoritma genetika yang melalui proses pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutate*) yang nantinya dievaluasi sesuai dengan batasan (*constrain*) dan fungsi objektif.





**Gambar 3.4** Flowchart OPF untuk GA



**Gambar 3.4** Flowchart OPF untuk GA lanjutan

Untuk mempermudah pemodelan algoritma genetika, disusun point-point yang merupakan proses tersebut, yaitu:

1. Penentuan variabel awal
2. Inialisasi populasi
3. Pengkodean kromosom
4. Evaluasi populasi
5. Seleksi pindah silang
6. Seleksi mutase
7. Elitisme
8. Iterasi

### 3.4.1 Penentuan Variabel Awal

Penentuan variabel awal dibutuhkan sebagai parameter nilai sebelum genetika algoritma bekerja, Variabel awal yang dimaksud yaitu:

- a) Kapasitas

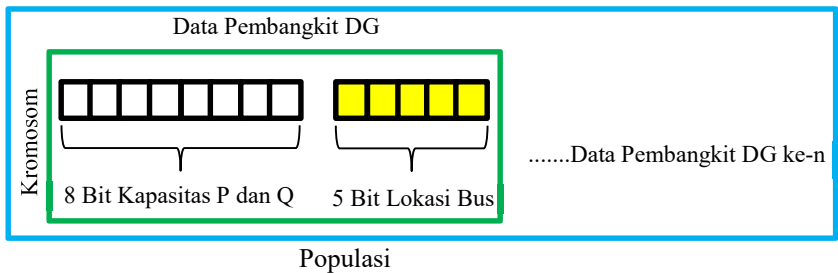
Berisi nilai maksimum dari kapasitas *Distributed Generation* yang akan dipasang pada sistem, nilai yang terpasang berupa daya aktif P(MW) dan daya reaktif Q(MW), Nilai daya aktif dan daya

reaktif yang akan dipasang selama proses adalah max 1 MW dan 0,5 MVar yang merupakan batas maksimum daya keluaran dari jenis Distributed Generation tipe kecil.

- b) Jumlah *Distributed Generation*  
 Jumlah *Distributed Generation* (DG) yang akan dipasang pada sistem ditentukan secara manual agar kondisi pengoptimalan pada sistem beragam.
- c) Ukuran Populasi  
 Ukuran populasi merupakan kumpulan dari kromosom yang berisi data lokasi dan kapasitas yang akan dioptimalkan.
- d) Jumlah Generasi  
 Jumlah generasi merupakan kumpulan kromosom terbaik dari tiap populasi yang mengalami proses seleksi sebelumnya.

### 3.4.2 Inisialisasi Populasi

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, Bahwa populasi merupakan kumpulan dari kromosom yang berisi data data yang akan diolah oleh genetik algoritma, Proses ini merupakan terbentuknya kromosom yang berisikan data pada variabel awal yaitu jumlah DG seperti pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Inisialisasi Populasi dalam Genetik Algoritma

### 3.4.3 Pengkodean Kromosom

Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu. Pengkodean kromosom dilakukan agar data informasi yang terdapat pada kromosom dapat diterjemahkan atau diterapkan pada sistem, Pengkodean dilakukan dengan mencocokkan pola kromosom yang timbul dengan database data yang nilai parameternya sudah ditentukan

sebelumnya. Untuk menentukan daya keluaran dan lokasi penempatan DG.

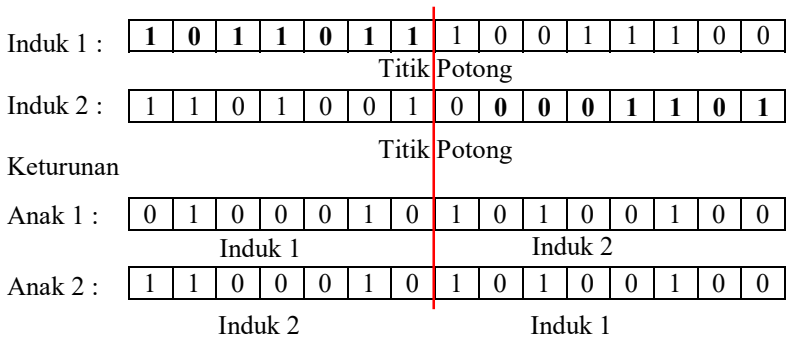
### 3.4.4 Evaluasi Populasi

Evaluasi populasi dilakukan agar mengetahui kualitas kromosom pada populasi yang telah terbentuk dalam bentuk nilai yang dinamakan fungsi “*fitness*”, Fungsi *fitness* ini berisikan formulasi dari “Fungsi Objektif” yang merupakan representasi dari rugi saluran dan nilai deviasi tegangan, *Fitness* terbaik adalah *fitness* dengan nilai paling kecil, Evaluasi populasi memproses kromosom berisikan data lokasi dan kapasitas pembangkitan yang telah diterapkan pada sistem.

### 3.4.5 Seleksi Pindah Silang

Komponen pindah silang digunakan untuk membentuk keturunan baru berdasarkan orangtua yang terpilih, Komponen ini sangat dominan dalam algoritma genetik dibandingkan dengan komponen mutasi, Dan jumlah kromosom yang digunakan sebanyak dua buah kromosom. Pindah silang dilakukan dengan harapan kromosom baru akan mempunyai bagian baik dari kromosom lama dan tidak menutup kemungkinan menjadi kromosom yang lebih baik.

Skema dari pindah silang ini ialah, dengan mendapatkan dua buah individu induk, selanjutnya ditentukan titik pindah silang secara acak, Jika diasumsikan L adalah panjang kromosom, maka titik pindah silang berada diantara 1 hingga L-1, kemudian beberapa bagian dari dua kromosom ditukar pada titik pindah silang yang terpilih, Titik pindah silang ialah titik terjadinya pertukaran gen antar dua individu induk.



**Gambar 3.6** Pindah Silang

### 3.4.6 Seleksi Mutasi

Mutasi diperlukan untuk mengembalikan informasi bit yang hilang akibat pindah silang, Mutase diterapkan dengan probabilitas yang sangat kecil, Jika mutase dilakukan terlalu sering, maka akan menghasilkan individu yang lemah karena konfigurasi gen pada individu yang unggul akan rusak

Awal	0	1	1	0	1	1	0	0
Akhir	1	0	0	1	1	1	0	0

Gambar 3.7 Mutasi

### 3.4.7 Elitisme

Karena seleksi dilakukan secara acak, maka tidak ada jaminan bahwa suatu kromosom bernilai *fitness* tertinggi akan selalu terpilih, Walaupun individu bernilai *fitness* tertinggi terpilih, mungkin saja akan merusak karena proses pindah silang, Untuk menjaga agar kromosom bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama proses seleksi, maka dibuat proses yang dikenal sebagai *elitisme* sebagai tempat untuk menyimpan kromosom yang bernilai *fitness* terbaik.

### 3.4.8 Iterasi

Iterasi adalah pengulangan suatu proses dengan nilai baru yang didapatkan dari hasil proses pada iterasi sebelumnya,

Iterasi pada genetika algoritma berjenis *generation replacement*, N individu pada suatu generasi digantikan sekaligus oleh N individu baru hasil pindah silang dan mutase, Untuk mempertahankan individu terbaik, diperlukan skema elitism yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya

Adapun prosedur penggantian populasi pada algoritma genetika ialah :

1. Mengganti individu yang memiliki nilai *fitness* terkecil
2. Mengganti individu yang paling tua/jelek,

## 3.5 Fungsi Objektif

Fungsi Objektif adalah fungsi yang nilainya akan dipertimalkan, Fungsi Objektif bisa bernilai minimum.

Dalam pemodelan sistem tugas akhir ini akan digunakan fungsi objektif untuk meminimalkan kerugian jaring dan nilai deviasi tegangan

bus sistem sehingga tegangan tiap bus sistem berada pada nilai “optimal”  
 Dengan formulasi fungsi objektifnya :

1. Minimisasi dari kerugian jaring adalah objektif pertama untuk minimasi kerugian jaring sistem [6].

$$I_{ij} = I_l = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (3.1)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij}(V_i - V_j)) \quad (3.2)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.3)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (3.4)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.5)$$

Kerugian daya pada setiap saluran yang menghubungkan bus  $i$  ke bus  $j$  dapat dinyatakan sebagai berikut

$$P_{loss(i,j)} = \text{real}(S_l) \quad (3.6)$$

Dari persamaan 3.6, total kerugian daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.7)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah cabang dari jaring distribusi, dan  $(i,j) \in B$  berarti  $(i,j)$  adalah 2 titik dari sebuah saluran  $bus_i$  dan  $bus_j$ .

2. Minimisasi deviasi tegangan adalah objektif kedua untuk minimasi deviasi tegangan antara titik tegangan dan spesifikasi tegangan magnitude. Titik tegangan magnitude adalah indikator yang terpenting untuk evaluasi keamanan sistem dan kualitas daya [1].

$$\text{min } F_2(x) = \sum_{i=0}^n \left( \frac{V_i - V_i^{spek}}{V_i^{max} - V_i^{min}} \right)^2 \quad (3.6)$$

Dimana  $V_i^{spek}$  adalah spesifikasi tegangan magnitude.  $V_i^{max}$  dan  $V_i^{min}$  adalah batas atas dan batas bawah dari tegangan pada titik  $i$ , berturut – turut dengan batasan deviasi tegangan ( $\pm 5\%$ ).

### 3.6 Normalisasi dari Multiple Objektif [1]

Optimisasi multiple-objektif yang terpenting dapat di transformasi ke single-objektif optimisasi oleh normalisasi dari setiap fungsi objektif, dimana dapat ditunjukkan pada.

$$\min F(x) = w_1 \frac{F_1(x)}{F_1^0} + w_2 \frac{F_2(x)}{F_2^0} \quad (3.7)$$

Dimana  $w_1$ , dan  $w_2$  adalah faktor bobot dari setiap fungsi objektif, berturut-turut, dan jumlah dari memenuhi  $w_1+w_2 = 1$ ,  $w_i > 0 (i = 1,2)$ .  $F_1^0$ , dan  $F_2^0$  adalah nilai fungsi objektif sebelum di berikan nilai DG

### 3.7 Batasan (constraint)

Batasan atau constrain adalah aturan yang berupa parameter nilai yang harus dilalui pada suatu proses sebagai fungsi seleksi, Batasan membuat proses seleksi menjadi lebih efektif karena adanya suatu kondisi yang harus dipenuhi, Batasan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

$$V_{min} < V_{bus} < V_{maks} \quad (3.8)$$

$$V_{min} = \frac{V_{base} - 5\% \times V_{base}}{V_{base}} \quad (3.9)$$

$$V_{max} = \frac{V_{base} + 5\% \times V_{base}}{V_{base}} \quad (3.10)$$

Batasan tersebut merupakan standar toleransi tegangan yang diperbolehkan pada bus sistem yang berlaku pada perusahaan besar kebanyakan, yaitu bernilai max 1,05 p.u dan min 0,95 p.u.

Batasan yang diberikan pada penempatan DG adalah batasan daya keluaran DG [8].

$$\sum_{k=1}^{nd} P_k^{DG} \leq \sum_{k=2}^n P_k \quad (3.11)$$

$$\sum_{k=1}^{nd} Q_k^{DG} \leq \sum_{k=2}^n Q_k$$

$$P_{k,min}^{DG} \leq P_k^{DG} \leq P_{k,max}^{DG} \quad (3.12)$$

$$Q_{k,min}^{DG} \leq Q_k^{DG} \leq Q_{k,max}^{DG}$$

Dimana pada constraint,  $P_{k,min}^{DG}$ ,  $P_{k,max}^{DG}$ ,  $Q_{k,min}^{DG}$ , dan  $Q_{k,max}^{DG}$  adalah batas atas atau bawah pada unit untuk daya aktif dan daya reaktif unit pembangkitan dari *distributed generation*.



## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISIS**

Simulasi dan analisis dilakukan untuk mengolah pemodelan sistem yang tersusun pada bab sebelumnya, setelah simulasi dijalankan dan menghasilkan nilai perhitungan, dilakukan analisa untuk mengetahui kesimpulan dari pemodelan sistem yang telah dibuat. Untuk validasi kebenaran hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil perhitungan pada simulasi ETAP. Pemodelan sistem diolah dan disusun dengan software MATLAB. Agar hasil simulasi dan analisis dapat terlihat dengan jelas, maka simulasi dan analisis dibagi menjadi beberapa point, yaitu :

1. Kasus A Base Sistem IEEE 33 bus
2. Optimasi Menggunakan GA Untuk Lokasi dan Ukuran DG
3. Kasus B Base Sistem IEEE 69 bus
4. Optimasi Menggunakan GA Untuk Lokasi dan Ukuran DG
5. Analisa Kasus A dan Kasus B
6. Validasi

#### **4.1 Kasus A Base Sistem IEEE 33 Bus**

Simulasi aliran daya awal dilakukan untuk mengetahui kondisi atau karakteristik dari sistem seperti nilai tegangan dan arus tiap bus sehingga didapatkan nilai kerugian daya deviasi tegangan pada sistem.

Hasil Simulasi aliran daya awal didapatkan nilai tegangan bus, nilai deviasi tegangan bus pada sistem, dan kerugian daya, yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4.1** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	12,6600	12,66	0,00000%
2	12,6224	12,62243	0,00001%
3	12,4440	12,444	0,00003%
4	12,3493	12,349	0,00003%
5	12,2556	12,256	0,00002%
6	12,0227	12,023	0,00001%
7	11,9785	11,979	0,00001%

**Tabel 4.1** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus (lanjutan)

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
8	11,9170	11,917	0,00001%
9	11,8376	11,838	0,00001%
10	11,7640	11,764	0,00002%
11	11,7531	11,753	0,00003%
12	11,7341	11,734	0,00001%
13	11,6567	11,657	0,00004%
14	11,6280	11,628	0,00002%
15	11,6102	11,610	0,00002%
16	11,5928	11,593	0,00000%
17	11,5672	11,567	0,00004%
18	11,5595	11,559	0,00001%
19	12,6157	12,616	0,00001%
20	12,5704	12,570	0,00003%
21	12,5615	12,562	0,00002%
22	12,5535	12,553	0,00002%
23	12,3986	12,399	0,00001%
24	12,3141	12,314	0,00001%
25	12,2720	12,272	0,00002%
26	11,9982	11,998	0,00003%
27	11,9658	11,966	0,00003%
28	11,8210	11,821	0,00001%
29	11,7169	11,717	0,00000%
30	11,6719	11,672	0,00003%
31	11,6192	11,619	0,00003%
32	11,6076	11,608	0,00003%
33	11,6040	11,604	0,00003%

**Tabel 4.2** Kerugian Jaring antar bus pada sistem IEEE 33 bus

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaring		
		MATLAB	ETAP	Error (%)
1	2	12,2405	12,2405	0,00002%
2	3	51,7917	51,7917	0,00003%
3	4	19,9007	19,9007	0,00005%
4	5	18,6992	18,6992	0,00001%
5	6	38,2492	38,2492	0,00002%
6	7	1,9146	1,9146	0,00006%
7	8	4,8586	4,8586	0,00005%
8	9	4,1807	4,1807	0,00002%
9	10	3,5611	3,5611	0,00000%
10	11	0,5537	0,5537	0,00001%
11	12	0,8812	0,8812	0,00003%
12	13	2,6663	2,6663	0,00004%
13	14	0,7292	0,7292	0,00003%
14	15	0,3570	0,3570	0,00001%
15	16	0,2815	0,2815	0,00002%
16	17	0,2516	0,2516	0,00005%
17	18	0,0531	0,0531	0,00005%
2	19	0,1610	0,1610	0,00006%
19	20	0,8322	0,8322	0,00006%
20	21	0,1008	0,1008	0,00003%
21	22	0,0436	0,0436	0,00006%
3	23	3,1816	3,1816	0,00005%
23	24	5,1437	5,1437	0,00006%
24	25	1,2875	1,2875	0,00004%
6	26	2,6009	2,6009	0,00013%
26	27	3,3290	3,3290	0,00009%
27	28	11,3009	11,3009	0,00013%
28	29	7,8334	7,8333	0,00012%

**Tabel 4.2** Kerugian Jaring antar bus pada sistem IEEE 33 bus (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaring		
		MATLAB	ETAP	Error (%)
29	30	3,8957	3,8957	0,00027%
30	31	1,5936	1,5936	0,00007%
31	32	0,2132	0,2132	0,00007%
32	33	0,0132	0,0132	0,00004%
Total		202,7000397	202,699965	0,00004%

**Tabel 4.3** Deviasi Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	-0,0000	-0,0000	0,0000%
2	-0,0030	-0,0030	0,0047%
3	-0,0171	-0,0171	0,0017%
4	-0,0245	-0,0245	0,0012%
5	-0,0319	-0,0319	0,0006%
6	-0,0503	-0,0503	0,0002%
7	-0,0538	-0,0538	0,0001%
8	-0,0587	-0,0587	0,0002%
9	-0,0650	-0,0650	0,0001%
10	-0,0708	-0,0708	0,0002%
11	-0,0716	-0,0716	0,0004%
12	-0,0731	-0,0731	0,0001%
13	-0,0792	-0,0792	0,0004%
14	-0,0815	-0,0815	0,0002%
15	-0,0829	-0,0829	0,0002%
16	-0,0843	-0,0843	0,0000%
17	-0,0863	-0,0863	0,0004%
18	-0,0869	-0,0869	0,0001%
19	-0,0035	-0,0035	0,0019%

**Tabel 4.3** Deviasi Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 33 bus (lanjutan)

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
20	-0,0071	-0,0071	0,0036%
21	-0,0078	-0,0078	0,0023%
22	-0,0084	-0,0084	0,0018%
23	-0,0206	-0,0206	0,0006%
24	-0,0273	-0,0273	0,0005%
25	-0,0306	-0,0306	0,0007%
26	-0,0523	-0,0523	0,0006%
27	-0,0548	-0,0548	0,0004%
28	-0,0663	-0,0663	0,0002%
29	-0,0745	-0,0745	0,0001%
30	-0,0781	-0,0781	0,0004%
31	-0,0822	-0,0822	0,0003%
32	-0,0831	-0,0831	0,0004%
33	-0,0834	-0,0834	0,0003%

Pada tabel 4.1 menampilkan tegangan bus sistem, bahwa bus berada diluar batasan toleransi yang ditentukan sebelumnya ( $\pm 5\%$  12,66 kV), kondisi *undervoltage* muncul pada bus 6 sampai 18 dan muncul kembali pada bus 26 sampai 33.

Pada tabel 4.2 menampilkan nilai kerugian daya pada sistem dengan total nilai kerugian daya 202,7 kW, dan tabel 4.3 menampilkan nilai deviasi tegangan pada sistem, indeks negative menunjukkan kondisi penurunan tegangan bus dan indeks positif menunjukkan kenaikan tegangan bus dengan batasan ( $\pm 5\%$ ) ditandai yang berada pada bus 6 sampai 18 dan pada bus 26 sampai 33.

## 4.2 Optimasi Menggunakan GA Untuk Lokasi dan Ukuran DG Kasus A

Simulasi optimasi menggunakan GA pada sistem dibutuhkan untuk mendapatkan lokasi yang optimal untuk memasang DG,

Pemasangan DG dengan suplai daya aktif dan reaktif akan memperbaiki sistem menjadi lebih baik, sehingga sistem memiliki nilai rugi saluran yang minimum dan nilai deviasi minimum dan berada pada standar  $\pm 5\%$ .

Simulasi akan dibagi dalam beberapa kondisi agar memudahkan proses analisa sistem, kondisi akan berhenti saat didapatkan sistem dengan nilai rugi saluran yang minimum dan nilai deviasi minimum tidak melebihi  $\pm 5\%$ , kondisinya yaitu :

1. Kasus (A-1) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5
2. Kasus (A-2) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2
3. Kasus (A-3) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8
4. Kasus (A-4) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5
5. Kasus (A-5) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2
6. Kasus (A-6) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8

#### 4.2.1 Hasil Simulasi GA Untuk menentukan Lokasi dan Ukuran DG yang Optimal

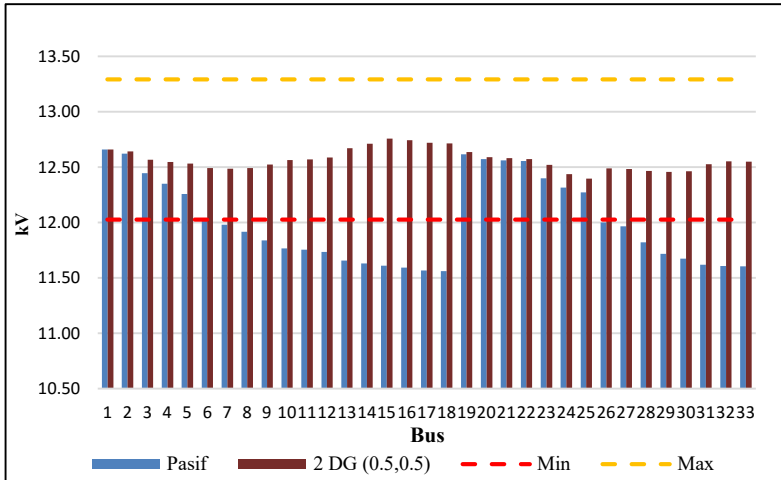
Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal sesuai dengan kondisinya yang sudah ditentukan pada sub bab sebelumnya. Hasil yang ditampilkan adalah tegangan pada setiap bus, nilai deviasi tegangan tiap bus, dan kerugian daya pada sistem aliran daya aktif yang sudah terinjeksi DG.

1. Kasus (A-1) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.4.

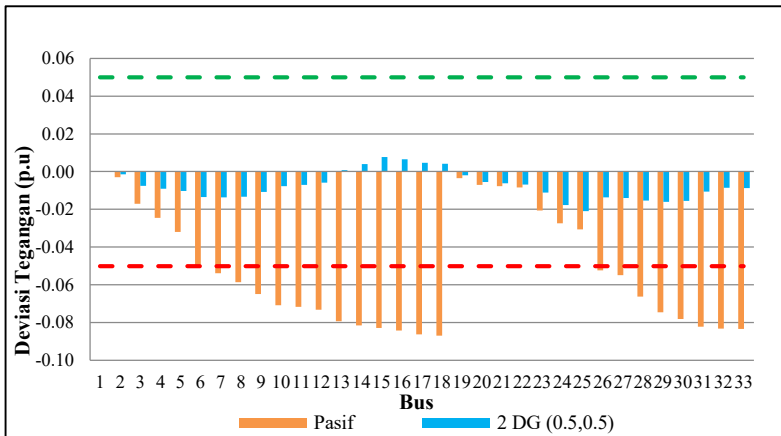
**Tabel 4.4** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-1)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 15, 32

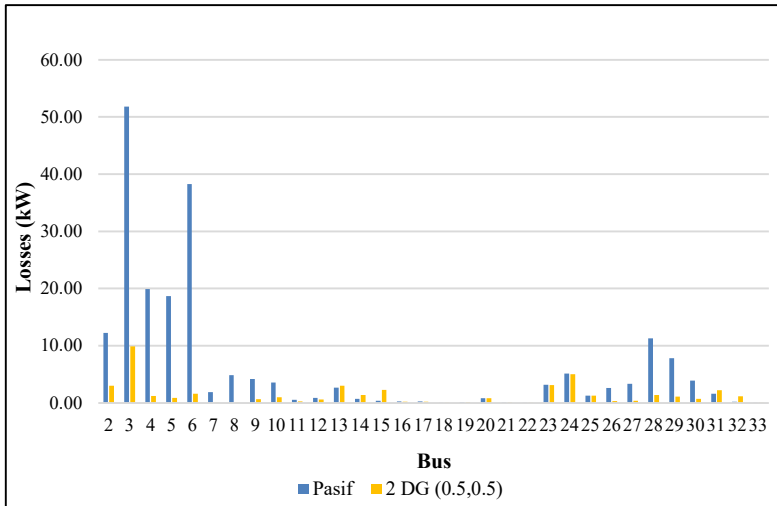


**Gambar 4.1** Tegangan pada setiap bus untuk kasus (A-1)

Tegangan setiap bus untuk kasus (A-1) dengan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya dan (0,5) tegangan mengalami peningkatan yang signifikan pada bus 7 sampai 18 dan bus 26 sampai 33 dibandingkan ketika tidak menginjeksi DG dengan rata-rata 12,566 kV.



**Gambar 4.2** Deviasi tegangan untuk kasus (A-1)



**Gambar 4.3** Kerugian daya untuk kasus (A-1)

Pada kasus (A-4) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran 2 DG dengan mempertimbangkan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya, (0,5) deviasi tegangan yang didapatkan oleh tabel 4.4. Deviasi mengalami peningkatan signifikan pada bus 7 sampai 18 dan bus 26 sampai 33 ditunjukkan Gambar 4.2, dan total kerugian daya menurun sampai 44,285 kW dimana kerugian daya menurun terjadi pada bus 1 sampai 5 pada Gambar 4.3.

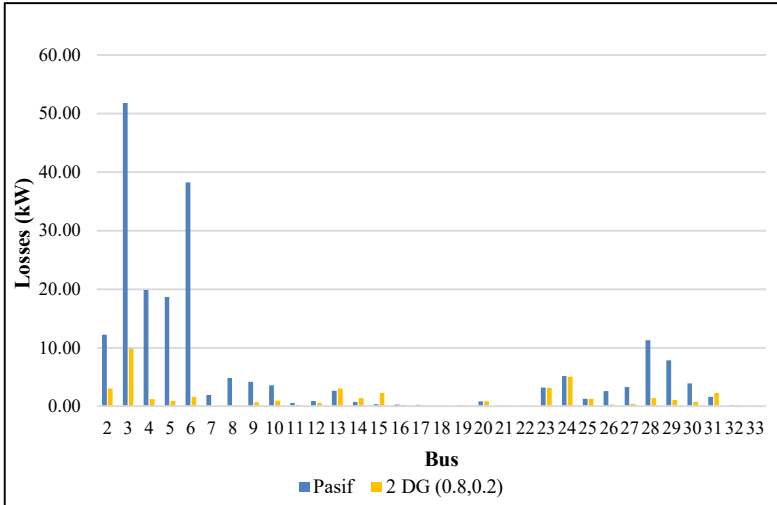
2. Kasus (A-2) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2.

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-2)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 15, 31





**Gambar 4.4** Kerugian daya untuk kasus (A-2)

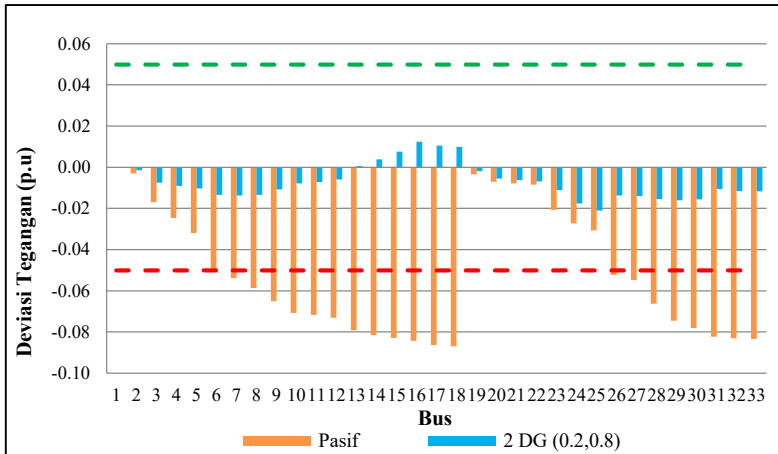
Pada kasus (A-2) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.5. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,564 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 43,263 kW pada Gambar 4.4, dan total deviasi menjadi -0,2504.

**3. Kasus (A-3) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8**

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-3)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 16, 31



**Gambar 4.5** Deviasi tegangan untuk kasus (A-3)

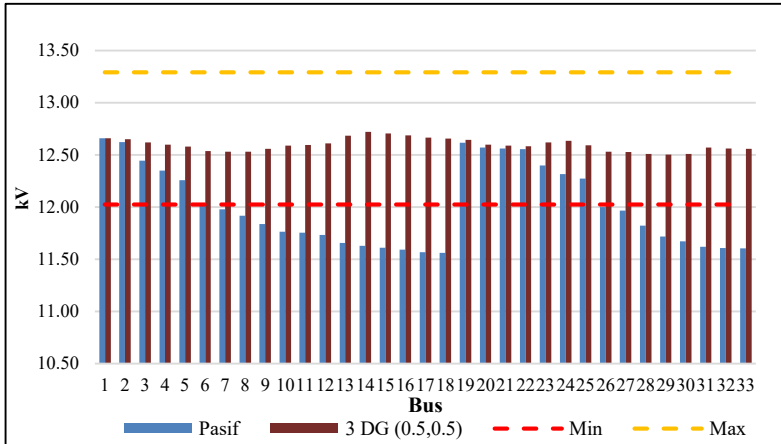
Pada kasus (A-3) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.6. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,57 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 46,276 kW, dan total deviasi berkurang menjadi -0,2350 dari pada saat pasif ditunjukkan Gambar 4.5.

**4. Kasus (A-4) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5**

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.7.

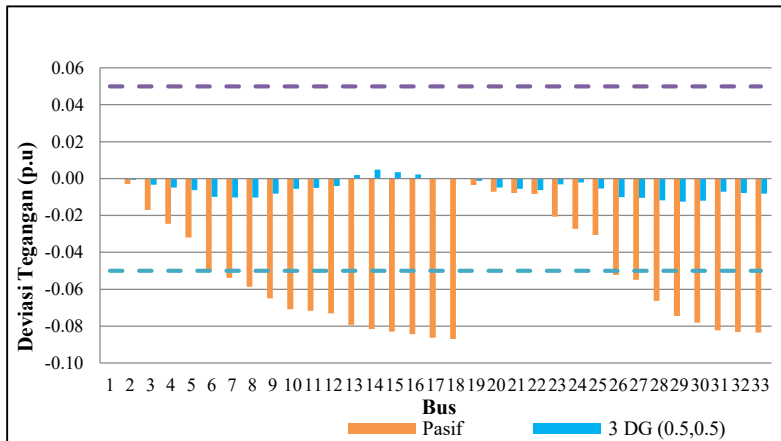
**Tabel 4.7** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-4)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 24, 31
DG	1	0,9	0,48	@ 14

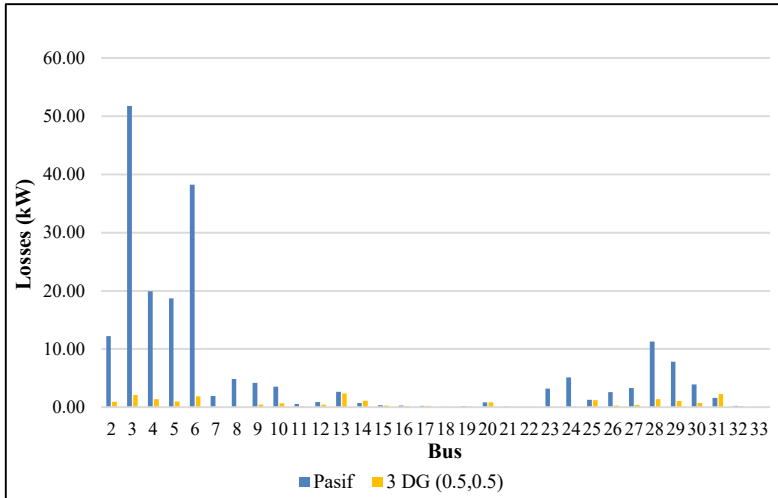


**Gambar 4.6** Tegangan pada setiap bus untuk kasus (A-4)

Tegangan setiap bus untuk kasus (A-4) dengan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya dan (0,5) tegangan mengalami peningkatan yang signifikan pada bus 7 sampai 18 dan bus 26 sampai 33 dibandingkan ketika tidak menginjeksi DG dengan rata-rata 12,566 kV



**Gambar 4.7** Deviasi tegangan untuk kasus (A-4)



**Gambar 4.8** Kerugian daya untuk kasus (A-4)

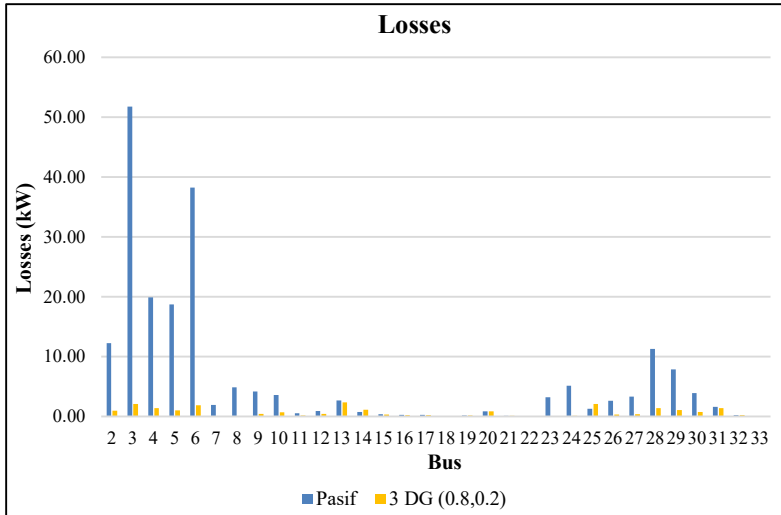
Pada kasus (A-4) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran 3 DG dengan mempertimbangkan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya, (0,5) deviasi tegangan yang didapatkan oleh tabel 4.7. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,597 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 22,173 kW pada Gambar 4.8, dan total deviasi menjadi -0,078.

**5. Kasus (A-5) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2**

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-5)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0.96	0.48	@ 24, 31
DG	1	0.9	0.48	@ 14



**Gambar 4.9** Kerugian daya untuk kasus (A-5)

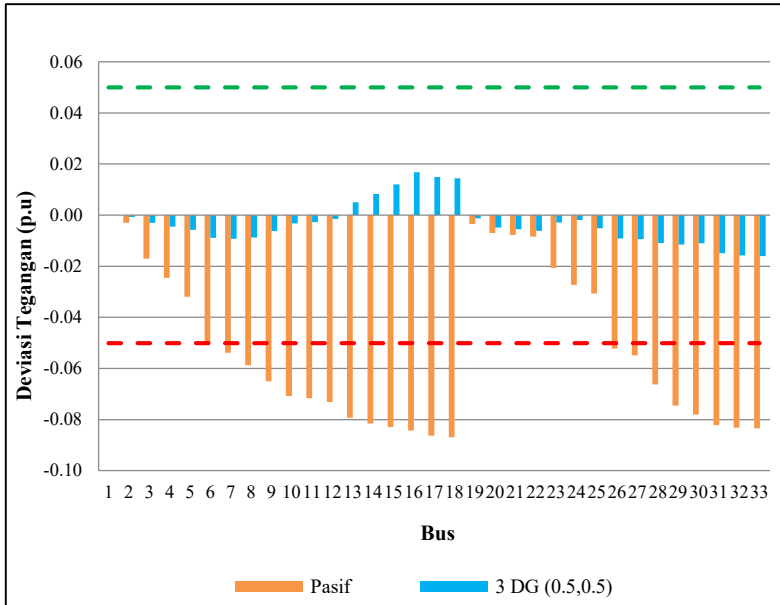
Pada kasus (A-5) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran 3 DG dengan mempertimbangkan nilai pembobotan (0,8) kerugian daya, (0,2) deviasi tegangan yang didapatkan oleh tabel 4.8. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,59 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 22,129 kW ditunjukkan Gambar 4.9, dan rata deviasi menjadi -0,094.

**6. Kasus (A-6) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8**

Pada kasus (A-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.9.

**Tabel 4.9** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A-6)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 25, 30
DG	1	0,72	0,36	@ 16

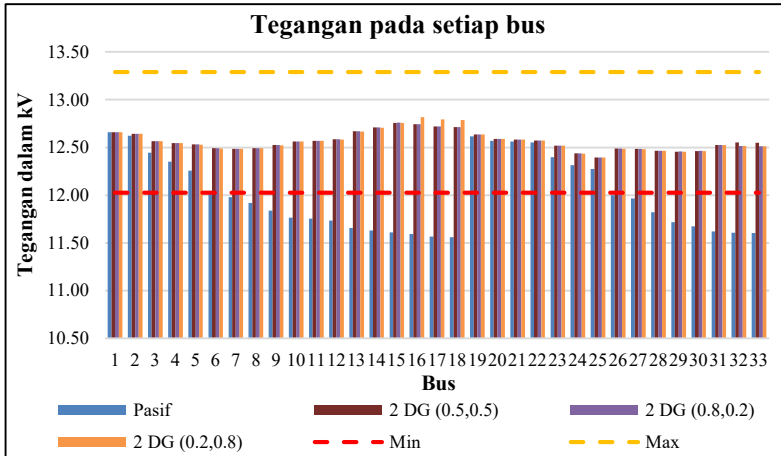


**Gambar 4.10** Deviasi tegangan untuk kasus (A-6)

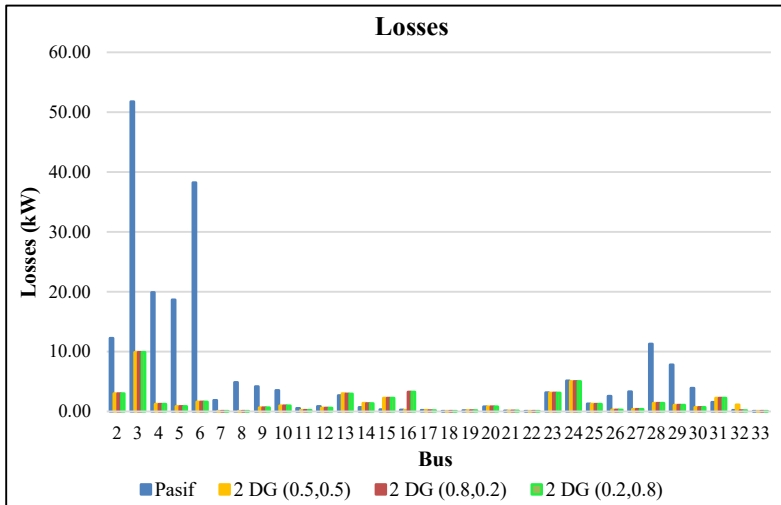
Pada kasus (A-6) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran 3 DG dengan mempertimbangkan nilai pembobotan (0,2) kerugian daya, (0,8) deviasi tegangan yang didapatkan oleh tabel 4.9. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,618 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 26,850 kW, dan total deviasi menjadi -0,0041 ditunjukkan pada Gambar 4.10. terlihat bahwa deviasi tegangan yang awalnya melewati batasan sudah lebih baik.

#### 4.2.2 Analisa hasil Simulasi GA Untuk menentukan Lokasi dan Ukuran DG yang Optimal

1. Analisa keseluruhan kasus dengan penempatan dan ukuran untuk 2 DG



**Gambar 4.11** Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus A.



**Gambar 4.12** Perbandingan kerugian daya tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG kasus A

Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan semua kasus, bahwa penempatan dan ukuran untuk 2 DG akan membuat sistem menjadi kondisi yang optimal dengan dipengaruhi pembobotan yang berbeda.

Pembobotan dengan nilai (0,5) untuk minimum kerugian daya dan (0,5) minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil kerugian daya yang minimum sebesar 44,285 kW, total deviasi tegangan (-0,2452) dan rata-rata tegangan 12,566 kV.

Saat nilai pembobotan (0,8) minimum kerugian daya dan (0,2) deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total kerugian daya yang minimum sebesar 43,263 kW, total deviasi tegangan (-0,2504) dan rata-rata tegangan 12,564 kV.

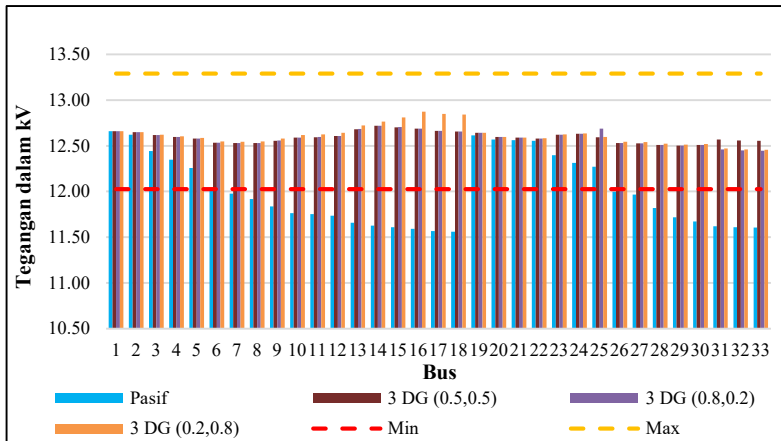
Untuk nilai pembobotan (0,8) minimum deviasi tegangan dan (0,2) minimum kerugian daya maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total deviasi tegangan (-0,2350), total kerugian daya 46,276 kW dan rata-rata tegangan 12,570 kV. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan memberikan nilai pembobotan yang sama didapatkan hasil yang lebih optimal. Dan berikut tabel perbandingan dari ketiga kasus untuk penempatan dan ukuran dengan 2 DG.

**Tabel 4.10** Perbandingan hasil simulasi untuk 2 DG

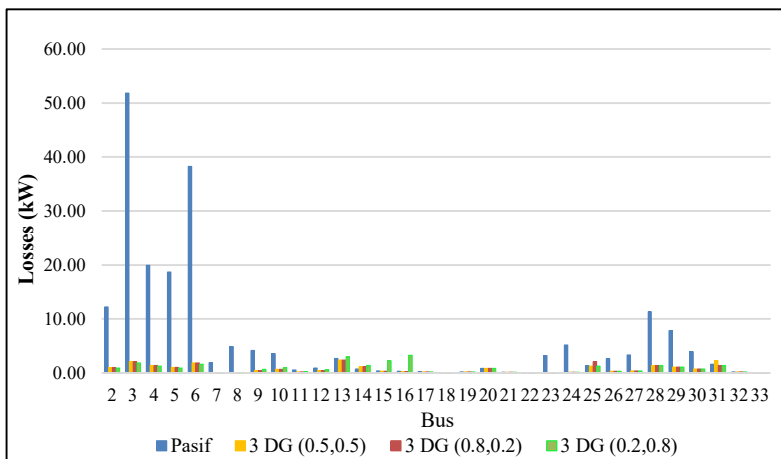
No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapasitas		$\Sigma$ Kerugian daya (kW)	$\Sigma$ Deviasi Tegangan	Persen (%)
			MW	MVar			
1	Tanpa DG	-	-	-	202,7	-1,7012	-
2	2 DG pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5	15 32	0,96	0,48	44,285	-0,2452	78,15%
3	2 DG pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2	15 31	0,96	0,48	43,263	-0,2504	78,65%
4	2 DG pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8	16 31	0,96	0,48	46,276	-0,2350	77,17%



- Analisa keseluruhan kasus dengan penempatan dan ukuran untuk 3 DG



**Gambar 4.13** Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG.



**Gambar 4.14** Perbandingan kerugian daya tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG

Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan semua kasus yang dilakukan. Bahwa penempatan dan ukuran untuk 3 DG akan membuat sistem menjadi kondisi yang optimal dengan dipengaruhi pembobotan pada masing-masing fungsi objektif yang berbeda. Pembobotan dengan nilai (0,5) untuk minimum kerugian daya dan (0,5) minimum deviasi tegangan akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal ditunjukkan pada tabel 4.7 dengan hasil kerugian daya yang minimum sebesar 22,173 kW dengan persentase penurunan 78,15% dari total kerugian daya yang belum di optimasi, sedangkan total deviasi tegangan (-0,1652) dan rata-rata 12,597 kV.

Saat pembobotan dengan nilai (0,8) untuk minimum kerugian daya dan (0,2) minimum deviasi tegangan akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal ditunjukkan pada tabel 4.8 dengan hasil kerugian daya yang minimum sebesar 22,173 kW dengan persentase penurunan 78,15% dari total kerugian daya yang belum di optimasi, sedangkan total deviasi tegangan (-0,1652) dan rata-rata tegangan 12,597 kV.

Untuk pembobotan lebih diberatkan pada minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total deviasi tegangan (-0,0041), total kerugian daya 26,850 kW dan rata-rata 12,618 kV. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan memberikan nilai pembobotan yang sama didapatkan hasil yang lebih optimal. Dan berikut tabel perbandingan dari ketiga kasus untuk penempatan dan ukuran dengan 3 DG.

**Tabel 4.11** Perbandingan hasil simulasi untuk 3 DG

No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapasitas		$\Delta$ Kerugian daya (kW)	$\Delta$ Deviasi Tegangan	Persentase (%)
			MW	MVar			
1	Tanpa DG	-	-		202,7	-1,7012	-
2	3 DG pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5	14	0,9	0,45	22,173	-0,1652	89,06%
		24	0,96	0,48			
		31	0,96	0,48			

**Tabel 4.11** Perbandingan hasil simulasi untuk 3 DG (lanjutan)

No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapabilitas		$\Sigma$ Kerugian daya (kW)	$\Sigma$ Deviasi Tegangan	Persen (%)
			MW	MVar			
3	3 DG pembobotan kerugian daya (0,8) dan deviasi tegangan (0,2)	14	0,9	0,45	22,129	-0,1837	89,1%
		25	0,96	0,48			
		31	0,96	0,48			
4	3 DG pembobotan kerugian daya (0,2) dan deviasi tegangan (0,8)	16	0,96	0,48	26,850	-0,1098	86,75%
		24	0,96	0,48			
		31	0,96	0,48			

#### 4.3 Kasus B Base Sistem IEEE 69 Bus

Simulasi aliran daya awal dilakukan untuk mengetahui kondisi atau karakteristik dari sistem seperti nilai tegangan dan arus tiap bus sehingga didapatkan nilai rugi-kerugian daya deviasi tegangan pada sistem.

Hasil Simulasi aliran daya awal didapatkan nilai tegangan bus dan nilai deviasi tegangan bus pada sistem, yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4.12** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 69 bus

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	12,660	12,660	0,000%
2	12,660	12,660	0,000%
3	12,659	12,659	0,000%
4	12,658	12,658	0,000%
5	12,648	12,648	0,000%
6	12,535	12,535	0,000%
7	12,418	12,418	0,0001%

**Tabel 4.12** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
8	12,390	12,390	0,0002%
9	12,376	12,376	0,0002%
10	12,314	12,314	0,0002%
11	12,300	12,300	0,0002%
12	12,262	12,262	0,0002%
13	12,226	12,226	0,0002%
14	12,191	12,191	0,0002%
15	12,156	12,156	0,0002%
16	12,150	12,150	0,0003%
17	12,139	12,139	0,0002%
18	12,139	12,139	0,0003%
19	12,134	12,134	0,0002%
20	12,130	12,130	0,0002%
21	12,125	12,125	0,0002%
22	12,125	12,125	0,0002%
23	12,124	12,124	0,0002%
24	12,122	12,122	0,0003%
25	12,121	12,121	0,0002%
26	12,121	12,121	0,0003%
27	12,121	12,121	0,0003%
28	12,659	12,659	0,0000%
29	12,658	12,658	0,0000%
30	12,657	12,658	0,0099%
31	12,656	12,657	0,0014%
32	12,655	12,653	0,0133%
33	12,652	12,650	0,0134%
34	12,648	12,646	0,0134%
35	12,647	12,645	0,0134%

**Tabel 4.12** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
36	12,633	12,633	0,0000%
37	12,630	12,630	0,0000%
38	12,628	12,628	0,0000%
39	12,628	12,628	0,0000%
40	12,628	12,628	0,0000%
41	12,619	12,619	0,0000%
42	12,615	12,615	0,0000%
43	12,615	12,615	0,0000%
44	12,615	12,615	0,0000%
45	12,613	12,613	0,0000%
46	12,613	12,613	0,0000%
47	12,657	12,657	0,0000%
48	12,642	12,642	0,0002%
49	12,593	12,593	0,0006%
50	12,586	12,586	0,0007%
51	12,390	12,390	0,0002%
52	12,390	12,390	0,0002%
53	12,341	12,341	0,0003%
54	12,300	12,300	0,0003%
55	12,243	12,243	0,0003%
56	12,188	12,188	0,0004%
57	11,904	11,903	0,0007%
58	11,764	11,763	0,0053%
59	11,709	11,709	0,0054%
60	11,646	11,645	0,0054%
61	11,552	11,552	0,0056%
62	11,549	11,548	0,0056%
63	11,544	11,543	0,0056%

**Tabel 4.12** Tegangan tiap bus pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus	Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
64	11,520	11,519	0,0057%
65	11,512	11,512	0,0057%
67	12,300	12,300	0,0002%
68	12,300	12,300	0,0002%
69	12,257	12,257	0,0002%

**Tabel 4.13** Kerugian Jaring antar bus pada sistem IEEE 69 bus

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaring		
		MATLAB	ETAP	Error (%)
1	2	0,0000	0,0000	0,000%
2	3	0,0743	0,0743	0,032%
3	4	0,0743	0,0743	0,032%
4	5	0,1930	0,1931	0,034%
5	6	1,9133	1,9135	0,012%
6	7	27,8993	27,9026	0,012%
7	8	28,9935	28,9969	0,012%
8	9	6,8100	6,8108	0,012%
9	10	3,3337	3,3341	0,012%
10	11	4,5875	4,5876	0,002%
11	12	0,9730	0,9730	0,002%
12	13	2,0731	2,0732	0,002%
13	14	1,1786	1,1786	0,002%
14	15	1,1408	1,1408	0,002%
15	16	1,1010	1,1011	0,002%
16	17	0,2046	0,2046	0,002%
17	18	0,2895	0,2895	0,002%
18	19	0,0023	0,0023	0,002%
19	20	0,0880	0,0880	0,002%

**Tabel 4.13** Kerugian Jaringan antar bus pada sistem IEEE 69 bus  
(lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan		
		MATLAB	ETAP	Error (%)
20	21	0,0566	0,0566	0,002%
21	22	0,0907	0,0907	0,002%
22	23	0,0003	0,0003	0,002%
23	24	0,0029	0,0029	0,002%
24	25	0,0063	0,0063	0,002%
25	26	0,0015	0,0015	0,002%
26	27	0,0006	0,0006	0,002%
3	28	0,0000	0,0000	0,000%
28	29	0,0003	0,0003	0,000%
29	30	0,0026	0,0026	0,000%
30	31	0,0057	0,0057	0,000%
31	32	0,0010	0,0010	0,000%
32	33	0,0051	0,0051	0,000%
33	34	0,0121	0,0121	0,000%
34	35	0,0101	0,0101	0,000%
3	36	0,0005	0,0005	0,000%
36	37	0,4706	0,4706	0,000%
37	38	0,0151	0,0151	0,000%
38	39	0,0173	0,0173	0,000%
39	40	0,0050	0,0050	0,000%
40	41	0,0002	0,0002	0,000%
41	42	0,0484	0,0484	0,000%
42	43	0,0201	0,0201	0,000%
43	44	0,0027	0,0027	0,000%
44	45	0,0005	0,0005	0,000%
45	46	0,0061	0,0061	0,000%
4	47	0,0000	0,0000	0,000%

**Tabel 4.13** Kerugian Jaring antar bus pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaring		
		MATLAB	ETAP	Error (%)
47	48	0,0232	0,0233	0,113%
48	49	0,5815	0,5822	0,113%
49	50	1,6296	1,6316	0,124%
8	51	0,1156	0,1158	0,125%
51	52	0,0017	0,0017	0,001%
9	53	0,0000	0,0000	0,001%
53	54	5,7758	5,7768	0,017%
54	55	6,7068	6,7079	0,017%
55	56	9,1211	9,1227	0,017%
56	57	8,7866	8,7881	0,017%
57	58	49,6649	49,6735	0,017%
58	59	24,4795	24,5962	0,474%
59	60	9,5019	9,5036	0,017%
60	61	10,6668	10,6686	0,017%
61	62	14,0207	14,0231	0,017%
62	63	0,1120	0,1120	0,018%
63	64	0,1349	0,1349	0,018%
64	65	0,6609	0,6610	0,018%
11	66	0,0412	0,0412	0,018%
66	67	0,0026	0,0026	0,002%
12	68	0,0000	0,0000	0,002%
68	69	0,0233	0,0233	0,002%
Total		223,7626	223,9104	0,066%



**Tabel 4.14** Deviasi Tegangan pada sistem IEEE 69 bus

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
1	0,00000	0,00000	0,0000%
2	-0,00003	-0,00003	0,0000%
3	-0,00007	-0,00007	0,0000%
4	-0,00016	-0,00016	0,0000%
5	-0,00097	-0,00097	0,0000%
6	-0,00985	-0,00985	0,0000%
7	-0,01909	-0,01909	0,0000%
8	-0,02129	-0,02129	0,0000%
9	-0,02242	-0,02242	0,0000%
10	-0,02732	-0,02732	0,0000%
11	-0,02840	-0,02840	0,0000%
12	-0,03147	-0,03147	0,0000%
13	-0,03427	-0,03427	0,0000%
14	-0,03704	-0,03705	0,0000%
15	-0,03979	-0,03979	0,0000%
16	-0,04030	-0,04030	0,0000%
17	-0,04113	-0,04114	0,0000%
18	-0,04114	-0,04114	0,0000%
19	-0,04157	-0,04157	0,0000%
20	-0,04184	-0,04185	0,0000%
21	-0,04229	-0,04229	0,0000%
22	-0,04229	-0,04229	0,0000%
23	-0,04234	-0,04235	0,0000%
24	-0,04246	-0,04246	0,0000%
25	-0,04255	-0,04255	0,0000%
26	-0,04258	-0,04258	0,0000%
27	-0,04258	-0,04258	0,0000%
28	-0,00007	-0,00007	0,0000%

**Tabel 4.14** Deviasi Tegangan pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
29	-0,00015	-0,00015	0,0000%
30	-0,00026	-0,00017	0,0000%
31	-0,00029	-0,00027	0,0000%
32	-0,00039	-0,00053	0,0000%
33	-0,00065	-0,00078	0,0000%
34	-0,00098	-0,00111	0,0000%
35	-0,00104	-0,00118	0,0000%
36	-0,00217	-0,00217	0,0000%
37	-0,00234	-0,00234	0,0000%
38	-0,00250	-0,00250	0,0000%
39	-0,00254	-0,00254	0,0000%
40	-0,00254	-0,00255	0,0000%
41	-0,00324	-0,00324	0,0000%
42	-0,00353	-0,00353	0,0000%
43	-0,00357	-0,00357	0,0000%
44	-0,00358	-0,00358	0,0000%
45	-0,00368	-0,00368	0,0000%
46	-0,00368	-0,00368	0,0000%
47	-0,00021	-0,00021	0,0000%
48	-0,00145	-0,00146	0,0000%
49	-0,00530	-0,00530	0,0000%
50	-0,00584	-0,00585	0,0000%
51	-0,02133	-0,02133	0,0000%
52	-0,02134	-0,02134	0,0000%
53	-0,02520	-0,02521	0,0000%
54	-0,02845	-0,02845	0,0000%
55	-0,03292	-0,03292	0,0000%
56	-0,03729	-0,03729	0,0000%

**Tabel 4.14** Deviasi Tegangan pada sistem IEEE 69 bus (lanjutan)

Bus	Deviasi Tegangan		
	MATLAB (kV)	ETAP (kV)	Error (%)
57	-0,05975	-0,05976	0,0000%
58	-0,07081	-0,07086	0,0000%
59	-0,07509	-0,07514	0,0000%
60	-0,08011	-0,08016	0,0000%
61	-0,08751	-0,08756	0,0000%
62	-0,08780	-0,08785	0,0000%
63	-0,08818	-0,08823	0,0000%
64	-0,09008	-0,09014	0,0000%
65	-0,09066	-0,09071	0,0000%
67	-0,02845	-0,02846	0,0000%
68	-0,02845	-0,02846	0,0000%
69	-0,03180	-0,03180	0,0000%

Pada tabel 4.12 menampilkan tegangan bus sistem, bahwa bus berada diluar batasan toleransi yang ditentukan sebelumnya ( $\pm 5\%$  12,66 kV), kondisi *undervoltage* muncul pada bus 57 sampai bus 65.

Pada tabel 4.13 menampilkan nilai kerugian daya pada sistem, dan tabel 4.14 menampilkan nilai deviasi tegangan pada sistem, indeks negative menunjukkan kondisi penurunan tegangan bus dan indeks positif menunjukkan kenaikan tegangan bus dengan batasan ( $\pm 5\%$ ) ditandai yang berada pada bus 57 sampai 65.

#### 4.4 Optimasi Menggunakan GA Untuk Lokasi dan Ukuran DG Kasus B

Simulasi optimasi menggunakan GA pada sistem dibutuhkan untuk mendapatkan lokasi yang optimal untuk memasang DG, Pemasangan DG dengan suplai daya aktif dan reaktif akan memperbaiki sistem menjadi lebih baik, sehingga sistem memiliki nilai rugi saluran minimum dan nilai deviasi yang minimum berada pada standar  $\pm 5\%$ .

Simulasi akan dibagi dalam beberapa kondisi agar memudahkan proses analisa sistem, kondisi akan berhenti saat didapatkan sistem

dengan nilai rugi saluran minimum dan nilai deviasi minimum tidak melebihi  $\pm 5\%$ , kondisinya yaitu :

7. Kasus (B-1) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5
8. Kasus (B-2) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2
9. Kasus (B-3) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8
10. Kasus (B-4) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5
11. Kasus (B-5) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2
12. Kasus (B-6) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8

#### 4.4.1 Hasil Simulasi GA Untuk menentukan Lokasi dan Ukuran DG yang Optimal

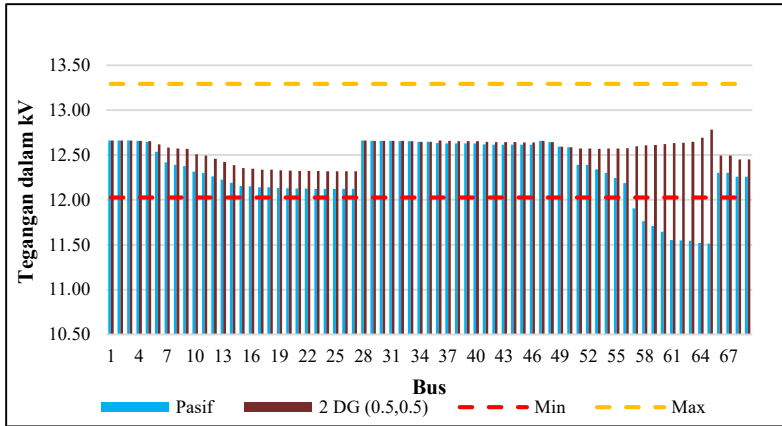
Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil simulasi GA untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang optimal sesuai dengan kondisi yang sudah ditentukan pada sub bab sebelumnya. Hasil yang ditampilkan adalah tegangan pada setiap bus, nilai deviasi tegangan tiap bus, dan kerugian daya pada sistem aliran daya aktif yang sudah terinjeksi DG.

7. Kasus (B-1) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5

Pada kasus (B-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.15.

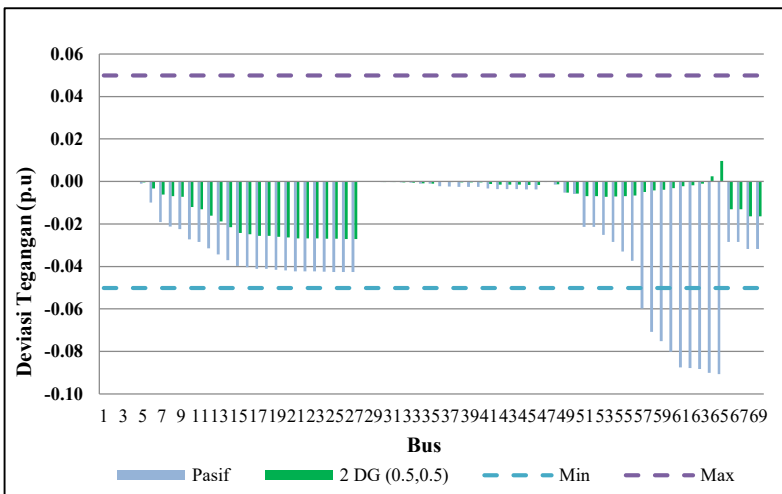
**Tabel 4.15** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-1)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 61, 65

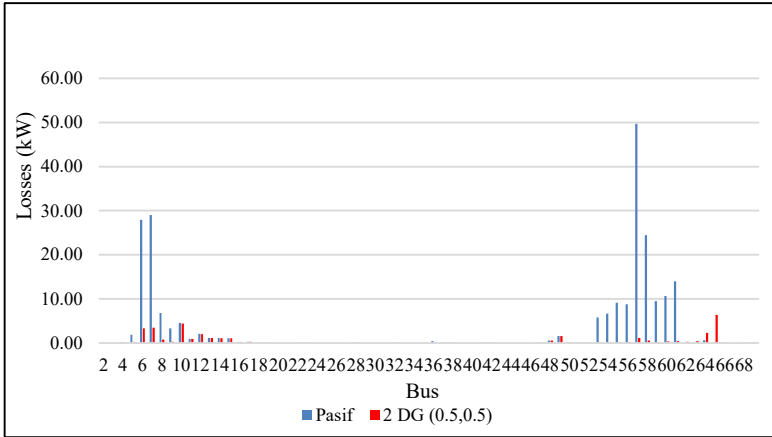


**Gambar 4.15** Tegangan pada setiap bus kasus (B-1)

Tegangan setiap bus untuk kasus (B-1) dengan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya dan (0,5) tegangan mengalami peningkatan yang signifikan pada bus 57 sampai 65 dibandingkan ketika tidak menginjeksi DG dengan rata-rata 12,566 kV.



**Gambar 4.16** Deviasi Tegangan pada setiap bus kasus (B-1)



**Gambar 4.17** Kerugian daya pada setiap bus kasus (B-1)

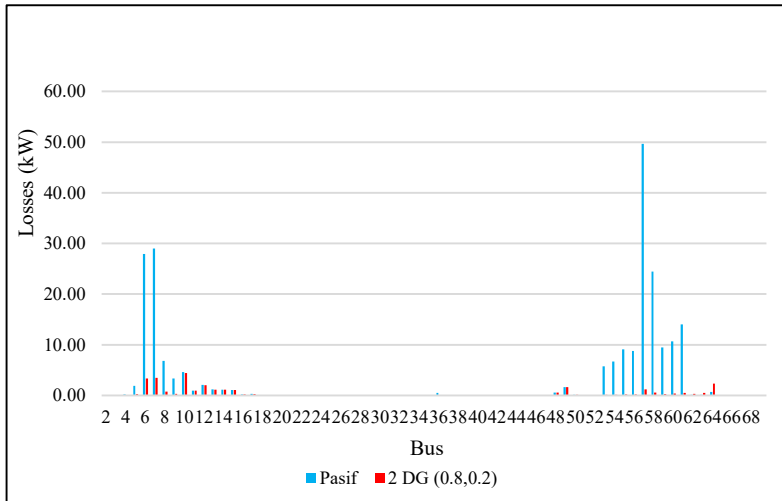
Pada kasus (B-1) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.15. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,553 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 35,121 kW, dan total deviasi menjadi -0,5828. Seperti pada Gambar 4.15-4.17

8. Kasus (B-2) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2

Pada kasus (B-2) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.16.

**Tabel 4.16** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-2)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 61, 64



**Gambar 4.18** Kerugian daya pada setiap bus kasus (B-2)

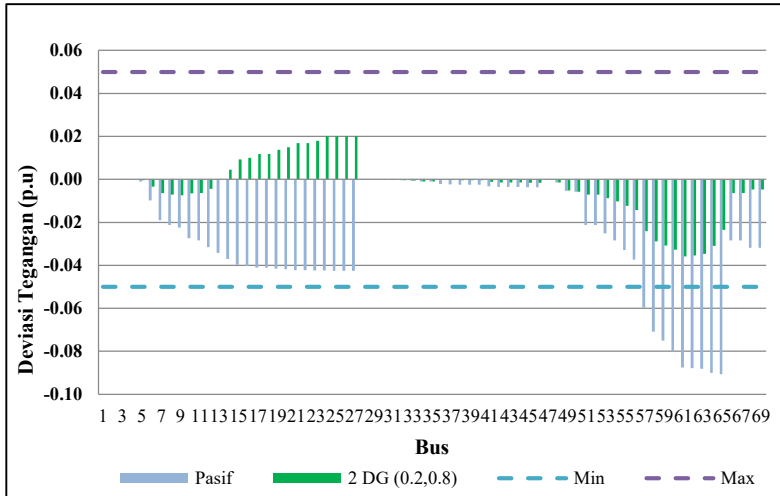
Pada kasus (B-2) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.16. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,552 kV, dengan total deviasi menjadi -0,5867, dan total kerugian daya menurun sampai 28,782 kW. Seperti pada Gambar 4.18

9. Kasus (B-3) 2 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8

Pada kasus (B-3) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.17.

**Tabel 4.17** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-3)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 24, 65



**Gambar 4.19** Deviasi Tegangan pada setiap bus kasus (B-3)

Pada kasus (B-3) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.17. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,620 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 69,778 kW, dan total deviasi menjadi -0,2187. Seperti pada Gambar 4.19

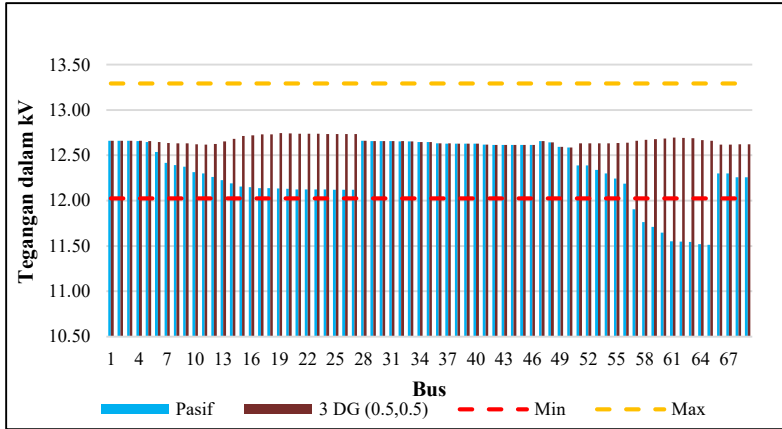
10. Kasus (B-4) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5

Pada kasus (B-4) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.18.

**Tabel 4.18** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-4)

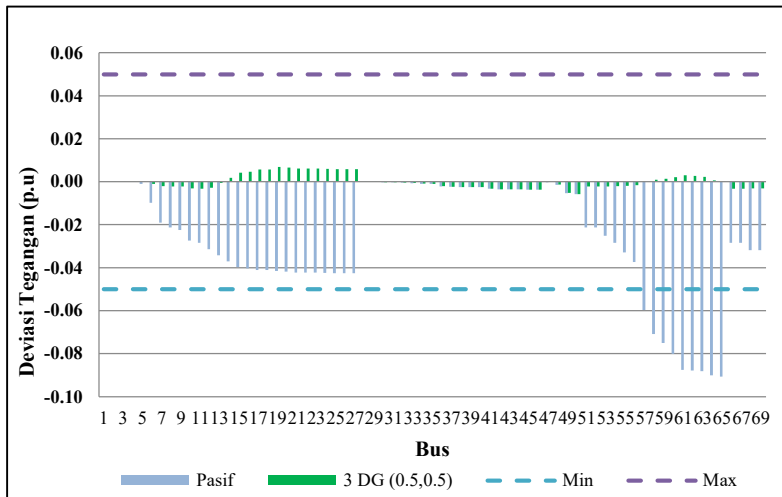
	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 61, 61
DG	1	0,66	0,33	@ 19



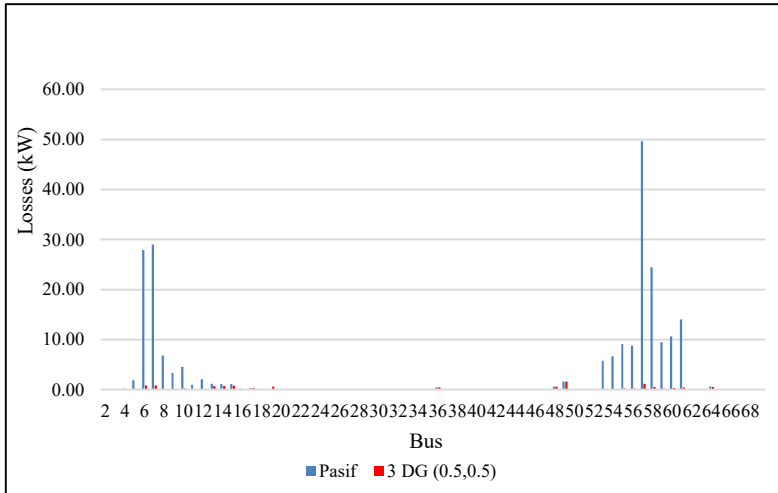


**Gambar 4.20** Tegangan pada setiap bus kasus (B-4)

Tegangan setiap bus untuk kasus (B-4) dengan nilai pembobotan (0,5) kerugian daya dan (0,5) tegangan mengalami peningkatan yang signifikan pada bus 57 sampai 65 dibandingkan ketika tidak menginjeksi DG dengan rata-rata 12,566 kV.



**Gambar 4.21** Deviasi Tegangan pada setiap bus kasus (B-4)



**Gambar 4.22** Kerugian daya pada setiap bus kasus (B-4)

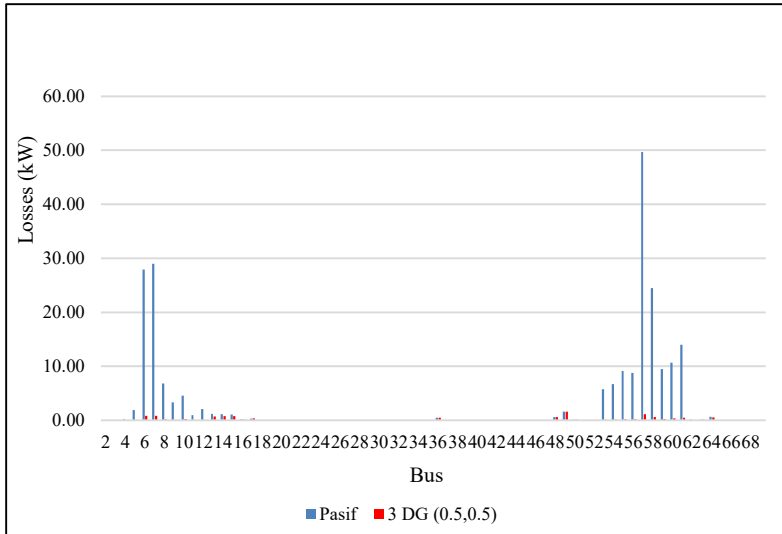
Pada kasus (B-4) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.18. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,66 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 13,1879 kW, dan total deviasi menjadi -0,0012. Seperti pada Gambar 4.20-4.22.

**11. Kasus (B-5) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2**

Pada kasus (B-5) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.19.

**Tabel 4.19** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-5)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	0,96	0,48	@ 61, 61
DG	1	0,66	0,33	@ 17



**Gambar 4.23** Kerugian daya pada setiap bus kasus (B-5)

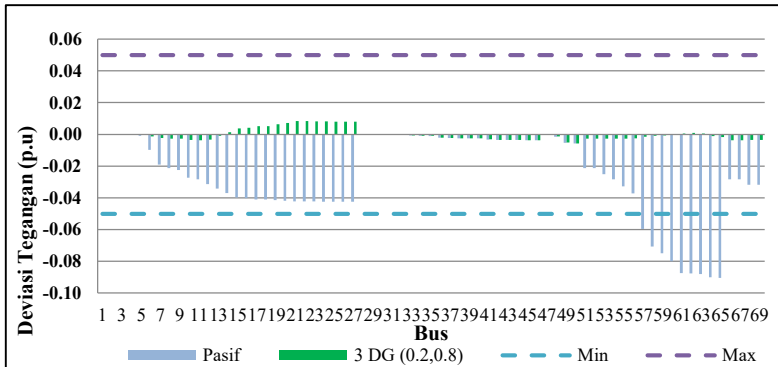
Pada kasus (B-5) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.19. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,657 kV, dengan total deviasi menjadi -0,0151, dan total kerugian daya menurun sampai 12,677 kW. Seperti pada Gambar 4.23.

**12. Kasus (B-6) 3 DG dengan pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8**

Pada kasus (B-6) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.20.

**Tabel 4.20** lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (B-6)

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	1	0,96	0,48	@ 61
DG	1	0,66	0,33	@ 21
DG	1	0,9	0,45	@ 62

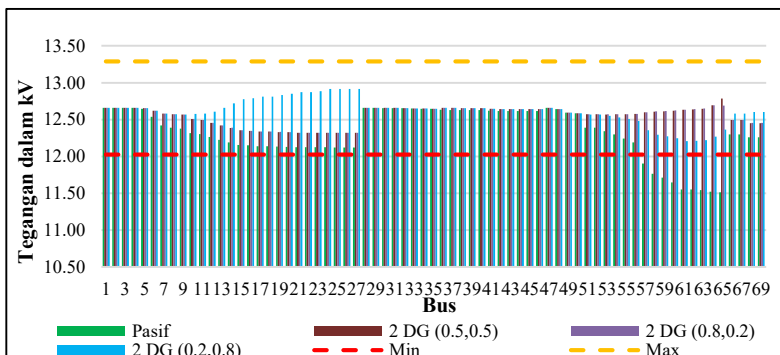


**Gambar 4.24** Deviasi tegangan pada setiap bus kasus (B-6)

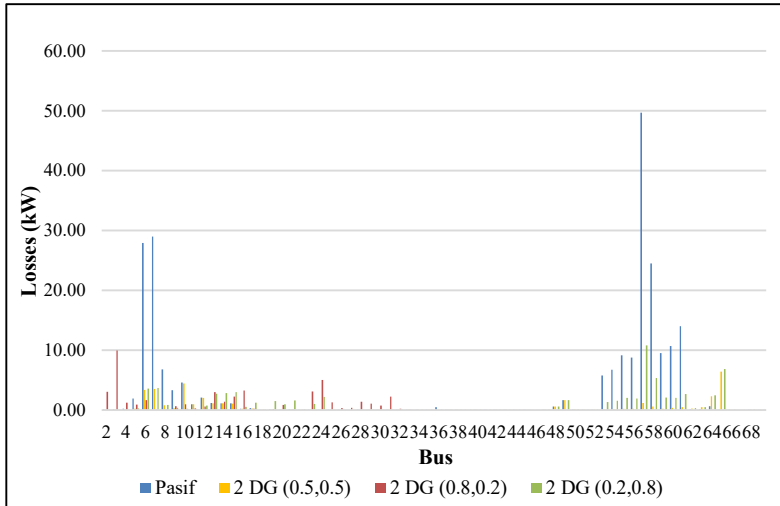
Pada kasus (B-6) Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.20. Dan hasil dari aliran daya aktif menunjukkan tegangan rata-rata menjadi 12,657 kV, dengan total kerugian daya menurun sampai 14,068 kW, dan total deviasi menjadi -0,0143. Seperti pada Gambar 4.24

#### 4.4.2 Analisa hasil Simulasi GA Untuk menentukan Lokasi dan Ukuran DG yang Optimal

1. Analisa keseluruhan kasus dengan penempatan dan ukuran untuk 2 DG



**Gambar 4.25** Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG.



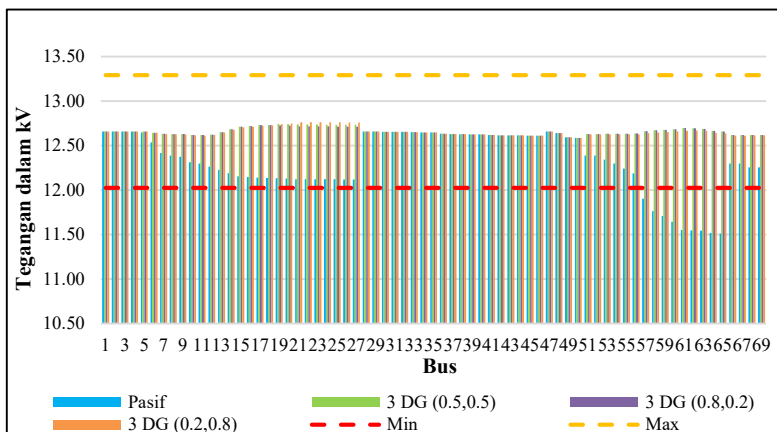
**Gambar 4.26** Perbandingan kerugian daya tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 2 DG

Seperti yang terlihat pada tabel 4.15–4.17 didapatkan lokasi penempatan dan ukuran DG yang berbeda-beda dengan masing-masing pembobotan berbeda juga. Dan saat melihat Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 yang menunjukkan semua kasus, bahwa penempatan dan ukuran untuk 2 DG akan membuat sistem menjadi kondisi yang optimal dengan dipengaruhi pembobotan yang berbeda. Pembobotan fungsi objektif dengan nilai sama untuk minimum kerugian daya dan minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil kerugian daya yang minimum sebesar 35,121 kW, total deviasi tegangan (-0,5828) dan rata-rata 12,553 kV. Saat pembobotan fungsi objektif lebih ditekankan pada minimum kerugian daya maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total kerugian daya yang minimum sebesar 28,782 kW, total deviasi tegangan (-0,5867) dan rata-rata 12,552 kV. Untuk pembobotan fungsi objektif lebih ditekankan pada minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total deviasi tegangan (-0,2187), total kerugian daya 69,778 kW dan rata-rata 12,620 kV.

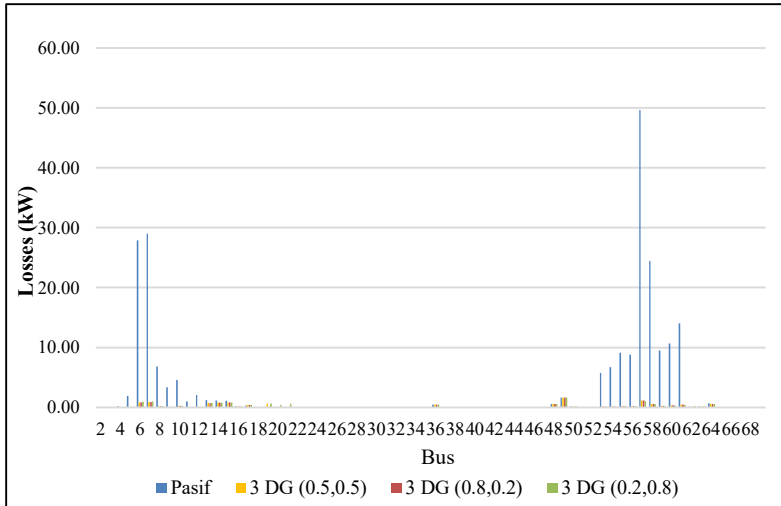
**Tabel 4.21** Perbandingan hasil simulasi untuk 2 DG

No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapasitas		$\Sigma$ Kerugian daya (kW)	$\Sigma$ Deviasi Tegangan	Persentase (%)
			MW	MVar			
1	Tanpa DG	-	-		223,8	-1,84228	-
2	2 DG pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5	61 65	0,96	0,48	35,121	-0,5828	84,3%
3	2 DG pembobotan kerugian daya 0,8 dan deviasi tegangan 0,2	61 64	0,96	0,48	28,782	-0,5868	87,13%
4	2 DG pembobotan kerugian daya 0,2 dan deviasi tegangan 0,8	24 65	0,96	0,48	69,778	-0,2187	68,82%

- Analisa keseluruhan kasus dengan penempatan dan ukuran untuk 3 DG



**Gambar 4.27** Perbandingan tegangan tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG.



**Gambar 4.28** Perbandingan kerugian daya tiap kondisi untuk penempatan dan ukuran 3 DG

Seperti yang terlihat pada tabel 4.18–4.20 didapatkan lokasi penempatan dan ukuran DG yang berbeda-beda dengan masing-masing pembobotan berbeda juga. Dan saat melihat Gambar 4.27 dan Gambar 4.28 yang menunjukkan semua kasus, bahwa penempatan dan ukuran untuk 2 DG akan membuat sistem menjadi kondisi yang optimal dengan dipengaruhi pembobotan yang berbeda. Pembobotan fungsi objektif dengan nilai sama untuk minimum kerugian daya dan minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil kerugian daya yang minimum sebesar 13,188 kW, total deviasi tegangan (-0,0012) dan rata-rata 12,66 kV. Saat pembobotan fungsi objektif lebih ditekankan pada minimum kerugian daya maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total kerugian daya yang minimum sebesar 12,677 kW, total deviasi tegangan (-0,0151) dan rata-rata 12,657 kV. Untuk pembobotan fungsi objektif lebih ditekankan pada minimum deviasi tegangan maka akan didapatkan lokasi dan ukuran DG yang optimal dengan hasil total deviasi tegangan (-0,0143), total kerugian daya 14,07 kW dan rata-rata 12,657 kV. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan memberikan nilai pembobotan yang sama didapatkan hasil yang lebih optimal.

**Tabel 4.22** Perbandingan hasil simulasi 3 DG

No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapabilitas		$\Sigma$ Kerugian daya (kW)	$\Sigma$ Deviasi Tegangan	Persentase (%)
			MW	MVar			
1	Tanpa DG	-	-		223,8	-1,84228	-
2	3 DG pembobotan kerugian daya 0,5 dan deviasi tegangan 0,5	19	0,66	0,33	13,188	-0,0012	94,1%
		61	0,96	0,48			
		61	0,96	0,48			
3	3 DG pembobotan kerugian daya (0,8) dan deviasi tegangan (0,2)	17	0,66	0,33	12,677	-0,0151	94,33%
		61	0,96	0,48			
		61	0,96	0,48			
4	3 DG pembobotan kerugian daya (0,2) dan deviasi tegangan (0,8)	21	0,96	0,48	14,068	-0,0143	93,71%
		62	0,96	0,48			
		61	0,96	0,48			

#### 4.5 Validasi Hasil Perhitungan MATLAB dengan software ETAP

Pada penelitian ini digunakan metode *modified Backward-Forward* untuk mencari nilai aliran daya pada saluran distribusi dengan software MATLAB. Hasil perhitungan metode *modified Backward-Forward* tersebut perlu divalidasi untuk dibuktikan nilai kebenarannya. Salah satu alat/*tool* yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem tenaga listrik dan memvalidasi hasil perhitungan adalah software ETAP.

Validasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Validasi



didapat dengan membandingkan selisih perhitungan dari kedua metode tersebut.

#### 4.5.1 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaring IEEE 33 Bus

Tabel 4.23 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total  $P$  Losses dari setiap kasus pada Sistem Jaring 33 Bus. *Error* maksimal untuk validasi nilai total losses dari setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33.

**Tabel 4.23** Hasil Validasi nilai total  $P$  losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 33 bus

Kasus	P Loss MATLAB (kW)	P Loss ETAP (kW)	Error (%)
A-1	44,285	44,273	0,03%
A-2	43,263	43,250	0,03%
A-3	46,276	46,264	0,03%
A-4	22,173	22,160	0,06%
A-5	22,129	22,116	0,06%
A-6	26,850	26,838	0,04%

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error yg besar berada pada kasus A-5 sebesar 0,06%.

#### 4.5.2 Validasi Hasil Perhitungan Sistem Jaring IEEE 69 Bus

Tabel 4.24 menunjukkan hasil validasi untuk nilai total  $P$  Losses dari setiap kasus pada Sistem Jaring 69 Bus. *Error* maksimal untuk validasi nilai total losses dari setiap kasus pada sistem jaring IEEE 69.

**Tabel 4.24** Hasil Validasi nilai total  $P$  losses setiap kasus pada sistem jaring IEEE 69 bus

Kasus	P Loss MATLAB (kW)	P Loss ETAP (kW)	Error (%)
B-1	35,121	35,582	1,3%
B-2	28,782	29,242	2%
B-3	69,778	70,263	0,07%
B-4	13,1879	13,179	0,06%
B-5	12,677	12,669	0,07%
B-6	14,068	14,58	0,032%

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error yg besar berada pada kasus B-2 sebesar 2%.

#### 4.6 Perbandingan Metode untuk GA dan PSO

Pada penelitian ini digunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) didapatkan untuk sistem IEEE 33 bus untuk kasus A-4 dan akan di bandingkan oleh metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) [10] dengan sistem yang sama dan ukuran dan DG yang sama didapatkan hasil seperti dibawah ini:

**Tabel 4.25** Hasil Perbandingan Metode GA dan PSO

Metode	Lokasi DG	Ukuran DG		Losses	Iterasi
		MW	MVar		
GA	14	0,9	0,45	22,160 kW	250
	24	0,96	0,48		
	31	0,96	0,48		
PSO	3	1,0	0,5	28,0332 kW	250
	13	1,0	0,5		
	29	1,0	0,5		

Dari tabel diatas didapatkan bahwa metode yang direkomendasikan mendapat nilai rugi jaringan yang terbaik dibandingkan dengan metode PSO.

## Lampiran

1. Hasil kasus A-1 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	3.029	3.028
2	3	9.909	9.904
3	4	1.232	1.230
4	5	0.889	0.887
5	6	1.623	1.619
6	7	0.020	0.020
7	8	0.043	0.044
8	9	0.673	0.674
9	10	0.973	0.974
10	11	0.248	0.248
11	12	0.592	0.593
12	13	3.010	3.012
13	14	1.396	1.396
14	15	2.277	2.278
15	16	0.233	0.233
16	17	0.208	0.208
17	18	0.044	0.044
2	19	0.160	0.160
19	20	0.830	0.830
20	21	0.100	0.100
21	22	0.044	0.044
3	23	3.119	3.119
23	24	5.043	5.043
24	25	1.262	1.262
6	26	0.297	0.296

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
26	27	0.387	0.387
27	28	1.394	1.392
28	29	1.087	1.086
29	30	0.734	0.733
30	31	2.251	2.252
31	32	1.166	1.166
32	33	0.011	0.011
Total		44.285	44.273

2. Hasil kasus A-1 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0015	-0.0015
3	-0.0075	-0.0075
4	-0.0090	-0.0090
5	-0.0102	-0.0102
6	-0.0134	-0.0134
7	-0.0137	-0.0137
8	-0.0133	-0.0133
9	-0.0107	-0.0107
10	-0.0077	-0.0077
11	-0.0071	-0.0071
12	-0.0059	-0.0059
13	0.0007	0.0007
14	0.0040	0.0040
15	0.0078	0.0078
16	0.0065	0.0065

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
17	0.0047	0.0047
18	0.0041	0.0041
19	-0.0020	-0.0020
20	-0.0056	-0.0056
21	-0.0063	-0.0063
22	-0.0069	-0.0069
23	-0.0110	-0.0110
24	-0.0177	-0.0177
25	-0.0209	-0.0209
26	-0.0137	-0.0137
27	-0.0139	-0.0139
28	-0.0154	-0.0154
29	-0.0161	-0.0161
30	-0.0156	-0.0156
31	-0.0106	-0.0106
32	-0.0085	-0.0085
33	-0.0088	-0.0088

3. Hasil kasus A-2 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	3.025	3.024
2	3	9.892	9.887
3	4	1.227	1.225
4	5	0.885	0.883
5	6	1.615	1.611
6	7	0.020	0.020
7	8	0.043	0.044

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
8	9	0.673	0.674
9	10	0.973	0.973
10	11	0.248	0.248
11	12	0.592	0.592
12	13	3.010	3.012
13	14	1.396	1.396
14	15	2.277	2.278
15	16	0.233	0.233
16	17	0.208	0.208
17	18	0.044	0.044
2	19	0.160	0.160
19	20	0.830	0.830
20	21	0.100	0.100
21	22	0.044	0.044
3	23	3.119	3.119
23	24	5.043	5.043
24	25	1.262	1.262
6	26	0.295	0.295
26	27	0.386	0.385
27	28	1.389	1.387
28	29	1.085	1.083
29	30	0.733	0.733
30	31	2.261	2.263
31	32	0.183	0.183
32	33	0.011	0.011
Total		43.263	43.250

4. Hasil kasus A-2 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0015	-0.0015
3	-0.0075	-0.0075
4	-0.0090	-0.0090
5	-0.0102	-0.0102
6	-0.0134	-0.0134
7	-0.0137	-0.0137
8	-0.0133	-0.0132
9	-0.0107	-0.0107
10	-0.0076	-0.0076
11	-0.0071	-0.0071
12	-0.0058	-0.0058
13	0.0007	0.0007
14	0.0040	0.0040
15	0.0078	0.0078
16	0.0065	0.0066
17	0.0047	0.0047
18	0.0042	0.0042
19	-0.0020	-0.0020
20	-0.0056	-0.0056
21	-0.0063	-0.0063
22	-0.0069	-0.0069
23	-0.0110	-0.0110
24	-0.0176	-0.0176
25	-0.0209	-0.0209
26	-0.0137	-0.0137
27	-0.0139	-0.0139

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
28	-0.0154	-0.0154
29	-0.0161	-0.0161
30	-0.0155	-0.0155
31	-0.0106	-0.0106
32	-0.0114	-0.0114
33	-0.0117	-0.0117

5. Hasil kasus A-3 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	3.025	3.024
2	3	9.892	9.887
3	4	1.227	1.225
4	5	0.885	0.883
5	6	1.615	1.611
6	7	0.020	0.020
7	8	0.043	0.044
8	9	0.673	0.674
9	10	0.973	0.973
10	11	0.248	0.248
11	12	0.592	0.592
12	13	3.010	3.012
13	14	1.396	1.396
14	15	2.277	2.278
15	16	0.233	0.233
16	17	0.208	0.208
17	18	0.044	0.044
2	19	0.160	0.160



Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
19	20	0.830	0.830
20	21	0.100	0.100
21	22	0.044	0.044
3	23	3.119	3.119
23	24	5.043	5.043
24	25	1.262	1.262
6	26	0.295	0.295
26	27	0.386	0.385
27	28	1.389	1.387
28	29	1.085	1.083
29	30	0.733	0.733
30	31	2.261	2.263
31	32	0.183	0.183
32	33	0.011	0.011
Total		43.263	43.250

**6. Hasil kasus A-3 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.**

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0015	-0.0015
3	-0.0075	-0.0075
4	-0.0090	-0.0090
5	-0.0103	-0.0103
6	-0.0135	-0.0134
7	-0.0138	-0.0138
8	-0.0133	-0.0133
9	-0.0108	-0.0108

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
10	-0.0078	-0.0078
11	-0.0072	-0.0072
12	-0.0060	-0.0060
13	0.0005	0.0005
14	0.0038	0.0038
15	0.0076	0.0076
16	0.0123	0.0124
17	0.0105	0.0105
18	0.0100	0.0100
19	-0.0020	-0.0020
20	-0.0056	-0.0056
21	-0.0063	-0.0063
22	-0.0069	-0.0069
23	-0.0111	-0.0111
24	-0.0177	-0.0177
25	-0.0210	-0.0210
26	-0.0137	-0.0137
27	-0.0140	-0.0140
28	-0.0154	-0.0154
29	-0.0161	-0.0161
30	-0.0156	-0.0156
31	-0.0106	-0.0106
32	-0.0115	-0.0115
33	-0.0117	-0.0117

7. Hasil kasus A-4 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.957	0.956
2	3	2.086	2.082
3	4	1.395	1.393
4	5	1.019	1.017
5	6	1.862	1.858
6	7	0.044	0.044
7	8	0.007	0.007
8	9	0.434	0.434
9	10	0.676	0.677
10	11	0.182	0.182
11	12	0.450	0.451
12	13	2.370	2.372
13	14	1.129	1.130
14	15	0.298	0.298
15	16	0.235	0.235
16	17	0.210	0.210
17	18	0.044	0.044
2	19	0.160	0.160
19	20	0.829	0.829
20	21	0.100	0.100
21	22	0.043	0.043
3	23	0.005	0.005
23	24	0.115	0.115
24	25	1.223	1.223
6	26	0.293	0.293
26	27	0.383	0.382
27	28	1.379	1.377

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
28	29	1.077	1.076
29	30	0.728	0.727
30	31	2.246	2.247
31	32	0.182	0.182
32	33	0.011	0.011
Total		22.1731	22.160

8. Hasil kasus A-4 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0008	-0.0008
3	-0.0033	-0.0033
4	-0.0050	-0.0049
5	-0.0063	-0.0063
6	-0.0099	-0.0099
7	-0.0104	-0.0103
8	-0.0102	-0.0102
9	-0.0082	-0.0082
10	-0.0056	-0.0056
11	-0.0051	-0.0051
12	-0.0041	-0.0040
13	0.0018	0.0018
14	0.0047	0.0048
15	0.0034	0.0035
16	0.0022	0.0022
17	0.0003	0.0004
18	-0.0002	-0.0002

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
19	-0.0013	-0.0013
20	-0.0049	-0.0049
21	-0.0056	-0.0056
22	-0.0062	-0.0062
23	-0.0031	-0.0031
24	-0.0021	-0.0021
25	-0.0054	-0.0054
26	-0.0102	-0.0101
27	-0.0104	-0.0104
28	-0.0119	-0.0118
29	-0.0125	-0.0125
30	-0.0120	-0.0120
31	-0.0071	-0.0071
32	-0.0079	-0.0079
33	-0.0082	-0.0082

9. Hasil kasus A-5 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.957	0.956
2	3	2.085	2.081
3	4	1.391	1.389
4	5	1.015	1.014
5	6	1.855	1.851
6	7	0.044	0.044
7	8	0.007	0.007
8	9	0.434	0.434
9	10	0.676	0.677

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
10	11	0.182	0.182
11	12	0.450	0.450
12	13	2.370	2.372
13	14	1.129	1.130
14	15	0.298	0.298
15	16	0.235	0.235
16	17	0.210	0.210
17	18	0.044	0.044
2	19	0.160	0.160
19	20	0.829	0.829
20	21	0.100	0.100
21	22	0.043	0.043
3	23	0.004	0.005
23	24	0.113	0.113
24	25	2.060	2.061
6	26	0.292	0.292
26	27	0.382	0.381
27	28	1.376	1.374
28	29	1.075	1.074
29	30	0.728	0.727
30	31	1.386	1.386
31	32	0.185	0.185
32	33	0.011	0.011
Total		22.129	22.115

**10. Hasil kasus A-5 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.**

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0008	-0.0008
3	-0.0033	-0.0033
4	-0.0049	-0.0049
5	-0.0063	-0.0063
6	-0.0099	-0.0099
7	-0.0103	-0.0103
8	-0.0102	-0.0102
9	-0.0082	-0.0081
10	-0.0056	-0.0056
11	-0.0051	-0.0051
12	-0.0040	-0.0040
13	0.0018	0.0018
14	0.0048	0.0048
15	0.0035	0.0035
16	0.0022	0.0022
17	0.0004	0.0004
18	-0.0002	-0.0002
19	-0.0013	-0.0013
20	-0.0049	-0.0049
21	-0.0056	-0.0056
22	-0.0062	-0.0062
23	-0.0031	-0.0031
24	-0.0021	-0.0021
25	0.0021	0.0021
26	-0.0101	-0.0101
27	-0.0104	-0.0104

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
28	-0.0118	-0.0118
29	-0.0125	-0.0125
30	-0.0120	-0.0120
31	-0.0158	-0.0158
32	-0.0167	-0.0167
33	-0.0170	-0.0170

**11. Hasil kasus A-6 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.**

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	1.269	0.956
2	3	3.111	2.081
3	4	2.095	1.389
4	5	1.609	1.268
5	6	2.989	3.106
6	7	0.184	2.093
7	8	0.130	1.607
8	9	0.025	2.985
9	10	0.097	0.184
10	11	0.042	0.130
11	12	0.134	0.025
12	13	0.879	0.097
13	14	0.488	0.042
14	15	1.016	0.134
15	16	1.578	0.879
16	17	0.211	0.488
17	18	0.045	1.016
2	19	0.160	1.579



Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
19	20	0.829	0.211
20	21	0.100	0.045
21	22	0.043	0.160
3	23	0.004	0.829
23	24	0.113	0.100
24	25	2.063	0.043
6	26	0.294	0.005
26	27	0.384	0.113
27	28	1.385	2.064
28	29	1.082	0.294
29	30	0.733	0.384
30	31	1.395	1.383
31	32	0.187	1.081
32	33	0.012	0.732
Total		24.687	24.672

**12. Hasil kasus A-6 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.**

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	-0.0008	-0.0008
3	-0.0030	-0.0030
4	-0.0045	-0.0045
5	-0.0057	-0.0057
6	-0.0089	-0.0089
7	-0.0092	-0.0092
8	-0.0088	-0.0088
9	-0.0063	-0.0063

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
10	-0.0033	-0.0033
11	-0.0027	-0.0027
12	-0.0015	-0.0015
13	0.0050	0.0050
14	0.0082	0.0083
15	0.0120	0.0120
16	0.0168	0.0168
17	0.0149	0.0150
18	0.0144	0.0144
19	-0.0013	-0.0013
20	-0.0049	-0.0049
21	-0.0056	-0.0056
22	-0.0062	-0.0062
23	-0.0029	-0.0029
24	-0.0019	-0.0019
25	-0.0051	-0.0051
26	-0.0092	-0.0092
27	-0.0094	-0.0094
28	-0.0109	-0.0109
29	-0.0115	-0.0115
30	-0.0110	-0.0110
31	-0.0149	-0.0149
32	-0.0157	-0.0157
33	-0.0160	-0.0160

**13. Hasil kasus B-1 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.**

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.0207	0.0207
2	3	0.0207	0.0207
3	4	0.0471	0.0471
4	5	0.2315	0.2313
5	6	3.3759	3.3728
6	7	3.4957	3.4926
7	8	0.7787	0.7780
8	9	0.3220	0.3217
9	10	4.4444	4.4443
10	11	0.9426	0.9426
11	12	2.0081	2.0080
12	13	1.1414	1.1413
13	14	1.1047	1.1047
14	15	1.0662	1.0662
15	16	0.1981	0.1981
16	17	0.2804	0.2804
17	18	0.0022	0.0022
18	19	0.0852	0.0852
19	20	0.0548	0.0548
20	21	0.0878	0.0878
21	22	0.0003	0.0003
22	23	0.0028	0.0028
23	24	0.0061	0.0061
24	25	0.0015	0.0015
25	26	0.0006	0.0006
26	27	0.0000	0.0000
3	28	0.0003	0.0003

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
28	29	0.0026	0.0026
29	30	0.0057	0.0057
30	31	0.0010	0.0010
31	32	0.0051	0.0051
32	33	0.0121	0.0121
33	34	0.0101	0.0101
34	35	0.0005	0.0005
3	36	0.0014	0.4706
36	37	0.0150	0.0151
37	38	0.0172	0.0173
38	39	0.0050	0.0050
39	40	0.0002	0.0002
40	41	0.0482	0.0484
41	42	0.0200	0.0201
42	43	0.0026	0.0027
43	44	0.0005	0.0005
44	45	0.0060	0.0061
45	46	0.0000	0.0000
4	47	0.0232	0.0233
47	48	0.5815	0.5821
48	49	1.6293	1.6314
49	50	0.1156	0.1157
8	51	0.0016	0.0016
51	52	0.0000	0.0000
9	53	0.1222	0.1218
53	54	0.1422	0.1417
54	55	0.2008	0.2001
55	56	0.2039	0.2033

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
56	57	1.1524	1.1492
57	58	0.5680	0.5690
58	59	0.2205	0.2199
59	60	0.3558	0.3553
60	61	0.4677	0.4670
61	62	0.2819	0.2820
62	63	0.4682	0.4683
63	64	2.2941	2.2948
64	65	6.3939	6.3955
11	66	0.0025	0.0025
66	67	0.0000	0.0000
12	68	0.0226	0.0226
68	69	0.0000	0.0000
Total		35.121	35.5822

14. Hasil kasus B-1 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.00000	0.00000
2	-0.00002	-0.00002
3	-0.00004	-0.00004
4	-0.00009	-0.00009
5	-0.00038	-0.00038
6	-0.00324	-0.00324
7	-0.00620	-0.00620
8	-0.00688	-0.00688
9	-0.00720	-0.00720
10	-0.01202	-0.01202

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
11	-0.01308	-0.01308
12	-0.01611	-0.01611
13	-0.01886	-0.01886
14	-0.02159	-0.02159
15	-0.02429	-0.02429
16	-0.02479	-0.02479
17	-0.02562	-0.02562
18	-0.02563	-0.02562
19	-0.02605	-0.02604
20	-0.02632	-0.02631
21	-0.02675	-0.02675
22	-0.02676	-0.02675
23	-0.02681	-0.02681
24	-0.02692	-0.02692
25	-0.02701	-0.02701
26	-0.02704	-0.02704
27	-0.02704	-0.02704
28	-0.00004	-0.00005
29	-0.00012	-0.00012
30	-0.00024	-0.00024
31	-0.00026	-0.00026
32	-0.00036	-0.00036
33	-0.00062	-0.00062
34	-0.00095	-0.00095
35	-0.00101	-0.00101
36	-0.00005	-0.00214
37	-0.00022	-0.00231
38	-0.00038	-0.00247

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
39	-0.00043	-0.00251
40	-0.00043	-0.00252
41	-0.00112	-0.00321
42	-0.00142	-0.00350
43	-0.00145	-0.00354
44	-0.00146	-0.00355
45	-0.00156	-0.00365
46	-0.00156	-0.00365
47	-0.00014	-0.00014
48	-0.00138	-0.00138
49	-0.00523	-0.00523
50	-0.00577	-0.00578
51	-0.00692	-0.00692
52	-0.00693	-0.00692
53	-0.00714	-0.00714
54	-0.00707	-0.00707
55	-0.00690	-0.00690
56	-0.00668	-0.00667
57	-0.00500	-0.00499
58	-0.00416	-0.00415
59	-0.00384	-0.00383
60	-0.00312	-0.00310
61	-0.00227	-0.00225
62	-0.00181	-0.00179
63	-0.00108	-0.00106
64	0.00249	0.00250
65	0.00972	0.00974
67	-0.01314	-0.01314

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
68	-0.01314	-0.01314
69	-0.01643	-0.01643

15. Hasil kasus B-2 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.021	0.021
2	3	0.021	0.021
3	4	0.047	0.047
4	5	0.229	0.229
5	6	3.340	3.337
6	7	3.458	3.455
7	8	0.770	0.769
8	9	0.318	0.318
9	10	4.444	4.444
10	11	0.943	0.943
11	12	2.008	2.008
12	13	1.141	1.141
13	14	1.105	1.105
14	15	1.066	1.066
15	16	0.198	0.198
16	17	0.280	0.280
17	18	0.002	0.002
18	19	0.085	0.085
19	20	0.055	0.055
20	21	0.088	0.088
21	22	0.000	0.000
22	23	0.003	0.003



Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
23	24	0.006	0.006
24	25	0.001	0.001
25	26	0.001	0.001
26	27	0.000	0.000
3	28	0.000	0.000
28	29	0.003	0.003
29	30	0.006	0.006
30	31	0.001	0.001
31	32	0.005	0.005
32	33	0.012	0.012
33	34	0.010	0.010
34	35	0.000	0.000
3	36	0.001	0.471
36	37	0.015	0.015
37	38	0.017	0.017
38	39	0.005	0.005
39	40	0.000	0.000
40	41	0.048	0.048
41	42	0.020	0.020
42	43	0.003	0.003
43	44	0.001	0.001
44	45	0.006	0.006
45	46	0.000	0.000
4	47	0.023	0.023
47	48	0.581	0.582
48	49	1.629	1.631
49	50	0.116	0.116
8	51	0.002	0.002

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
51	52	0.000	0.000
9	53	0.123	0.123
53	54	0.143	0.143
54	55	0.203	0.202
55	56	0.207	0.206
56	57	1.169	1.165
57	58	0.576	0.577
58	59	0.224	0.223
59	60	0.364	0.363
60	61	0.478	0.478
61	62	0.288	0.288
62	63	0.477	0.477
63	64	2.338	2.339
64	65	0.034	0.034
11	66	0.003	0.003
66	67	0.000	0.000
12	68	0.023	0.023
68	69	0.000	0.000
Total		28.782	29.242

16. Hasil kasus B-2 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.00000	0.00000
2	-0.00002	-0.00002
3	-0.00004	-0.00004
4	-0.00009	-0.00009
5	-0.00038	-0.00038

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
6	-0.00322	-0.00322
7	-0.00616	-0.00616
8	-0.00684	-0.00684
9	-0.00715	-0.00715
10	-0.01198	-0.01197
11	-0.01304	-0.01303
12	-0.01606	-0.01606
13	-0.01882	-0.01882
14	-0.02155	-0.02155
15	-0.02425	-0.02424
16	-0.02475	-0.02474
17	-0.02557	-0.02557
18	-0.02558	-0.02558
19	-0.02600	-0.02600
20	-0.02627	-0.02627
21	-0.02670	-0.02670
22	-0.02671	-0.02671
23	-0.02676	-0.02676
24	-0.02688	-0.02688
25	-0.02696	-0.02696
26	-0.02700	-0.02699
27	-0.02700	-0.02699
28	-0.00004	-0.00005
29	-0.00012	-0.00012
30	-0.00024	-0.00024
31	-0.00026	-0.00026
32	-0.00036	-0.00036
33	-0.00062	-0.00062

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
34	-0.00095	-0.00095
35	-0.00101	-0.00101
36	-0.00005	-0.00214
37	-0.00022	-0.00231
38	-0.00038	-0.00247
39	-0.00043	-0.00251
40	-0.00043	-0.00252
41	-0.00112	-0.00321
42	-0.00142	-0.00350
43	-0.00145	-0.00354
44	-0.00146	-0.00355
45	-0.00156	-0.00365
46	-0.00156	-0.00365
47	-0.00014	-0.00014
48	-0.00138	-0.00138
49	-0.00522	-0.00523
50	-0.00577	-0.00578
51	-0.00687	-0.00687
52	-0.00688	-0.00688
53	-0.00709	-0.00709
54	-0.00700	-0.00700
55	-0.00682	-0.00682
56	-0.00658	-0.00658
57	-0.00483	-0.00482
58	-0.00396	-0.00395
59	-0.00362	-0.00361
60	-0.00288	-0.00287
61	-0.00201	-0.00200

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
62	-0.00154	-0.00153
63	-0.00081	-0.00079
64	0.00279	0.00281
65	0.00227	0.00229
67	-0.01309	-0.01309
68	-0.01309	-0.01309
69	-0.01639	-0.01639

17. Hasil kasus B-3 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.021	0.021
2	3	0.021	0.021
3	4	0.049	0.049
4	5	0.244	0.244
5	6	3.558	3.555
6	7	3.685	3.682
7	8	0.822	0.822
8	9	0.342	0.342
9	10	0.194	0.194
10	11	0.056	0.056
11	12	0.759	0.760
12	13	2.729	2.730
13	14	2.846	2.847
14	15	2.967	2.968
15	16	0.551	0.552
16	17	1.221	1.222
17	18	0.018	0.018

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
18	19	1.510	1.511
19	20	0.971	0.971
20	21	1.579	1.580
21	22	0.087	0.087
22	23	0.997	0.997
23	24	2.170	2.170
24	25	0.001	0.001
25	26	0.001	0.001
26	27	0.000	0.000
3	28	0.000	0.000
28	29	0.003	0.003
29	30	0.006	0.006
30	31	0.001	0.001
31	32	0.005	0.005
32	33	0.012	0.012
33	34	0.010	0.010
34	35	0.000	0.000
3	36	0.001	0.471
36	37	0.015	0.015
37	38	0.017	0.017
38	39	0.005	0.005
39	40	0.000	0.000
40	41	0.048	0.048
41	42	0.020	0.020
42	43	0.003	0.003
43	44	0.001	0.001
44	45	0.006	0.006
45	46	0.000	0.000

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
4	47	0.023	0.023
47	48	0.581	0.582
48	49	1.629	1.631
49	50	0.116	0.116
8	51	0.002	0.002
51	52	0.000	0.000
9	53	1.340	1.340
53	54	1.548	1.548
54	55	2.043	2.042
55	56	1.913	1.912
56	57	10.811	10.806
57	58	5.329	5.351
58	59	2.068	2.067
59	60	2.033	2.032
60	61	2.672	2.671
61	62	0.301	0.301
62	63	0.500	0.501
63	64	2.452	2.453
64	65	6.836	6.838
11	66	0.003	0.003
66	67	0.000	0.000
12	68	0.022	0.022
68	69	0.000	0.000
Total		69.778	70.263

18. Hasil kasus B-3 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.00000	0.00000
2	-0.00002	-0.00002
3	-0.00004	-0.00004
4	-0.00009	-0.00009
5	-0.00039	-0.00039
6	-0.00334	-0.00334
7	-0.00640	-0.00640
8	-0.00711	-0.00711
9	-0.00744	-0.00744
10	-0.00654	-0.00654
11	-0.00630	-0.00630
12	-0.00437	-0.00437
13	0.00003	0.00003
14	0.00455	0.00455
15	0.00920	0.00920
16	0.01006	0.01007
17	0.01183	0.01184
18	0.01186	0.01186
19	0.01370	0.01370
20	0.01488	0.01488
21	0.01680	0.01680
22	0.01689	0.01689
23	0.01793	0.01793
24	0.02018	0.02019
25	0.02011	0.02011
26	0.02007	0.02008
27	0.02007	0.02008
28	-0.00005	-0.00005



Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
29	-0.00012	-0.00012
30	-0.00024	-0.00024
31	-0.00026	-0.00026
32	-0.00036	-0.00036
33	-0.00062	-0.00062
34	-0.00095	-0.00095
35	-0.00101	-0.00102
36	-0.00005	-0.00214
37	-0.00022	-0.00231
38	-0.00038	-0.00247
39	-0.00043	-0.00251
40	-0.00043	-0.00252
41	-0.00112	-0.00321
42	-0.00142	-0.00350
43	-0.00145	-0.00354
44	-0.00146	-0.00355
45	-0.00156	-0.00365
46	-0.00156	-0.00365
47	-0.00014	-0.00014
48	-0.00138	-0.00139
49	-0.00523	-0.00523
50	-0.00577	-0.00578
51	-0.00714	-0.00714
52	-0.00715	-0.00715
53	-0.00873	-0.00873
54	-0.01024	-0.01024
55	-0.01228	-0.01228
56	-0.01424	-0.01424

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
57	-0.02406	-0.02406
58	-0.02889	-0.02890
59	-0.03076	-0.03077
60	-0.03277	-0.03278
61	-0.03585	-0.03587
62	-0.03538	-0.03539
63	-0.03462	-0.03464
64	-0.03094	-0.03095
65	-0.02346	-0.02347
67	-0.00636	-0.00635
68	-0.00636	-0.00635
69	-0.00469	-0.00469

19. Hasil kasus B-4 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.011	0.011
2	3	0.011	0.011
3	4	0.022	0.022
4	5	0.057	0.057
5	6	0.837	0.834
6	7	0.864	0.862
7	8	0.186	0.185
8	9	0.073	0.073
9	10	0.233	0.233
10	11	0.040	0.040
11	12	0.064	0.064
12	13	0.704	0.704

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
13	14	0.754	0.754
14	15	0.806	0.806
15	16	0.150	0.150
16	17	0.377	0.377
17	18	0.006	0.006
18	19	0.593	0.593
19	20	0.051	0.051
20	21	0.082	0.082
21	22	0.000	0.000
22	23	0.003	0.003
23	24	0.006	0.006
24	25	0.001	0.001
25	26	0.001	0.001
26	27	0.000	0.000
3	28	0.000	0.000
28	29	0.003	0.003
29	30	0.006	0.006
30	31	0.001	0.001
31	32	0.005	0.005
32	33	0.012	0.012
33	34	0.010	0.010
34	35	0.000	0.000
3	36	0.471	0.471
36	37	0.015	0.015
37	38	0.017	0.017
38	39	0.005	0.005
39	40	0.000	0.000
40	41	0.048	0.048

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
41	42	0.020	0.020
42	43	0.003	0.003
43	44	0.001	0.001
44	45	0.006	0.006
45	46	0.000	0.000
4	47	0.023	0.023
47	48	0.581	0.582
48	49	1.629	1.631
49	50	0.116	0.116
8	51	0.002	0.002
51	52	0.000	0.000
9	53	0.122	0.122
53	54	0.142	0.142
54	55	0.202	0.201
55	56	0.206	0.205
56	57	1.164	1.160
57	58	0.574	0.575
58	59	0.223	0.222
59	60	0.363	0.363
60	61	0.478	0.477
61	62	0.093	0.093
62	63	0.112	0.112
63	64	0.547	0.547
64	65	0.034	0.034
11	66	0.002	0.002
66	67	0.000	0.000
12	68	0.022	0.022
68	69	0.000	0.000

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
Total		35.121	35.5822

20. Hasil kasus B-4 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	-0.0001	-0.0001
5	-0.0002	-0.0002
6	-0.0011	-0.0011
7	-0.0020	-0.0020
8	-0.0022	-0.0022
9	-0.0023	-0.0023
10	-0.0031	-0.0031
11	-0.0032	-0.0032
12	-0.0028	-0.0028
13	-0.0005	-0.0005
14	0.0018	0.0018
15	0.0042	0.0042
16	0.0047	0.0047
17	0.0057	0.0057
18	0.0057	0.0057
19	0.0068	0.0068
20	0.0066	0.0066
21	0.0061	0.0061
22	0.0061	0.0061
23	0.0061	0.0061

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
24	0.0060	0.0060
25	0.0059	0.0059
26	0.0059	0.0059
27	0.0059	0.0059
28	0.0000	0.0000
29	-0.0001	-0.0001
30	-0.0002	-0.0002
31	-0.0002	-0.0002
32	-0.0004	-0.0004
33	-0.0006	-0.0006
34	-0.0009	-0.0009
35	-0.0010	-0.0010
36	-0.0021	-0.0021
37	-0.0023	-0.0023
38	-0.0025	-0.0025
39	-0.0025	-0.0025
40	-0.0025	-0.0025
41	-0.0032	-0.0032
42	-0.0035	-0.0035
43	-0.0035	-0.0035
44	-0.0035	-0.0035
45	-0.0036	-0.0036
46	-0.0036	-0.0036
47	-0.0001	-0.0001
48	-0.0014	-0.0014
49	-0.0052	-0.0052
50	-0.0057	-0.0058
51	-0.0022	-0.0022

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
52	-0.0023	-0.0022
53	-0.0022	-0.0022
54	-0.0021	-0.0021
55	-0.0019	-0.0019
56	-0.0017	-0.0017
57	0.0001	0.0001
58	0.0010	0.0010
59	0.0013	0.0013
60	0.0021	0.0021
61	0.0029	0.0030
62	0.0027	0.0027
63	0.0023	0.0023
64	0.0006	0.0006
65	0.0001	0.0001
67	-0.0033	-0.0033
68	-0.0033	-0.0033
69	-0.0031	-0.0031

21. Hasil kasus B-5 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.0108	0.011
2	3	0.0108	0.011
3	4	0.0219	0.022
4	5	0.0574	0.057
5	6	0.8363	0.834
6	7	0.8634	0.861
7	8	0.1857	0.185

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
8	9	0.0729	0.073
9	10	0.2324	0.232
10	11	0.0397	0.040
11	12	0.0643	0.064
12	13	0.7061	0.706
13	14	0.7559	0.756
14	15	0.8086	0.809
15	16	0.1503	0.150
16	17	0.3781	0.378
17	18	0.0021	0.002
18	19	0.0800	0.080
19	20	0.0514	0.051
20	21	0.0824	0.082
21	22	0.0003	0.000
22	23	0.0026	0.003
23	24	0.0057	0.006
24	25	0.0014	0.001
25	26	0.0006	0.001
26	27	0.0000	0.000
3	28	0.0003	0.000
28	29	0.0026	0.003
29	30	0.0057	0.006
30	31	0.0010	0.001
31	32	0.0051	0.005
32	33	0.0121	0.012
33	34	0.0101	0.010
34	35	0.0005	0.000
3	36	0.4706	0.471



Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
36	37	0.0151	0.015
37	38	0.0173	0.017
38	39	0.0050	0.005
39	40	0.0002	0.000
40	41	0.0484	0.048
41	42	0.0201	0.020
42	43	0.0027	0.003
43	44	0.0005	0.001
44	45	0.0061	0.006
45	46	0.0000	0.000
4	47	0.0232	0.023
47	48	0.5814	0.582
48	49	1.6292	1.631
49	50	0.1156	0.116
8	51	0.0016	0.002
51	52	0.0000	0.000
9	53	0.1221	0.122
53	54	0.1421	0.142
54	55	0.2018	0.201
55	56	0.2059	0.205
56	57	1.1636	1.160
57	58	0.5735	0.575
58	59	0.2226	0.222
59	60	0.3634	0.363
60	61	0.4777	0.477
61	62	0.0926	0.093
62	63	0.1115	0.112
63	64	0.5466	0.547

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
64	65	0.0341	0.034
11	66	0.0025	0.002
66	67	0.0000	0.000
12	68	0.0220	0.022
68	69	0.0000	0.000
Total		35.121	35.5822

22. Hasil kasus B-5 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	-0.0001	-0.0001
5	-0.0002	-0.0002
6	-0.0011	-0.0011
7	-0.0020	-0.0020
8	-0.0022	-0.0022
9	-0.0023	-0.0023
10	-0.0031	-0.0031
11	-0.0032	-0.0032
12	-0.0028	-0.0028
13	-0.0005	-0.0005
14	0.0018	0.0018
15	0.0042	0.0042
16	0.0047	0.0047
17	0.0057	0.0057
18	0.0057	0.0057

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
19	0.0053	0.0053
20	0.0050	0.0050
21	0.0046	0.0046
22	0.0046	0.0046
23	0.0045	0.0045
24	0.0044	0.0044
25	0.0043	0.0043
26	0.0043	0.0043
27	0.0043	0.0043
28	0.0000	0.0000
29	-0.0001	-0.0001
30	-0.0002	-0.0002
31	-0.0002	-0.0002
32	-0.0004	-0.0004
33	-0.0006	-0.0006
34	-0.0009	-0.0009
35	-0.0010	-0.0010
36	-0.0021	-0.0021
37	-0.0023	-0.0023
38	-0.0025	-0.0025
39	-0.0025	-0.0025
40	-0.0025	-0.0025
41	-0.0032	-0.0032
42	-0.0035	-0.0035
43	-0.0035	-0.0035
44	-0.0035	-0.0035
45	-0.0036	-0.0036
46	-0.0036	-0.0036

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
47	-0.0001	-0.0001
48	-0.0014	-0.0014
49	-0.0052	-0.0052
50	-0.0057	-0.0058
51	-0.0022	-0.0022
52	-0.0022	-0.0022
53	-0.0022	-0.0022
54	-0.0021	-0.0021
55	-0.0019	-0.0019
56	-0.0017	-0.0017
57	0.0001	0.0001
58	0.0010	0.0010
59	0.0013	0.0013
60	0.0021	0.0021
61	0.0029	0.0030
62	0.0027	0.0027
63	0.0023	0.0023
64	0.0006	0.0006
65	0.0001	0.0001
67	-0.0033	-0.0033
68	-0.0033	-0.0033
69	-0.0031	-0.0031

23. Hasil kasus B-6 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk rugi jaringan.

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
1	2	0.012	0.012
2	3	0.012	0.012

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
3	4	0.024	0.024
4	5	0.066	0.065
5	6	0.956	0.953
6	7	0.987	0.984
7	8	0.212	0.211
8	9	0.081	0.080
9	10	0.235	0.234
10	11	0.040	0.040
11	12	0.063	0.063
12	13	0.701	0.701
13	14	0.750	0.751
14	15	0.803	0.803
15	16	0.149	0.149
16	17	0.376	0.376
17	18	0.006	0.006
18	19	0.591	0.592
19	20	0.380	0.380
20	21	0.619	0.620
21	22	0.000	0.000
22	23	0.003	0.003
23	24	0.006	0.006
24	25	0.001	0.001
25	26	0.001	0.001
26	27	0.000	0.000
3	28	0.000	0.000
28	29	0.003	0.003
29	30	0.006	0.006
30	31	0.001	0.001

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
31	32	0.005	0.005
32	33	0.012	0.012
33	34	0.010	0.010
34	35	0.000	0.000
3	36	0.471	0.471
36	37	0.015	0.015
37	38	0.017	0.017
38	39	0.005	0.005
39	40	0.000	0.000
40	41	0.048	0.048
41	42	0.020	0.020
42	43	0.003	0.003
43	44	0.001	0.001
44	45	0.006	0.006
45	46	0.000	0.000
4	47	0.023	0.023
47	48	0.581	0.582
48	49	1.629	1.631
49	50	0.116	0.116
8	51	0.002	0.002
51	52	0.000	0.000
9	53	0.119	0.118
53	54	0.137	0.137
54	55	0.187	0.187
55	56	0.185	0.184
56	57	1.043	1.040
57	58	0.514	0.515
58	59	0.200	0.199

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan	
		MATLAB	ETAP
59	60	0.295	0.295
60	61	0.388	0.387
61	62	0.235	0.235
62	63	0.112	0.112
63	64	0.548	0.548
64	65	0.034	0.034
11	66	0.002	0.002
66	67	0.000	0.000
12	68	0.022	0.022
68	69	0.000	0.000
Total		35.121	35.5822

24. Hasil kasus B-6 penempatan DG pada sistem menggunakan GA untuk deviasi tegangan.

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	-0.0001	-0.0001
5	-0.0002	-0.0002
6	-0.0013	-0.0013
7	-0.0024	-0.0024
8	-0.0026	-0.0026
9	-0.0027	-0.0027
10	-0.0035	-0.0035
11	-0.0037	-0.0037
12	-0.0032	-0.0032
13	-0.0010	-0.0010

Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
14	0.0013	0.0013
15	0.0037	0.0038
16	0.0042	0.0042
17	0.0052	0.0052
18	0.0052	0.0052
19	0.0064	0.0064
20	0.0071	0.0071
21	0.0083	0.0083
22	0.0083	0.0083
23	0.0082	0.0082
24	0.0081	0.0081
25	0.0081	0.0081
26	0.0080	0.0080
27	0.0080	0.0080
28	0.0000	0.0000
29	-0.0001	-0.0001
30	-0.0002	-0.0002
31	-0.0002	-0.0002
32	-0.0004	-0.0004
33	-0.0006	-0.0006
34	-0.0009	-0.0009
35	-0.0010	-0.0010
36	-0.0021	-0.0021
37	-0.0023	-0.0023
38	-0.0025	-0.0025
39	-0.0025	-0.0025
40	-0.0025	-0.0025
41	-0.0032	-0.0032



Bus	Deviasi Tegangan	
	MATLAB	ETAP
42	-0.0035	-0.0035
43	-0.0035	-0.0035
44	-0.0035	-0.0035
45	-0.0036	-0.0036
46	-0.0036	-0.0036
47	-0.0001	-0.0001
48	-0.0014	-0.0014
49	-0.0052	-0.0052
50	-0.0057	-0.0058
51	-0.0027	-0.0027
52	-0.0027	-0.0027
53	-0.0027	-0.0027
54	-0.0027	-0.0027
55	-0.0027	-0.0027
56	-0.0026	-0.0026
57	-0.0015	-0.0015
58	-0.0009	-0.0009
59	-0.0007	-0.0007
60	-0.0002	-0.0001
61	0.0005	0.0005
62	0.0009	0.0009
63	0.0006	0.0006
64	-0.0012	-0.0012
65	-0.0017	-0.0017
67	-0.0037	-0.0037
68	-0.0037	-0.0037
69	-0.0036	-0.0036

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan dan analisa, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Suatu sistem distribusi listrik yang memiliki kondisi kerugian daya yang besar dan deviasi tegangan yang besar dapat diatasi dengan melakukan penentuan penempatan dan ukuran DG.
2. Berdasarkan hasil simulasi OPF GA multiobjektif yang dilakukan, bahwa dengan nilai pembobotan yang seimbang untuk fungsi objektif kerugian daya dan deviasi tegangan didapat kan hasil yang terbaik. Apabila diinginkan keadaan untuk meminimalkan salah satu fungsi objektif maka untuk nilai pembobotan lebih diberatkan pada fungsi objektif tersebut.
3. Dalam semua kasus untuk menginjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang berbeda-beda didapatkan lokasi dan ukuran DG yang berbeda.
4. Kasus A pada sistem IEEE 33 bus dengan kondisi awal nilai total kerugian daya (202,7 kW) dan nilai awal total deviasi tegangan (-1,7012). Hasil simulasi kasus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian daya dan deviasi tegangan. Total kerugian daya menjadi (44,285 kW) turun 78,15% dari nilai awal dan total deviasi tegangan menjadi (-0,2452) untuk injeksi 2 DG pada bus 15 dan 32 ukuran (0,96 MW dan 0,48 MVar). Hasil simulasi kasus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian daya dan deviasi tegangan. Total kerugian daya menjadi (22,173 kW) turun 89,06% dari nilai awal dan total deviasi tegangan menjadi (-0,1652) untuk injeksi 3 DG pada bus 14 dengan ukuran (0,9 MW dan 0,45 MVar), bus 24 dan 31 dengan ukuran (0,96 MW dan 0,48 MVar).
5. Kasus B pada sistem IEEE 69 bus dengan kondisi awal nilai total kerugian daya (223,8 kW) dan nilai awal total deviasi tegangan (-1,8423). Hasil simulasi kasus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian daya dan deviasi tegangan. Total kerugian daya menjadi (35,121 kW) turun 84,3% dari nilai awal dan total deviasi

tegangan menjadi (-0,5828) untuk injeksi 2 DG pada bus 61 dan 65 ukuran (0,96 MW dan 0,48 MVar). Hasil simulasi kasus didapatkan aliran daya optimal saat diinjeksi DG dengan nilai pembobotan fungsi objektif yang seimbang untuk kerugian daya dan deviasi tegangan. Total kerugian daya menjadi (13,188 kW) turun 94,1% dari nilai awal dan total deviasi tegangan menjadi (-0,0012) untuk injeksi 3 DG pada bus 19 dengan ukuran (0,66 MW dan 0,33 MVar), bus 61 dan 61 dengan ukuran (0,96 MW dan 0,48 MVar).

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir kedepan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya pengembangan program agar bisa digunakan untuk jaring tiga fasa tidak seimbang.
2. Pemodelan DG lebih detail untuk mendekati kondisi sebenarnya.
3. Untuk penelitian selanjutnya pada kasus *coordinated planning*, tidak hanya memadukan 2 cara (penambahan DG) dengan *multi-objective function*. tapi bisa jadi 3 cara (rekonfigurasi, penambahan kapasitor, & DG).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sheng Wanxing, Liu Ke-yan, Cheng Sheng. "Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation". IET Generation, Transmission & Distribution, 261–272, 2014.
- [2] H. A. Maruthi Prasanna, M. V. Likith Kumar, Ananthapadmanabha T. "Genetic Algorithm based Optimal Allocation of a Distribution Generator in a Radial Distribution Feeder". IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 184 – 190, 2014.
- [3] Nitin Singh, "Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based methods", Electrical and Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala-147004, Punjab, India, July, 2014.
- [4] Kersting, William H. "*Distribution System Modeling and Analysis*". CRC Pres, America, 2002
- [5] Ackermann Thomas, Andersson Goran, Soder Lennart. "Distributed Generation : a definition". Electric Pwer System Research, Zurich, Swiss, Desember 2000.
- [6] Hadi Saadat, "*Power System Analysis*", WCB McGraw-Hill, 1999
- [7] U.Eminogiu and H.Hocaoglu,. "Distribution Systems Forward/Backward Sweep-based Power Flow Algorithms : A review and Comparasion Study". Department of Electronics Engineering, Gebze Institute of Technology. Kocaeli, Turkey, Januari 2009
- [8] Sarika Khushalani, Jignesh M. Solanki, Noel N. Schulz., "Development of Three-Phase Unbalanced Power Flow Using PV and PQ Models for Distributed Generation and Study of the Impact of DG Models", IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 22, No. 3, August, 2007.
- [9] T.A. Short, "Distributed Generation," in Electric Power Distribution Handbook.: CRC Press LLC, 2004.
- [10] Pangestu, Gema Ilham, "Rekonfigurasi dan Penempatan DG Mempertimbangkan Kontigensi untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Metode *Binary Integer Programming* dan *Particle Swarm Optimization*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2015

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI



Penulis bernama Basuki Rachmad, lahir di Jombang pada tanggal 27 Juli 1992. Merupakan anak ke-3 dari tiga bersaudara. Penulis lulus dari SMA Darul ‘Ulum 3 Rejoso pada tahun 2010, Penulis telah menyelesaikan pendidikan Diploma dan memperoleh gelar Ahli madya (A.Md) dari kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 dengan bidang keahlian Teknik Elektro Komputer Kontrol. Saat ini penulis sedang melanjutkan pendidikan untuk mendapatkan gelar Strata 1, melalui program Lintas Jalur di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga. Bekerja sama dengan Lab Simulasi Sistem Tenaga untuk menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir.

Email : Basuki.Rachmad27@gmail.com