



TUGAS AKHIR - TE141599

ANALISIS PENEMPATAN *CAPACITOR BANK* UNTUK MENINGKATKAN FAKTOR DAYA AKIBAT PEMASANGAN *DISTRIBUTED GENERATION (DG)* PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM (GA)*.

Bobby Harold
NRP 2214105102

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

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



FINAL PROJECT - TE 141599

**PLACEMENT ANALISYS OF CAPACITOR BANK TO
INCREASE POWER FACTOR DUE TO DISTRIBUTED
GENERATION (DG) INSTALLATION ON RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK USING GENETIC
ALGORITHM (GA) METHOD**

Bobby Harold
NRP. 2214105102

Advisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**ANALISIS PENEMPATAN CAPACITOR BANK UNTUK
MENINGKATKAN FAKTOR DAYA AKIBAT
PEMASANGAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG) PADA
JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
METODE *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk 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

Dosen Pembimbing II

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

Ir. Ni Ketut Aryani, MT.
NIP. 196509011991032002



**ANALISIS PENEMPATAN *CAPACITOR BANK* UNTUK
MENINGKATKAN FAKTOR DAYA AKIBAT PEMASANGAN
DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA JARINGAN
DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN METODE *GENETIC
ALGORITHM (GA)***

Nama Mahasiswa : Bobby Harold
NRP : 2214105102
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRAK

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin pesat, sistem distribusi listrik menjadi semakin luas dan kompleks sehingga menyebabkan rugi daya menjadi lebih besar. Untuk mengatasi masalah tersebut, cara yang umum dilakukan adalah dengan pemasangan *Distributed Generation (DG)*. Namun, metode pemasangan DG ini mengakibatkan penurunan faktor daya pada bus di sekitarnya sehingga perlu melakukan perbaikan faktor daya dengan cara memasang kapasitor bank dengan optimal. Dampak lain yang dapat merusak kualitas daya listrik dari penggunaan DG adalah *voltage rise* dan *voltage flicker*. Pada tugas akhir ini, diusulkan optimisasi aliran daya pada sistem distribusi radial dengan penempatan DG untuk memperoleh rugi daya terkecil dan meningkatkan faktor daya akibat pemasangan DG tersebut dengan menggunakan *capacitor bank*. Metoda yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Genetic Algorithm (GA)*. Metode ini diusulkan untuk diuji pada sistem distribusi radial untuk menunjukkan kinerja dan efektivitas metode yang diusulkan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan DG dapat menaikkan rating tegangan dan mengurangi rugi daya.

Kata kunci: Rugi daya, Faktor daya, *Distributed Generation (DG)*, *Genetic Algorithm (GA)*, *voltage rise*, *voltage flicker*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PLACEMENT ANALISYS OF CAPACITOR BANK TO
INCREASE POWER FACTOR DUE TO DISTRIBUTED
GENERATION (DG) INSTALLATION ON RADIAL
DISTRIBUTION NETWORK USING GENETIC ALGORITHM
(GA) METHOD**

Name : Bobby Harold
NRP : 2214105102
Counsellor Lecture I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Counsellor Lecture II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.

ABSTRACT

In the development of electric power systems which is rapidly increasing, electrical distribution systems become increasingly extensive and complex, causing power loss becomes larger. To overcome these problems, a common way is by installing Distributed Generation (DG). However, this method resulted in a decrease DG install power factor on buses around so that the need to improve the power factor by installing a capacitor bank to the optimum. Another impact that can damage the power quality of the use of DG is the voltage rise and voltage flicker. In this final project, proposed optimization of power flow in radial distribution systems with DG placement to obtain the smallest power losses and improve the power factor due to the installation of DG by using capacitor bank. The methods used in this thesis is a Genetic Algorithm (GA). This method is proposed to be tested on a radial distribution system to demonstrate the performance and effectiveness of the proposed method. Some research shows that the DG installation can raise the rating voltage and reducing power loss.

Keywords: Loss of power, power factor, Distributed Generation (DG), Genetic Algorithm (GA), voltage rise, voltage flicker

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	6
2.2 Rugi Daya	9
2.3 Faktor Daya	10
2.4 Kapasitor Bank	14
2.5 Distributed Generation (DG)	15
2.6 Genetic Algorithm (GA).....	18
2.6.1 Komponen <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	20
2.6.2 Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	21
2.6.3 Proses <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	22
2.6.3.1 Pembangkitan Populasi Awal.....	22
2.6.3.2 Pembentukan Generasi Baru	22
2.6.3.3 Evaluasi Individu.....	25
2.6.3.4 Elitism	25

2.6.3.5 Pemilihan Individu Terbaik.....	25
BAB III PERANCANGAN DAN PEMODELAN OPTIMASI ...	27
3.1 Sistem Distribusi Radial 33-bus Standart IEEE.....	27
3.2 Skenario Optimasi.....	30
3.3 Batasan (<i>constraint</i>).....	32
3.4 Penerapan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) pada Optimasi.....	33
3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	33
3.4.2 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan GA.....	35
3.4.3 Pemodelan Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) dengan GA.....	36
3.4.4 Pemodelan Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) dan Kapasitor Secara Simultan Dengan GA.....	37
3.5 Proses Optimasi Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	38
3.6 Aliran Daya.....	41
 BAB IV SIMULASI DAN ANALISA	 43
4.1 <i>Scenario</i> 1.....	43
4.2 <i>Scenario</i> 2.....	47
4.3 <i>Scenario</i> 3.....	52
4.4 <i>Scenario</i> 4.....	57
4.5 <i>Scenario</i> 5.....	62
 BAB V PENUTUP	 69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
 DAFTAR PUSTAKA	 71
LAMPIRAN	73
RIWAYAT PENULIS	79

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Sistem penyaluran tenaga listrik..... 6
Gambar 2.2	Jaringan distribusi sistem radial 7
Gambar 2.3	Jaringan radial tipe pohon 7
Gambar 2.4	Jaringan radial dengan <i>tie switch</i> 8
Gambar 2.5	Jaringan radial dengan pusat beban 8
Gambar 2.6	Jaringan radial dengan pembagian phase 9
Gambar 2.7	Jaringan radial dengan pembagian phase pada berbagai jenis beban Linier 11
Gambar 2.8	Analogi: Usaha untuk menggerakkan kereta ke arah kiri 12
Gambar 2.9	Segitiga daya 13
Gambar 2.10	Skema Pembangkit listrik Terdistribusi 16
Gambar 2.11	Pemasangan DG pada sistem distribusi 17
Gambar 2.12	Crossover satu titik 24
Gambar 2.13	Crossover dua titik 24
Gambar 2.14	Mutasi dua titik 25
Gambar 3.1	Sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE 27
Gambar 3.2	<i>Flowchat</i> optimasi untuk perbaikan <i>power factor</i> 31
Gambar 3.3	Pengkodean biner kapasitor 35
Gambar 3.4	Contoh <i>decoding</i> panjang biner kapasitor 36
Gambar 3.5	Pengkodean biner DG 37
Gambar 3.6	Contoh <i>decoding</i> kromosom DG 37
Gambar 3.7	Optimasi simultan DG dan kapasitor 38
Gambar 3.8	Contoh <i>decoding</i> kromosom DG dan kapasitor 38
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> optimasi <i>power factor</i> dengan metode <i>Genetic Algorithm (GA)</i> 40
Gambar 3.10	Contoh single line diagram 41
Gambar 4.1	Grafik rugi daya aktif pada kasus 1 45
Gambar 4.2	Grafik tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 1 46
Gambar 4.3	Grafik <i>power factor</i> pada kasus 1 47
Gambar 4.4	Grafik plot nilai <i>losses</i> dan nilai fitness MATLAB pada kasus 2 50
Gambar 4.5	Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 2 50

Gambar 4.6	Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 2	51
Gambar 4.7	Grafik perbandingan <i>power factor</i> pada kasus 2.....	51
Gambar 4.8	Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 3	54
Gambar 4.9	Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 3	55
Gambar 4.10	Grafik perbandingan <i>power factor</i> pada kasus 3	56
Gambar 4.11	Grafik plot nilai <i>power factor</i> dan nilai fitness MATLAB pada kasus 3	56
Gambar 4.12	Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 4	59
Gambar 4.13	Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus 4	60
Gambar 4.14	Grafik perbandingan <i>power factor</i> pada kasus 4	61
Gambar 4.15	Grafik plot nilai <i>power factor</i> dan nilai fitness MATLAB pada kasus 4	61
Gambar 4.16	Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 5	64
Gambar 4.17	Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus 5	65
Gambar 4.18	Grafik perbandingan <i>power factor</i> pada kasus 5	65
Gambar 4.19	Grafik plot nilai <i>power factor</i> dan nilai fitness MATLAB pada kasus 5	66
Gambar 4.20	Grafik perbandingan rugi daya aktif pada semua kasus	67
Gambar 4.21	Grafik perbandingan tegangan pada semua kasus.....	67
Gambar 4.22	Grafik perbandingan <i>power factor</i> terendah pada semua kasus	67

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kategori DG berdasarkan kapasitas	18
Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi 33-bus IEEE	28
Tabel 3.2 Data saluran system distribusi 33-bus IEEE	28
Tabel 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus 1.....	44
Tabel 4.2 Hasil simulasi aliran daya kasus 2.....	47
Tabel 4.3 Hasil penempatan DG dengan GA “ <i>rule of thumb</i> ”	49
Tabel 4.4 Hasil simulasi aliran daya kasus 3.....	52
Tabel 4.5 Hasil penempatan <i>capacitor</i> dengan GA “ <i>max demand</i> ”	54
Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya kasus 4.....	57
Tabel 4.7 Hasil penempatan DG dengan GA “ <i>rule of thumb</i> ”	58
Tabel 4.8 Hasil penempatan <i>capacitor</i> dengan GA “ <i>max demand</i> ”	59
Tabel 4.9 Hasil simulasi aliran daya kasus 5.....	62
Tabel 4.10 Hasil penempatan <i>capacitor</i> dengan GA “ <i>maxdemand</i> ”	63

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik yang semakin pesat, sistem distribusi listrik menjadi semakin luas dan kompleks sehingga menyebabkan rugi daya menjadi lebih besar. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-33% dari total daya yang dihasilkan hilang akibat adanya rugi daya pada jaringan distribusi[1]. Untuk mengatasi masalah tersebut, cara yang umum dilakukan adalah dengan pemasangan *Distributed Generation (DG)*. Namun, metode pemasangan DG ini mengakibatkan penurunan faktor daya pada bus di sekitarnya sehingga perlu melakukan perbaikan faktor daya dengan cara memasang kapasitor bank dengan optimal [2]. Dampak lain yang dapat merusak kualitas daya listrik dari penggunaan DG adalah *voltage rise* dan *voltage flicker*[3].

Pada tugas akhir ini, diusulkan optimisasi aliran daya pada sistem distribusi radial dengan penempatan DG untuk memperoleh rugi daya terkecil dan meningkatkan faktor daya akibat pemasangan DG tersebut dengan menggunakan *capacitor bank*. Konfigurasi jaringan dan penempatan DG harus optimal untuk memaksimalkan manfaat dan mengurangi dampaknya terhadap sistem tenaga listrik[5].

Penentuan lokasi kapasitor dan DG harus dioptimalkan untuk mendapatkan hasil yang signifikan. Oleh sebab itu digunakan salah satu metoda sebagai alat bantu. Metoda yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Genetic Algorithm (GA)*. Metode ini diusulkan untuk diuji pada sistem distribusi radial untuk menunjukkan kinerja dan efektivitas metode yang diusulkan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan DG dapat menaikkan rating tegangan dan mengurangi rugi daya.

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana menempatkan DG pada jaringan distribusi radial untuk meminimalkan rugi daya menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)* pada software MATLAB.
2. Bagaimana meningkatkan faktor daya akibat pemasangan DG pada jaringan distribusi radial dengan menempatkan *capacitor*

bank menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)* pada software MATLAB.

3. Membandingkan hasil *losses* minimum, tegangan dan *power factor* dari optimasi yang dilakukan secara berurutan dan simultan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Menerapkan metode *Genetic Algorithm (GA)* dalam sistem distribusi radial untuk menentukan lokasi DG dengan rugi daya terkecil.
2. Mengamati dampak dari penggunaan DG pada jaringan distribusi radial.
3. Meningkatkan faktor daya akibat pemasangan DG pada jaringan distribusi radial dengan menempatkan *capacitor bank* menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan adalah MATLAB.
2. Optimisasi menggunakan metode *Genetic Algorithm (GA)*.
3. Sistem beroperasi dalam keadaan normal, tidak dalam gangguan.
4. Hanya membahas tentang rugi daya, tegangan, *power factor*, serta dampak dari penggunaan *Distributed Generation (DG)* di jaringan distribusi radial.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Dilakukan untuk menunjang penguasaan teori sistem distribusi radial, *Distributed Generation (DG)*, dan *Genetics Algorithm (GA)*.

2. Pengadaan Jurnal
Paper-paper yang diambil adalah yang mendukung ataupun berhubungan dengan teori sistem didistribusi radial, *Distributed Generation* (DG), dan *Genetic Algorithm* (GA).
3. Pengumpulan Data
Penulis melakukan pengambilan data berupa data pembangkitan maupun parameter saluran yang selanjutnya penulis simulasikan menggunakan *software* MATLAB.
4. Simulasi dan Analisa Data
Setelah proses pengumpulan data sehingga diperoleh data pembangkitan, nilai pada masing-masing bus serta nilai impedansi tiap saluran maka penulis melakukan pemodelan optimisasi pemilihan lokasi DG dan kapasitor untuk mendapatkan nilai rugi daya yang kecil dan faktor daya yang optimal. Pemodelan dilakukan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).
5. Penarikan Kesimpulan
Dari hasil analisa data dari *running* program yang dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB 1
Pendahuluan berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan tugas akhir, batasan masalah, metodologi tugas akhir, sistematika penulisan dan relevansi atau manfaat dari tugas akhir.
2. BAB 2
Berisi tentang penjelasan dasar teori yang digunakan. seperti sistem distribusi radial, rugi daya, faktor daya, kapasitor, *distributed generation* (DG), dan *Genetic Algorithm* (GA).
3. BAB 3
Perancangan dan pemodelan optimasi berisi tentang proses dalam melakukan optimasi menggunakan kapasitor dan DG untuk meminimalkan rugi daya dan memperbaiki faktor daya menggunakan metode *genetic algorithm* (GA) yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus.

4. BAB 4
Simulasi dan analisa berisi tentang simulasi yang dilakukan dan analisa data hasil simulasi.
5. BAB 5
Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian, pembahasan dan saran-saran.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Relevansi dari penelitian dengan metoda ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam mengatasi masalah rugi daya dan faktor daya yang terjadi pada jaringan distribusi radial. Sehingga metode ini dapat diaplikasikan dalam mengatasi masalah-masalah yang terdapat pada jaringan distribusi radial tersebut.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

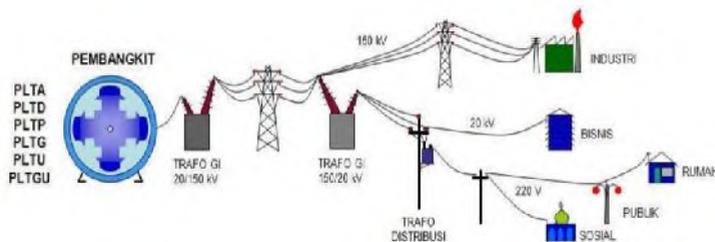
- pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R) pada saluran. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 380/220 Volt. Selanjutnya daya listrik disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai

tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



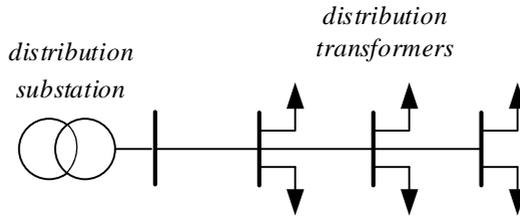
Gambar 2.1 Sistem penyaluran tenaga listrik

Sistem distribusi primer dan sekunder menggunakan saluran udara, kabel udara atau kabel tanah sesuai dengan keadaan geografis dan keandalan yang diinginkan. Untuk menyalurkan tenaga listrik di dalam sistem distribusi, terdapat beberapa topologi jaringan, yaitu :

- Jaringan distribusi sistem radial.
- Jaringan distribusi sistem loop/ring.
- Jaringan distribusi sistem interkoneksi.
- Jaringan distribusi sistem spindle.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada gambar 2.2.

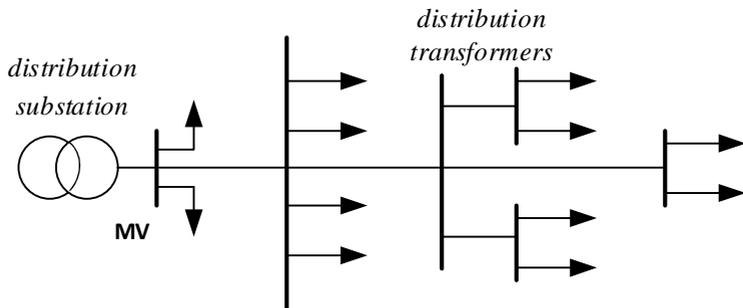


Gambar 2.2 Jaringan distribusi sistem radial

Kelebihan jaringan sistem radial secara umum adalah bentuknya yang sederhana dan biaya investasi yang relative murah. Sedangkan kelemahannya adalah kualitas pelayanan dayanya relative jelek yang disebabkan rugi daya dan drop tegangan cenderung besar. Kemudian kontinuitas penyaluran daya yang kurang handal. Untuk melokalisir gangguan, pada jaringan distribusi sistem radial ini menggunakan pengaman berupa CB, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya. Jaringan distribusi sistem radial ini memiliki beberapa modifikasi, yaitu radial tipe pohon, radial dengan *tie switch*, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian phase.

a. Jaringan radial tipe pohon

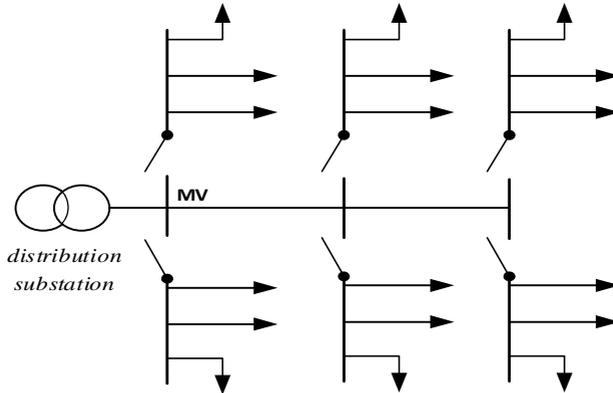
Jaringan dengan satu saluran utama kemudian dicabangkan sesuai dengan kebutuhan. Cabang ini dapat memiliki cabang lagi (anak cabang) seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jaringan radial tipe pohon

b. Jaringan radial dengan *tie switch*

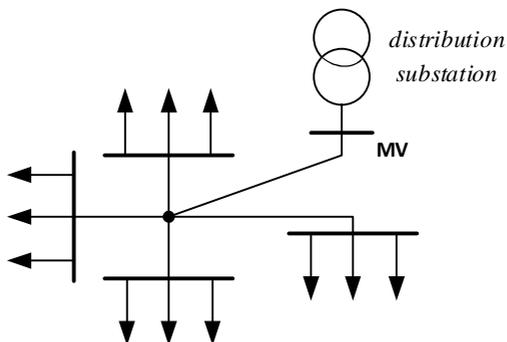
Jaringan ini memiliki *tie switch* pemisah untuk melakukan perbaikan atau pengalihan beban jika terjadi gangguan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jaringan radial dengan *tie switch*

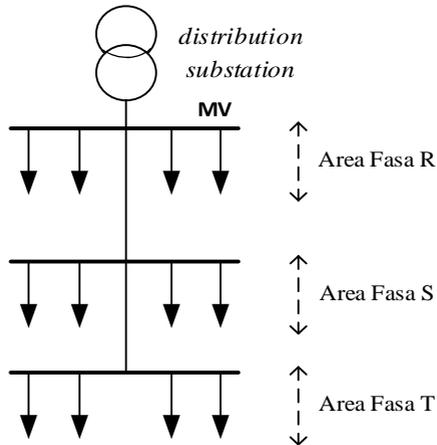
c. Jaringan radial dengan pusat beban

Jaringan ini menggunakan penyulang utama yang disebut *express feeder* yang langsung menuju titik pusat beban dan dicabangkan atau disebar menggunakan *back feeder* secara radial seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jaringan radial dengan pusat beban

- d. Jaringan radial dengan pembagian phase
 Jaringan ini bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan mengakibatkan adanya ketidakseimbangan pada tiap phase seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Jaringan radial dengan pembagian phase

2.2 Rugi Daya

Rugi-rugi daya merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti ke rumah-rumah, ke gedung-gedung, dan lain sebagainya. Dalam setiap penyaluran daya listrik ke beban pasti terdapat rugi-rugi daya yang diakibatkan oleh faktor-faktor tertentu seperti jarak saluran listrik ke beban yang terlalu jauh, yang juga akan berakibat bertambah besarnya tahanan saluran kabel yang digunakan. Terdapat beberapa penyebab rugi daya pada saluran distribusi, diantaranya :

1. Kerugian akibat pelunakan
 Kerugian akibat pelunakan terjadi pada logam bahan penyusun konduktor saluran. Pelunakan dipengaruhi oleh fungsi suhu dan waktu. Bersamaan dengan adanya penurunan batas tegangan tarik pada keadaan kumulatif. Pelunakan yang terlihat dan kerugian

tegangan tarik tidak berpengaruh jika penghantar dalam batas yang dianjurkan.

2. Kerugian akibat panas

Kerugian akibat panas terjadi jika suatu konduktor dialiri arus listrik secara terus-menerus yang kemudian menimbulkan panas. Panas tersebut muncul sebagai akibat dari energi listrik yang mengalir pada sepanjang konduktor saluran distribusi. Panas yang dihasilkan berbanding lurus terhadap energi listrik yang hilang pada saluran distribusi.

3. Kerugian akibat jarak

Kerugian akibat Jarak sangat berpengaruh pada besarnya kerugian pada sistem distribusi. Karena semakin panjang konduktor pada saluran tersebut maka akan semakin besar tegangan listrik yang hilang. Hal tersebut disebabkan akibat adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) yang dimiliki oleh konduktor pada saluran sistem distribusi.

Adapun cara yang umum dipakai untuk mengatasi rugi daya pada saluran sistem distribusi ialah dengan rekonfigurasi jaringan, pemasangan *capacitor bank* dan pemasangan unit *Distributed Generation* (DG). Besarnya rugi-rugi daya pada jaringan adalah sebagai berikut:

$$P_L \quad i, i + 1 = R_{i,i+1} \frac{(P)^2 + (Q)^2}{|V|^2} \quad (2.1)$$

Ket.

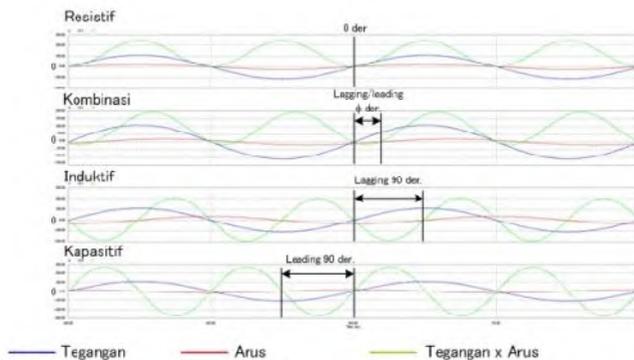
- P_L = Rugi daya (Watt)
- R = Reistansi (Ohm)
- P = Daya aktif (Watt)
- Q = Daya reaktif (VAR)
- V = Tegangan (Volt)

2.3 Faktor Daya

Istilah faktor daya atau *power factor* (PF) atau cos phi merupakan istilah yang sering sekali dipakai di bidang-bidang yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listrik. Faktor daya merupakan istilah penting, tidak hanya bagi penyedia layanan listrik, namun juga bagi konsumen listrik terutama konsumen level industri. Penyedia layanan listrik selalu berusaha untuk menghimbau konsumennya agar berkontribusi supaya faktor daya menjadi lebih baik, pun para konsumen

industri juga berusaha untuk mendapatkan faktor daya yang baik agar tidak sia-sia membayar mahal kepada penyedia layanan.

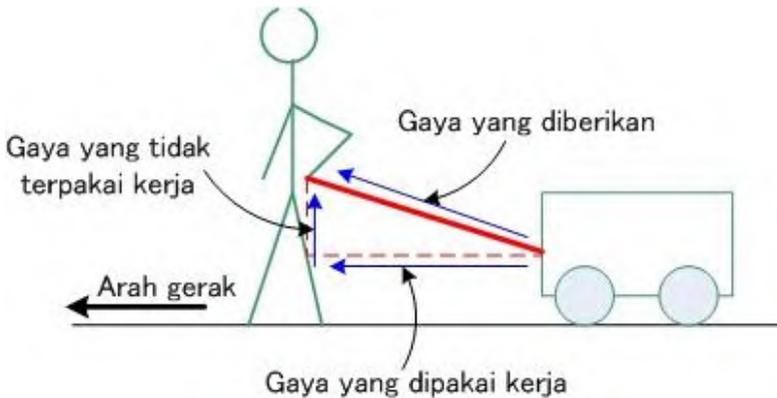
Pada pembahasan kali ini, asumsi yang digunakan adalah sistem listrik menggunakan sumber tegangan berbentuk sinusoidal murni dan beban linier. Beban linier adalah beban yang menghasilkan bentuk arus sama dengan bentuk tegangan. Pada kasus sumber tegangan berbentuk sinusoidal murni, beban linier mengakibatkan arus yang mengalir pada jaringan juga berbentuk sinusoidal murni. Beban linier dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, beban resistif, dicirikan dengan arus yang sefasa dengan tegangan; beban induktif, dicirikan dengan arus yang tertinggal terhadap tegangan sebesar 90° ; beban kapasitif, dicirikan dengan arus yang mendahului terhadap tegangan sebesar 90° , dan beban yang merupakan kombinasi dari tiga jenis tersebut, dicirikan dengan arus yang tertinggal/mendahului tegangan sebesar sudut ϕ . Gambar 2.7 menunjukkan tegangan dan arus pada berbagai beban linier.



Gambar 2.7 tegangan, arus, daya, pada berbagai jenis beban linier

Seperti kita tahu, pada listrik, daya bisa diperoleh dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir. Pada kasus sistem AC dimana tegangan dan arus berbentuk sinusoidal, perkalian antara keduanya akan menghasilkan daya tampak (*apparent power*), satuan *volt-ampere* (VA) yang memiliki dua buah bagian. Bagian pertama adalah daya yang dimanfaatkan oleh konsumen, bisa menjadi gerakan pada motor, bisa menjadi panas pada elemen pemanas, dsb; daya yang dimanfaatkan ini sering disebut sebagai daya aktif (*real power*) memiliki satuan watt (W) yang mengalir dari sisi sumber ke sisi beban bernilai rata-rata tidak nol.

Bagian kedua adalah daya yang tidak termanfaatkan oleh konsumen, namun hanya ada di jaringan, daya ini sering disebut dengan daya reaktif (*reactive power*) memiliki satuan *volt-ampere-reactive* (VAR) bernilai rata-rata nol. Untuk pembahasan ini, arah aliran daya reaktif tidak didiskusikan pada tugas akhir ini. Beban bersifat resistif hanya mengonsumsi daya aktif; beban bersifat induktif hanya mengonsumsi daya reaktif; dan beban bersifat kapasitif hanya memberikan daya reaktif. Untuk memahami istilah “daya termanfaatkan” dan “daya tidak termanfaatkan”, analogi ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pada analogi tersebut, orang menarik kereta ke arah kiri dengan memberikan gaya yang memiliki sudut terhadap bidang datar, dengan asumsi kereta hanya bisa bergerak ke arah kiri saja tetapi tidak bisa ke arah selainnya. Gaya yang diberikan dapat dipecah menjadi dua bagian gaya yang saling tegak lurus, karena kereta berjalan ke kiri maka gaya yang “bermanfaat” pada kasus ini hanyalah bagian gaya yang mendatar sedangkan bagian gaya yang tegak lurus “tidak bermanfaat”. Dengan kata lain, tidak semua gaya yang diberikan oleh si orang terpakai untuk menggerakkan kereta ke arah kiri, ada sebagian gaya yang diberikannya namun tidak bermanfaat (untuk menggerakkan ke arah kiri). Apabila dia menurunkan tangannya hingga tali mendatar maka semua gaya yang dia berikan akan termanfaatkan untuk menggerakkan kereta ke arah kiri.

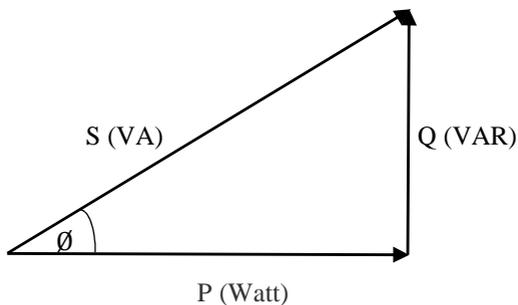


Gambar 2.8 Analogi: Usaha untuk menggerakkan kereta ke arah kiri

Sama halnya dengan listrik, bergantung pada kondisi jaringan, daya tampak yang diberikan oleh sumber tidak semuanya bisa dimanfaatkan oleh konsumen sebagai daya aktif, dengan kata lain terdapat porsi daya reaktif yang merupakan bagian yang tidak memberikan manfaat langsung bagi konsumen. *Rasio besarnya daya aktif yang bisa kita manfaatkan terhadap daya tampak yang dihasilkan sumber* inilah yang disebut sebagai faktor daya. Ilustrasi segitiga daya pada Gambar 2.9 memberikan gambaran yang lebih jelas. Daya tampak (S) terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Antara S dan P dipisahkan oleh sudut θ , yang merupakan sudut yang sama dengan sudut θ antara tegangan dan arus yang telah disebutkan di awal. Rasio antara P dengan S tidak lain adalah nilai cosinus dari sudut θ . Apabila kita berusaha untuk membuat sudut θ semakin kecil maka S akan semakin mendekati ke P artinya besarnya P akan mendekati besarnya S. Pada kasus ekstrim dimana $\theta=0^\circ$, $\cos \theta=1$, $S=P$ artinya semua daya tampak yang diberikan sumber dapat kita manfaatkan sebagai daya aktif, sebaliknya jika $\theta=90^\circ$, $\cos \theta=0$, $S=Q$ artinya semua daya tampak yang diberikan sumber tidak dapat kita manfaatkan dan menjadi daya reaktif di jaringan saja.

$$\text{Faktor Daya} = \cos \theta = \frac{P(\text{W})}{S(\text{VA})} \quad (2.2)$$

$$\text{Daya Tampak} = S(\text{VA}) = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$



Gambar 2.9 Segitiga daya

Faktor daya bisa dikatakan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang kita miliki dalam menyalurkan daya yang bisa kita manfaatkan. Faktor daya dibatasi dari 0 hingga 1, semakin tinggi faktor daya (mendekati 1) artinya semakin banyak daya tampak yang diberikan sumber bisa kita manfaatkan, sebaliknya semakin rendah faktor daya (mendekati 0) maka semakin sedikit daya yang bisa kita manfaatkan dari sejumlah daya tampak yang sama. Di sisi lain, faktor daya juga menunjukkan “besar pemanfaatan” dari peralatan listrik di jaringan terhadap investasi yang dibayarkan. Seperti kita tahu, semua peralatan listrik memiliki kapasitas maksimum penyaluran arus, apabila faktor daya rendah artinya walaupun arus yang mengalir di jaringan sudah maksimum namun kenyataan hanya porsi kecil saja yang menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi pemilik jaringan. Baik penyedia layanan maupun konsumen berupaya untuk membuat jaringannya memiliki faktor daya yang bagus (mendekati 1). Bagi penyedia layanan, jaringan dengan faktor daya yang jelek mengakibatkan dia harus menghasilkan daya yang lebih besar untuk memenuhi daya aktif yang diminta oleh para konsumen. Apabila konsumen didominasi oleh konsumen jenis residensial maka mereka hanya membayar sejumlah daya aktif yang terpakai saja, artinya penyedia layanan harus menanggung sendiri biaya yang hanya menjadi daya reaktif tanpa mendapatkan kompensasi uang dari konsumen. Sebaliknya bagi konsumen skala besar atau industri, faktor daya yang baik menjadi keharusan karena beberapa penyedia layanan kadang membebankan pemakaian daya aktif dan daya reaktif (atau memberikan denda faktor daya), tentu saja konsumen tidak akan mau membayar mahal untuk daya yang “tidak termanfaatkan” bagi mereka.

2.4 Kapasitor Bank

Capasitor Bank merupakan suatu komponen kompensator yang dapat bekerja untuk memperbaiki faktor daya, pengatur tegangan dan untuk mengurangi rugi daya pada suatu sistem. *Capacitor bank* tersusun dalam unit standar yang dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh rating tegangan dan kVA yang diharapkan. Pada pengaplikasiannya, *Capasitor bank* dapat digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif yang sekaligus menjaga kualitas tegangan dan juga untuk meningkatkan efisiensi pada sistem.

Perolehan nilai daya reaktif yang besar per unit volume pada *Capasitor bank* diperoleh dengan cara mendapatkan rugi daya yang rendah dengan mengoperasikannya pada tegangan tinggi. Mengenai

alasan ini, pengoperasian yang lama pada tegangan sebaiknya dihindari guna mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Penentuan rating daya reaktif pada *Capacitor bank* diperoleh melalui hasil selisih faktor daya lama dan faktor daya baru dikalikan dengan daya semu total.

Pada pengoperasian *capacitor bank*, ada faktor-faktor yang perlu diperhatikan, yaitu :

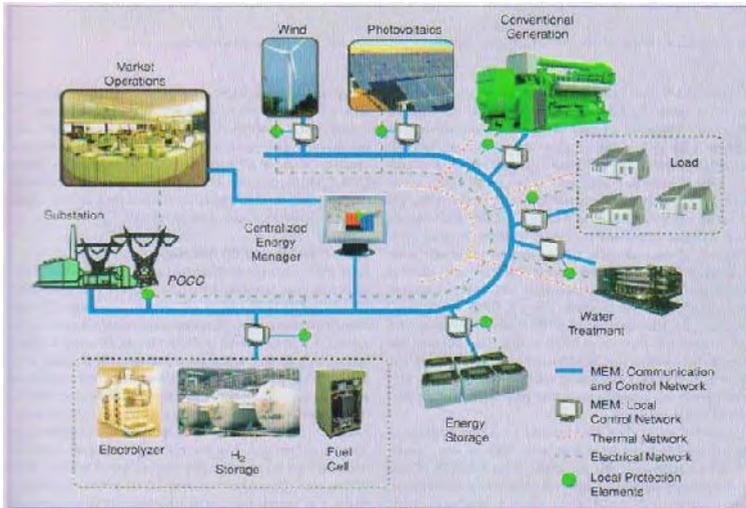
- a. Temperatur udara di sekitar *capacitor bank* harus dibawah ambang batas.
- b. Ketinggian lokasi *capacitor bank* tidak lebih dari 1800 mdpl.
- c. Tegangan antara terminal dengan tangki *capacitor bank* tidak melebihi tegangan yang ditetapkan untuk kelas isolasinya.
- d. Tegangan operasi tidak mengandung harmonisa; frekuensi tegangan operasi sama dengan frekuensi nominal.
- e. Asap, debu dan getaran mekanis yang mungkin menerpa unit-unit *capacitor bank*.

Untuk memperpanjang usia suatu *capacitor bank*, dapat dilakukan cara sebagai berikut :

- Susunan unit-unit *Capacitor bank* harus memiliki jalur bagi sirkulasi udara.
- Menempatkan *Capacitor bank* dikawasan temperatur rendah.
- Mendinginkan *Capacitor bank* dengan udara paksa.

2.5 Distributed Generation (DG)

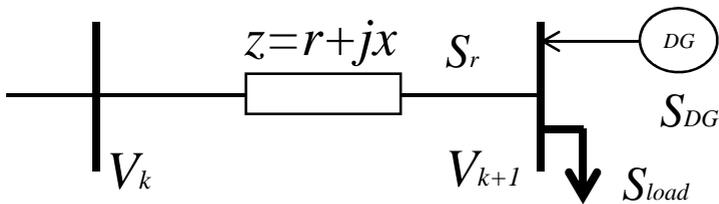
Pembangkitan terdistribusi (Distributed generation) adalah sistem pembangkitan listrik dari banyak sumber-sumber energi kecil. Kelebihan sistem ini dibanding sistem kelistrikan yang terpusat adalah dapat beroperasi secara independen, tidak memerlukan wilayah pengoperasian yang besar dan rumit, jaringan transmisi pendek dan dapat menggunakan sumber energi pembangkitan yang bersesuaian dengan kawasan yang akan dialiri listrik. Pembangkitan terdistribusi dapat mengurangi rugi-rugi energi pada transmisi listrik karena pemasangannya dekat dengan pengguna dan dapat mengurangi jumlah talian daya yang harus dibangun. Konfigurasi pembangkit terdistribusi terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Skema Pembangkit listrik Terdistribusi (Sumber : GE Research)

Sistem pembangkitan listrik tersentralisir selalunya dibangun dengan mempertimbangkan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan, logistik, lingkungan, keadaan geografi dan geologi. Sebagai contoh, pembangkit listrik tenaga batubara harus dibangun jauh dari kota, untuk menghindari polusi udara yang dapat berpengaruh terhadap orang ramai, selain itu juga mesti dibangun dekat tambang batu bara untuk menghindari biaya transportasi yang banyak. Pembangkit listrik tenaga air hanya dapat beroperasi pada keadaan alam yang mempunyai aliran air yang cukup besar. Begitu juga dengan PLTN, PLTG dan sebagainya. Dari uraian diatas faktor polusi yang rendah, faktor kesehatan dan keselamatan, logistik dan keadaan geologi adalah merupakan pilihan dalam membangun dan menyediakan pembangkit-pembangkit listrik. Selain itu biaya yang cukup besar dan ketersediaan sumber energi juga menjadi bahan pertimbangan utama. Oleh sebab itu diperlukan pembangkitan terdistribusi yang bersifat perawatan yang murah, polusi rendah dan memiliki efisiensi yang tinggi dengan memanfaatkan sumber-sumber energi ramah lingkungan yang bisa disediakan dengan mudah di lingkungan pembangkit. Sumber-sumber energi yang bisa digunakan untuk pembangkitan terdistribusi ini diantaranya adalah : sinar matahari,

angin, gas alam, biofuel, air, dan sebagainya. Karena sumber energinya yang terdistribusi, maka sistem ini dinamakan pula sistem kelistrikan sumber energi terdistribusi (Distributed Energy Resource/DER). Sistem pembangkit ini menggunakan teknologi pembangkitan skala kecil (3-10.000 kW) yang digunakan untuk menyediakan sistem energi listrik. Masalah yang biasaya terjadi pada pembangkitan terdistribusi ini adalah tingginya biaya pada pembangunannya, terkecuali mungkin pada pembangkit mikrohidro, yang apabila di rancang dengan baik akan dapat meniadakan biaya perawatan per kWh dan dapat membangkitkan tenaga listrik untuk beberapa tahun.



Gambar 2.11 Pemasangan DG pada sistem distribusi

Berdasarkan gambar 2.11, rugi daya yang terjadi ketika DG ditempatkan pada suatu lokasi dalam sistem distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_r = S_{li} - S_D \quad (2.4)$$

$$P_{D,li} = r_i (S_r) \quad (2.5)$$

Dimana, S_{load} dan S_{DG} merupakan daya tampak yang diserap beban dan daya yang dihasilkan oleh DG sehingga untuk mendapatkan besarnya kerugian daya setelah pemasangan DG maka daya yang dikonsumsi beban tersebut dikurangi dengan daya yang dihasilkan DG.

Berdasarkan teknologi yang digunakan, DG dibagi menjadi 2 tipe yakni, teknologi terbarukan (seperti PV dan turbin angin) dan teknologi tak terbarukan (seperti *fuel cells*). Penentuan lokasi, besar kapasitas dan jumlah unit dari DG sangat berperan penting dalam memperoleh rugi daya yang paling minimal pada sistem distribusi. DG memiliki macam

varian kapasitas, mulai dari pembangkitan 1 Watt hingga terbesar yaitu 300MW. Berikut ini merupakan klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan yang dimilikinya :

Tabel 2.1 Kategori DG berdasarkan kapasitas

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG	1 Watt – 5 kW
Small DG	5 kW – 5 MW
Medium DG	5 MW – 50 MW
Large DG	50 MW – 300 MW

Pada penggunaannya DG memiliki beberapa keuntungan, diantaranya sebagai berikut:

1. DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *power plants*, dalam hal penyaluran daya karena dapat membantu mengurangi rugi daya pada sistem.
2. DG bersifat ramah lingkungan, emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik dikategorikan rendah.
3. Pemasangan DG yang berada dekat dengan beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
4. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya.

2.6 Genetic Algorithm (GA)

Algoritma Genetika merupakan suatu metode heuristik yang dikembangkan berdasarkan prinsip genetika dan proses seleksi alamiah Teori Evolusi Darwin. Metode optimasi dikembangkan oleh John Holland sekitar tahun 1960-an dan dipopulerkan oleh salah seorang mahasiswanya, David Goldberg, pada tahun 1980-an (Haupt-Haupt, 2004). Proses pencarian penyelesaian atau proses terpilihnya sebuah penyelesaian dalam algoritma ini berlangsung sama seperti terpilihnya suatu individu untuk bertahan hidup dalam proses evolusi.

Dalam Teori Evolusi Darwin, suatu individu tercipta secara acak kemudian berkembang biak melalui proses reproduksi sehingga terbentuk sekumpulan individu sebagai suatu populasi. Setiap individu dalam populasi mempunyai tingkat kebugaran (*fitness*) yang berbeda-beda. Tingkat kebugaran ini menentukan seberapa kuat untuk tetap bertahan

hidup dalam populasinya. Sebagian individu tetap bertahan hidup dan sebagian lainnya mati.

Dalam teori ini dikenal adanya proses seleksi alam yang mempertahankan individu dengan tingkat kebugaran yang tinggi saja untuk tetap bertahan hidup. Contohnya, saat ini hanya dikenal jerapah yang berleher panjang saja. Menurut teori ini, pada awalnya, terdapat jerapah yang berleher pendek, tetapi karena tantangan alam yang tidak dapat diatasi, maka punahlah jerapah berleher pendek. Dalam contoh ini, jerapah dengan leher panjang dikatakan mempunyai tingkat kebugaran yang tinggi. Jerapah-jerapah tersebut terpilih secara alamiah dalam proses evolusi yang berlangsung dari generasi ke generasi.

Demikian juga dalam proses pencarian yang berlangsung dalam Algoritma Genetika. Pencarian dimulai dengan pembangkitan sejumlah “individu” secara acak yang disebut dengan kromosom. Kromosom-kromosom ini merupakan representasi calon penyelesaian yang akan diperiksa nilai yang sebenarnya. Seperti halnya proses evolusi alamiah, kromosom-kromosom akan dinilai tingkat kebugarannya. Hanya kromosom dengan tingkat kebugaran yang tinggi saja yang terpilih untuk bertahan dalam populasi.

Kromosom-kromosom yang terpilih sebagian akan melakukan proses reproduksi melalui penyilangan (*crossover*). Proses reproduksi ini mirip dengan perkawinan individu dalam proses evolusi. Sebagian kecil dari kromosom-kromosom juga terkena mutasi (*mutation*) seperti dalam proses evolusi. Proses reproduksi ini akan melahirkan individu-individu baru.

Gabungan dari individu-individu baru dengan kromosom-kromosom yang tidak melakukan proses reproduksi akan membentuk populasi baru pada generasi berikutnya. Serangkaian proses seperti ini berlangsung sampai sejumlah generasi tercapai. Penyelesaian yang ditemukan adalah kromosom yang mempunyai tingkat kebugaran yang paling tinggi pada generasi terakhir.

Tidak semua proses evolusi dimodelkan apa adanya ke dalam Algoritma Genetika. Terdapat beberapa batasan yang menjadi parameter algoritma. Jika dalam proses evolusi, banyaknya individu dalam suatu

populasi tidak dibatasi, maka dalam Algoritma Genetika hanya dibatasi sebanyak ukuran populasi. Kemungkinan suatu individu kawin dengan individu lainnya juga dijadikan sebagai parameter algoritma dan dikenal sebagai probabilitas penyilangan. Demikian juga dengan kemungkinan terjadinya mutasi pada suatu individu, yang dikenal sebagai probabilitas mutasi. Bahkan berlangsungnya proses komputasi juga dibatasi dalam Algoritma Genetika sampai suatu kondisi terpenuhi.

Terdapat beberapa kelebihan Algoritma Genetika jika dibandingkan algoritma pencarian lainnya. Menurut Goldberg, terdapat beberapa perbedaan di antara algoritma pencarian yang lain (Goldberg, 1989), yaitu:

1. Algoritma ini bekerja dalam kawasan representasi penyelesaian masalah yang dikodekan dalam bentuk kromosom bukan dalam kawasan masalah itu sendiri.
2. Algoritma ini mencari penyelesaian dari titik-titik populasi dan bukan dari sebuah titik saja. Proses pencarian dengan sekumpulan titik-titik populasi ini menyebabkan algoritma ini lebih kecil kemungkinannya untuk terjebak pada nilai optimum lokal.
3. Algoritma ini hanya berdasarkan nilai fungsi objektif saja dan tidak berdasarkan pengetahuan bantuan (*auxiliary knowledge*).
4. Algoritma ini bekerja berdasarkan pada aturan probabilistik (*probabilistic rule*), bukan aturan deterministik (*deterministic rule*).

2.6.1 Komponen *Genetic Algorithm* (GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) terdapat beberapa komponen yang digunakan. Permasalahan atau pencarian solusi yang akan dipecahkan dimodelkan ke dalam komponen *Genetic Algorithm* (GA). Berikut beberapa komponen yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

a. Gen

Gen adalah elemen terkecil dalam sistem makhluk hidup yang membawa sebuah nilai di dalam individu. Biasanya gen pada *Genetic Algorithm* (GA) berbentuk *biner, float dan string*.

b. Kromosom

Kromosom adalah kumpulan dari gen-gen yang membentuk satu kesatuan .

- c. Individu
Individu adalah kesatuan dari kromosom yang memiliki satu fitness
- d. Populasi
Populasi adalah sekumpulan individu yang memiliki fitness masing-masing. Pada populasi inilah akan dipilih induk untuk dilakukan regenerasi atau perkawinan, sehingga setiap generasi akan terjadi pembaharuan (*update*) pada populasi.
- e. Generasi
Generasi adalah jumlah keturunan dari proses seleksi alami. Proses ini dimulai dengan satu populasi hingga membentuk populasi baru dengan gen-gen yang berbeda-beda.
- f. Nilai fitness
Nilai fitness adalah nilai dari fungsi objektif permasalahan dari setiap individu. Nilai ini akan digunakan sebagai pembandingan dalam pemilihan individu terbaik sebagai solusi paling optimal.

2.6.2 Parameter *Genetic Algorithm*(GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) digunakan beberapa parameter dalam melakukan optimasi. Parameter ini memiliki nilai yang akan mempengaruhi proses optimasi yang berhubungan dengan kecepatan pencarian solusi terbaik. Berikut Parameter yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

- a. Probabilitas persilangan (*Probability of crossover* (PC))
PC adalah nilai kemungkinan dari terjadinya *crossover* pada saat perkawinan. Nilai PC berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai PC semakin besar maka kemungkinan terjadinya *crossover* juga semakin besar dan sebaliknya. Kemungkinan 100% terjadinya *crossover* dapat dilakukan dengan memberikan nilai 1 pada parameter PC dan sebaliknya[9].
- b. Probabilitas mutasi (*Probability of mutation* (PM))
PM adalah nilai kemungkinan dari terjadinya mutasi pada gen-gen pembentuk kromosom. Mutasi terjadi setelah *crossover* pada perkawinan. Nilai PM memiliki nilai yang kecil seperti 0,05, 0,1 atau lainnya. Jika nilai PM semakin kecil maka kemungkinan terjadinya mutasi juga semakin kecil dan sebaliknya. Nilai PM ini pada umumnya berkisar antara 0 hingga 0,3[9].
- c. *Popsizse* (ukuran populasi)
Popsizse adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah individu di dalam populasi pada setiap generasi. Besarnya *popsizse* akan

mempengaruhi pencarian solusi yang optimal. Hal ini dikarenakan populasi yang besar memiliki keberagaman jenis individunya.

d. *Maxgen* (jumlah generasi)

Maxgen adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah generasi atau keturunan dalam melakukan optimasi. Parameter ini juga sebagai pembatas atau kriteria stop dalam pencarian. Maksudnya jika proses evolusi telah sampai pada nilai *Maxgen*, maka proses optimasi akan berhenti.

2.6.3 Proses Genetic Algorithm (GA)

2.6.3.1 Pembangkitan Populasi Awal

GA dimulai dengan pembangkitan populasi awal secara acak berupa matriks yang berisi angka nol dan satu. Untuk membangkitkan populasi awal dapat menggunakan :

$$\text{pop} = \text{round}(\text{rand}(N_{\text{pop}}, N_{\text{bits}}));$$

2.6.3.2 Pembentukan Generasi Baru

Didalam pembentukan generasi baru pada GA terdapat beberapa tahapan, yaitu seleksi induk , *crossover* dan *mutasi*. Berikut penjelasan tahapan-tahapan tersebut .

1. Seleksi

Seleksi adalah pemilihan 2 kromosom dari populasi. Kromosom ini akan menghasilkan 2 anak (*offspring*) yang nantinya akan menggantikan posisi induknya pada populasi.

Macam macam seleksi :

a. *Pairing from top to bottom*

Memilih sepasang kromosom dengan cara mengambil sepasang kromosom mulai dari atas ke bawah. Seleksi ini menggunakan barisan ganjil dan genap. Maksudnya untuk ibu (induk 1) diambil dari barisan ganjil $ma=1,3,5,\dots$ dan untuk ayah (induk2) diambil dari barisan genap $pa=2,4,6,\dots$. Pendekatan seperti ini bukanlah sifat alami, tapi ini salah satu cara untuk pemula untuk mencoba.

b. *Random pairing*

Pendekatan ini menggunakan sifat acak (*random*). Maksudnya dalam *random pairing* akan memilih sepasang kromosom

secara acak, yang berarti semua kromosom dalam populasi memiliki kesempatan untuk terpilih sebagai induk (*ma* dan *pa*).

c. *Rank Weighting*

Pemilihan induk menggunakan pendekatan ini dilakukan secara ranking, jadi setiap kromosom akan diranking berdasarkan nilai fitness.

d. *Roulette wheel*

Seleksi ini menggunakan prinsip permainan roda rolet. Setiap individu atau calon induk akan dibagi-bagi pada luasan roda rolet. Cara pembagiannya adalah dengan mempertimbangkan nilai *fitness* setiap individu. Jika *fitness* individu semakin baik, maka akan mendapatkan luasan yang lebih besar dari pada individu yang memiliki fitness lebih buruk.

Individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki kemungkinan lebih besar terpilih daripada individu lainnya. Tetapi tidak menutup kemungkinan individu yang lebih buruk juga akan terpilih, karena angka yang digunakan adalah random, hanya saja individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki luasan lebih besar.

2. Perkawinan Silang (*crossover*)

Crossover adalah operator genetika yang mana melakukan kombinasi dari dua kromosom (induk) untuk menghasilkan kromosom baru atau anak (*offspring*). Ide dari *crossover* itu sendiri adalah kromosom baru (*offspring*) mungkin lebih baik daripada kromosom induknya. *Crossover* akan terjadi selama proses evolusi dengan adanya probabilitas *crossover*. Maksudnya selama evolusi belum tentu selalu terjadi *crossover*. Dengan mengacu referensi [9] nilai PC berkisar antara 0 sampai 1.

Macam-macam *crossover* :

a. *One-point crossover*

Jenis *crossover* ini memilih satu titik kemudian menyilangkan setiap gen sebelum titik persilangan pada induk 1 dan setiap gen setelah titik pada induk 2 seperti pada gambar 2.12.

Induk 1 →

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

 Induk 2 →

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

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1 →

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

 Anak 2 →

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

Gambar 2.12 Crossover satu titik

b. *Two-point crossover*

Jenis crossover ini memilih dua titik, kemudian melakukan pertukaran pada kedua kromosom (induk) untuk menghasilkan 2 anak (*offspring*) seperti pada gambar 2.13.

Induk 1 →

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

 Induk 2 →

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

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1 →

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

 Anak 2 →

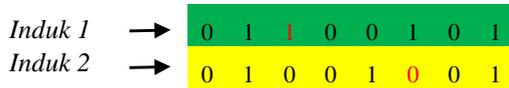
0	1	1	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Gambar 2.13 Crossover dua titik

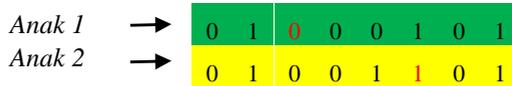
3. Mutasi (*mutation*)

Mutasi adalah operator genetika yang menukar nilai salah satu gen pada kromosom anak (*offspring*) dengan nilai inversnya, yaitu nol menjadi satu atau satu menjadi nol. Sama dengan *crossover*, mutasi juga memiliki probabilitas sesuai dengan referensi [9] nilai PM memiliki nilai yang kecil.

Operator mutasi yang melakukan penukaran nilai (invers) pada gen yang terpilih seperti pada gambar 2.14.



Setelah proses *mutasi* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :



Gambar 2.14 Mutasi dua titik

2.6.3.3 Evaluasi Individu

Setelah proses perkawinan silang (*crossover*) dan mutasi, maka *offspring* akan dievaluasi sehingga menghasilkan *fitness*. *Fitness offspring* 1 dan 2 dipilih yang terbaik sebagai *fitness* generasi ke *i*. Proses ini akan terus dilakukan (*looping*) hingga generasi yang telah ditentukan.

2.6.3.4 Elitism

Elitism merupakan proses penyimpanan nilai *fitness* setiap generasi. Setiap generasi memiliki nilai *fitness* yang berbeda-beda. Tidak ada jaminan nilai *fitness* setiap generasi menjadi lebih baik, sehingga digunakanlah cara elitism untuk menyimpan dan *update* nilai *fitness* yang terbaik setiap generasi. *Fitness* yang akan disimpan atau di-*update* merupakan *fitness* yang terbaik dan memenuhi semua kriteria (*constraint*).

2.6.3.5 Pemilihan Individu Terbaik

Proses ini adalah proses terakhir dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan individu terbaik dapat diambil dari *fitness* terbaik yang telah disimpan dengan cara *elitism*. *Fitness* terbaik ini berupa nilai yang memiliki solusi dari permasalahan. Dari pemilihan individu ini didapatkanlah *fitness* terbaik dengan solusi terbaik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

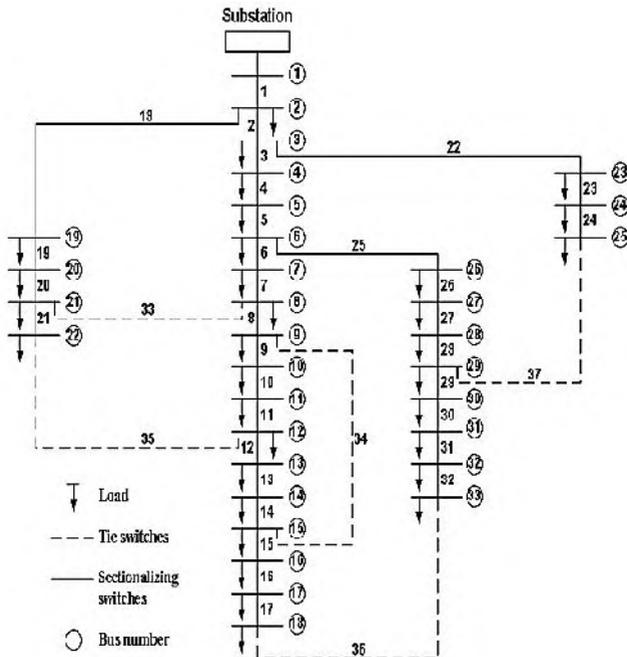
BAB III

PERANCANGAN DAN PEMODELAN OPTIMASI

Pada bab ini dijelaskan tentang bagaimana penentuan lokasi DG dan kapasitor bank yang paling optimal menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini diterapkan terhadap sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE dengan tujuan untuk memperoleh faktor daya minimal 0,85 untuk semua bus, namun dengan tetap memperhatikan rugi daya dan deviasi tegangan.

3.1 Sistem Distribusi Radial 33-bus Standart IEEE

Pada tugas akhir ini, sistem distribusi radial yang digunakan ialah sistem tes 33-bus standart IEEE. Sistem yang digunakan berupa saluran distribusi tiga fasa seimbang dimana terdapat 32 *sectionalizing switches* dan 5 *tie switches*.



Gambar 3.1 Sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE [7]

Berikut ini merupakan data beban dan data saluran Sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE [7].

Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi 33-bus IEEE [7]

No. Bus	P _L (MW)	Q _L (MVAR)	No. Bus	P _L (MW)	Q _L (MVAR)
2	0.1	0.06	18	0.09	0.04
3	0.09	0.04	19	0.09	0.04
4	0.12	0.08	20	0.09	0.04
5	0.06	0.03	21	0.09	0.04
6	0.06	0.02	22	0.09	0.04
7	0.2	0.1	23	0.09	0.05
8	0.2	0.1	24	0.42	0.2
9	0.06	0.02	25	0.42	0.2
10	0.06	0.02	26	0.06	0.025
11	0.045	0.03	27	0.06	0.025
12	0.06	0.035	28	0.06	0.02
13	0.06	0.035	29	0.12	0.07
14	0.12	0.08	30	0.2	0.6
15	0.06	0.01	31	0.15	0.07
16	0.06	0.02	32	0.21	0.1
17	0.06	0.02	33	0.06	0.04

Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE [7]

No. Cabang	Bus Kirim	Bus Terima	Resistansi R (ohm)	Reaktansi X (ohm)
1	1	2	0.0922	0.047
2	2	3	0.493	0.2512
3	3	4	0.3661	0.1864

Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE [7] (tabel lanjutan)

No. Cabang	Bus Kirim	Bus Terima	Resistansi R (ohm)	Reaktansi X (ohm)
4	4	5	0.3811	0.1941
5	5	6	0.819	0.707
6	6	7	0.1872	0.6188
7	7	8	0.7115	0.2351
8	8	9	1.0299	0.74
9	9	10	1.044	0.74
10	10	11	0.1967	0.0651
11	11	12	0.3744	0.1298
12	12	13	1.468	1.1549
13	13	14	0.5416	0.7129
14	14	15	0.5909	0.526
15	15	16	0.7462	0.5449
16	16	17	1.2889	1.721
17	17	18	0.732	0.5739
18	2	19	0.164	0.1565
19	19	20	1.5042	1.3555
20	20	21	0.4095	0.4784
21	21	22	0.7089	0.9373
22	3	23	0.4512	0.3084
23	23	24	0.898	0.7091
24	24	25	0.8959	0.7091
25	6	26	0.2031	0.1034
26	26	27	0.2842	0.1447
27	27	28	1.0589	0.9338

Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE [7] (tabel lanjutan)

No. Cabang	Bus Kirim	Bus Terima	Resistansi R (ohm)	Reaktansi X (ohm)
28	28	29	0.8043	0.7006
29	29	30	0.5074	0.2585
30	30	31	0.9745	0.9629
31	31	32	0.3105	0.3619
32	32	33	0.3411	0.5302
33	8	21	2.0000	2.0000
34	9	15	2.0000	2.0000
35	12	22	2.0000	2.0000
36	18	33	0.5000	0.5000
37	25	29	0.5000	0.5000

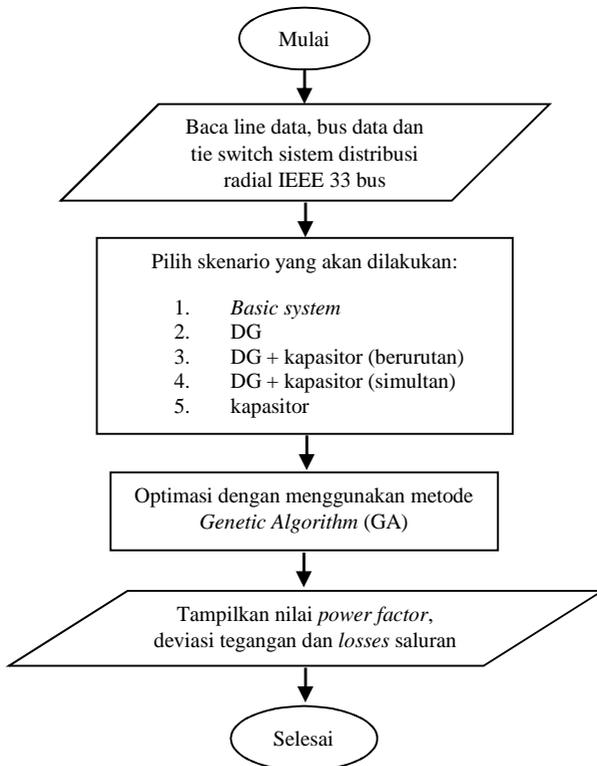
3.2 Skenario Optimasi

Dalam tugas akhir ini terdapat beberapa skenario yang dibuat untuk mengetahui pengaruh penggunaan DG dan kapasitor dengan metode *Genetic Algorithm* (GA) terhadap perubahan nilai *power factor*. Beberapa skenario yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Basic system*
Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai *power factor* serta parameter lainnya sebelum optimasi dilakukan.
2. DG
Pemasangan DG di sini sebagai langkah optimasi yang pertama bertujuan untuk mengurangi rugi daya dan deviasi tegangan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).
3. DG + kapasitor (berurutan)
Pada skenario ini optimasi dilakukan dengan memasang DG lalu kemudian disusul dengan pemasangan kapasitor secara berurutan.

4. DG + kapasitor (simultan)
Simulasi ini dilakukan dengan memasang DG dan kapasitor secara bersamaan (simultan).
5. kapasitor
Skenario yang terakhir adalah untuk melihat pengaruh pemasangan kapasitor terhadap nilai *losses*, tegangan dan *power factor*.

Gambar 3.2 merupakan *flowchart* optimasi yang akan dilakukan (skenario 1-5) untuk meningkatkan nilai *power factor* pada jaringan distribusi radial 33-bus standar IEEE dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).



Gambar 3.2 *Flowchat* optimasi untuk perbaikan *power factor*

1.3 Batasan (*constraint*)

Disetiap optimasi harus ada *constraint* atau batasan sebagai kriteria dalam pemilihan solusi dan *fitness*. Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau *constraint* yang harus dipenuhi :

a. *Constraint* tegangan

Merupakan batasan *under* dan *over voltage* pada setiap bus pada saat pemilihan individu terbaik, sehingga nantinya menghasilkan tegangan yang tidak melewati *constraint* tegangan tersebut. *Constraint* tegangan yang harus dipenuhi adalah:

$$0,95 p \leq V_t \leq 1,05 p \quad (3.1)$$

b. *Constraint* injek daya aktif (P (MW)) dari DG

Merupakan batasan maksimal daya aktif DG yang diinjeksi ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas DG yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai aturan *rule of thumb*, kapasitas daya aktif (P) dari DG yang akan disalurkan ke sistem sebesar 2/3 dari total daya aktif (P) yang ada pada sistem [10].

$$\sum_{i=1}^{N_D} P_D \leq 2/3 \sum_{j=i}^{N_I} P_D(j) \quad (3.2)$$

c. *Constraint* injek daya reaktif (Q (MVar)) dari kapasitor.

Merupakan batasan maksimal daya reaktif kapasitor yang diinjeksi ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas kapasitor yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai referensi [11] *constraint* injek daya reaktif yang harus dipenuhi adalah :

$$\sum_{i=1}^{N_c} Q_c(i) + \sum_{i=1}^{N_D} Q_D(i) \leq \sum_{j=2}^n Q_D(j) \quad (3.3)$$

d. *Power factor*

Perusahaan Listrik Negara (PLN) menetapkan standar nilai faktor daya untuk pelanggannya adalah sebesar $> 0,85$ (SPLN 70-1). Oleh karena itu pada tugas akhir ini nilai faktor daya merujuk pada standar yang telah ditetapkan oleh PLN.

1.4 Penerapan *Genetic Algorithm* (GA) pada Optimasi

Optimasi untuk perbaikan *power factor* pada tugas akhir ini menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan metoda ini dikarenakan metoda ini memiliki kelebihan dalam melakukan kombinasi, sehingga dapat digunakan untuk optimasi dari kombinasi penempatan kapasitor dan DG dengan nilai *losses yang kecil* dan *power factor* yang optimal. Kemudian untuk melakukan simulasi optimasi dilakukan pada *software* MATLAB, sehingga untuk setiap teknik optimasi dimodelkan ke dalam komponen dan parameter *Genetic Algorithm* (GA) pada *software* MATLAB.

3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

a. Gen

Dalam tugas akhir ini menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) jenis *binner*, sehingga parameter gen disini berupa angka *binner nol* dan satu. Setiap gen memiliki dan mengandung nilai tersendiri.

b. Kromosom

Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu, banyaknya gen di dalam kromosom tergantung dari optimasi yang dilakukan dan jumlah kapasitor dan DG yang akan dioptimasi.

c. Individu

Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom. Pada tugas akhir ini individu membawa nilai *fitness* berupa deviasi tegangan minimum dan solusi berupa status tutup dan buka *tie switch* dan *sectionalizing*, penempatan kapasitor dan DG beserta kapasitas daya yang diinjekkkan.

d. Populasi

Dalam tugas akhir ini, dilakukan beberapa kali percobaan (*trial*) untuk mendapatkan berapa besar ukuran populasi (*popsize*) yang dianggap sudah dapat menemukan solusi di setiap optimasi (*scenario 2-5*). Pada tugas akhir ini besarnya populasi adalah 20.

e. *Fitness*

Fitness merupakan hasil minimisasi atau maksimalisasi dari suatu fungsi objektif, dimana pada tugas akhir ini ada dua fungsi objektif, yaitu meminimalkan *losses* dan mengoptimalkan *power factor*.

$$M \quad L = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(P)^2 + (Q)^2}{|V|^2} R_{i,i+1} \quad (3.4)$$

$$M \quad f(x) = \min(c_k, \emptyset_k) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.5)$$

f. *Max Generasi*

Max generasi merupakan jumlah generasi dari hasil perkawinan silang (*crossover*) atau keturunan yang ingin digunakan dalam satu kali proses evolusi. Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa kali percobaan dimana pada generasi berapa tidak ada lagi perubahan atau tidak ada lagi individu yang lebih baik. Kemudian baru menentukan berapa max generasi. Untuk optimasi (*scenario 2-5*) digunakan max generasi 100.

g. *Crossover*

Dalam tugas akhir digunakan *crossover* satu titik.

h. *Mutation*

Dalam tugas akhir ini digunakan *mutation* jenis satu titik.

i. *Probability crossover* (PC)

Kemungkinan terjadinya *crossover* adalah diantara 0 – 1 dan dipilih 0,8 [9]. Pada tugas akhir ini menggunakan PC 0,95. Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan kemungkinan terbesar agar terjadinya *crossover*, sehingga setiap generasi mengalami perubahan dan ini akan mempercepat menemukan solusi dan proses *konvergensi*.

j. *Probability mutation* (PM)

Kemungkinan terjadinya mutasi bernilai kecil dengan nilai 0,1 [9]. Pada tugas akhir ini menggunakan PM 0,05. Pemilihan ini

bertujuan untuk memberikan kemungkinan terkecil agar terjadinya *mutation*.

3.4.2 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan GA

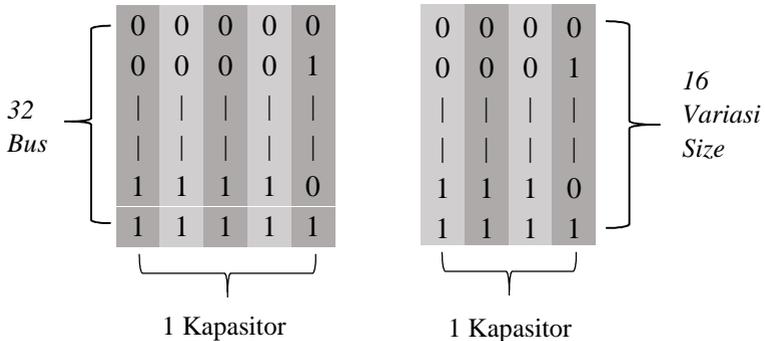
Tujuan optimasi penempatan kapasitor dalam tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan nilai *power factor*. Berikut adalah pemodelannya :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk kapasitor, pertama untuk penempatan dan kedua untuk ukuran atau kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus pada sistem, karena menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus, maka jumlah busnya adalah 33 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Gambar 3.3 adalah gambar pengkodean biner kapasitor .

Penempatan \rightarrow 33 bus = 32 (pembulatan) = 2^5

Ukuran \rightarrow diinginkan 16 variasi = 2^4



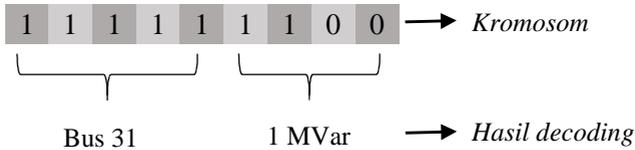
Gambar 3.3 Pengkodean biner kapasitor

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu kapasitor membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan kapasitor lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan

disesuaikan dengan jumlah kapasitornya (9bit dikali jumlah kapasitor).

Gambar 3.4 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran kapasitor, dimana penempatan kapasitor pada bus 31 dan ukurannya 1 MVar.



Gambar 3.4 Contoh *decoding* panjang biner kapasitor

3.4.3 Pemodelan Penempatan *Distributed Generation* (DG) dengan GA

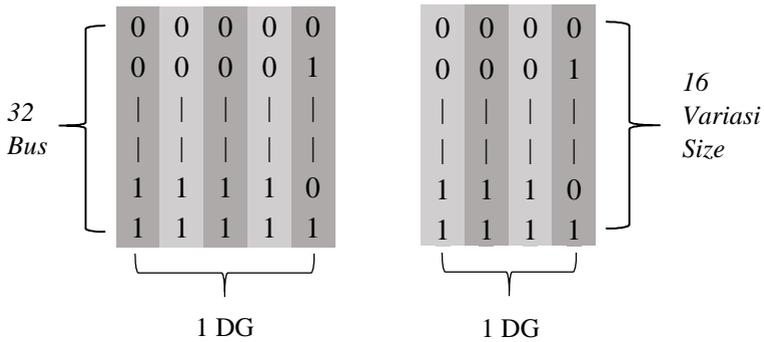
Tujuan optimasi penempatan *Distributed Generation* (DG) dalam tugas akhir ini adalah untuk meminimalkan *losses* saluran. Berikut adalah pemodelannya :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk *distributed* (DG), pertama untuk penempatan dan kedua untuk kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus sistem, karena menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus, maka jumlah busnya adalah 33 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran kapasitas tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Pada tugas akhir ini DG hanya dimodelkan menghasilkan daya aktif saja. Gambar 3.5 merupakan pengkodean biner *distributed generation* (DG) pada tugas akhir ini.

Penempatan → 33 bus = 32 (pembulatan) = 2^5

Ukuran → diinginkan 16 variasi = 2^4

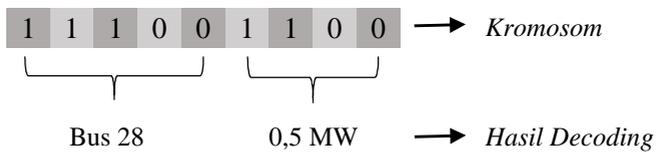


Gambar 3.5 Pengkodean biner DG

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu DG membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan DG lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah DG.

Gambar 3.6 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran DG, dimana penempatan DG pada bus 28 dan ukurannya 0,5 MW.

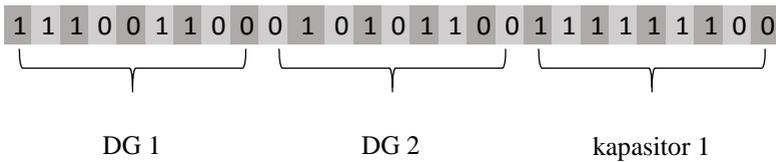


Gambar 3.6 Contoh *decoding* kromosom DG

3.4.4 Pemodelan Penempatan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor Secara Simultan dengan GA

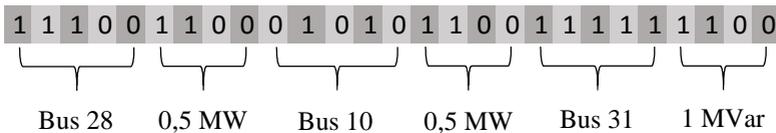
Tujuan dari teknik optimasi ini adalah untuk meningkatkan nilai *power factor* dengan tetap memperhatikan nilai *losses* dan deviasi tegangan. Diharapkan dengan teknik optimasi ini akan mendapatkan hasil

yang lebih optimal. Pada optimasi ini *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor dipasang secara bersamaan. Oleh karena itu, setiap kromosom atau individu memiliki gen-gen *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor. Maksudnya setiap individu memiliki solusi dan *fitness* untuk optimasi *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar 3.7. Pada gambar 3.7 terdapat gen-gen dua *Distributed Generation* (DG) dan satu kapasitor (lokasi dan *size*).



Gambar 3.7 Optimasi simultan DG dan kapasitor

Untuk pengkodean biner hampir sama dengan optimasi *Distributed Generation* (DG) atau kapasitor saja, bedanya hanya pada panjang Nsbit-nya. Pada proses optimasi ini (*scenario* 4) kromosom akan diartikan berdasarkan pengkodean binnernya seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Contoh *decoding* kromosom DG dan kapasitor

3.5 Proses Optimasi Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

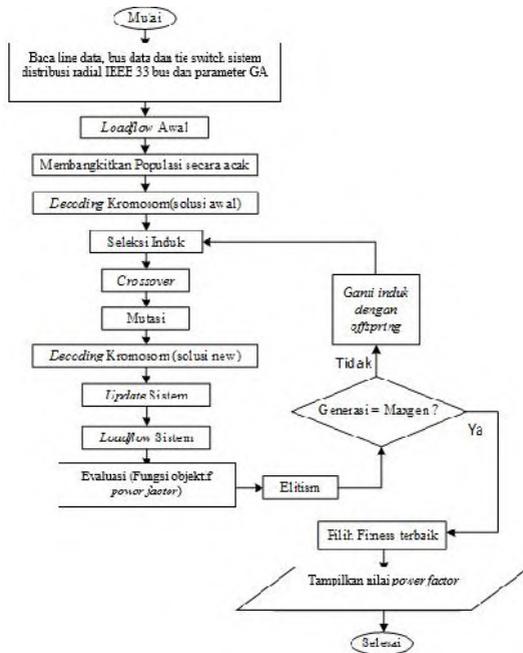
Pada Bab sebelumnya sudah dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) secara umum, pada sub-bab ini akan dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) untuk meningkatkan *power factor* dengan beberapa *scenario* yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus (*scenario* 2-5).

- a. Pembacaan data dan parameter
Proses pertama ini adalah adalah pembacaan data sistem distribusi IEEE 33 bus berupa line data, bus data, tie switch. Kemudian parameter GA dan parameter lainnya.
- b. *Load flow* awal (*scenario 1*)
Hal ini dilakukan untuk mengetahui keadaan awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Sehingga didapatkan deviasi tegangan awal, jumlah daya reaktif (MVar) dan daya aktif (MW) sistem. Kedua nilai ini akan digunakan sebagai nilai pembanding dan nilai batasan injek daya kapasitor dan DG.
- c. Membangkitkan Populasi
Ukuran populasi yang dibangkitkan sesuai dengan keinginan, misalnya 10, 20, 50 dan seterusnya. Populasi dibangkitkan secara acak yang mana bernilai angka binner nol dan satu. Kemudian Nsbit dari tiap kromosom tergantung dari *scenario* yang dilakukan.
- d. *Decoding* Kromosom
Semua kromosom akan diuraikan (*parsing*) berdasarkan *scenario* yang dilakukan. Kemudian semua kromosom pada populasi akan diartikan (*decoding*) dan menghasilkan solusi awal.
- e. Evolusi
Pada proses ini dimulailah proses penseleksian induk (*random selection*), kemudain *crossover*, mutasi sehingga menghasilkan anak baru (*offspring*). Proses evolusi ini akan terus terjadi (perulangan) hingga mencapai generasi yang telah ditentukan.
- f. Evaluasi
Anak baru (*offspring*) yang mengalami perubahan gen-gen dari induknya akan diartikan (*decoding*) sehingga menghasilkan solusi. Solusi ini akan di terapkan pada sistem IEEE 33 bus (update sistem) kemudian dilakukan *load flow*. Dari hasil *load flow* didapatkan nilai *power factor*-nya dan disimpan di dalam *fitness* i.

g. *Fitness* terbaik

Setelah melakukan evaluasi maka dilakukan pemilihan individu yang memiliki *fitness* terbaik berdasarkan batasan (*constraint*) yang ada. Sehingga individu yang akan dipilih nantinya merupakan individu yang sudah memenuhi kriteria atau *constraint* dan memiliki *fitness* terkecil. Di dalam individu ini sudah terdapat solusi dari *scenario* optimasi yang dilakukan.

Gambar 3.9 merupakan *flowchart* dari optimasi untuk memaksimalkan nilai *power factor* yang dilakukan menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).



Gambar 3.9 *Flowchart* optimasi *power factor* dengan metode *Genetic Algorithm* (GA)

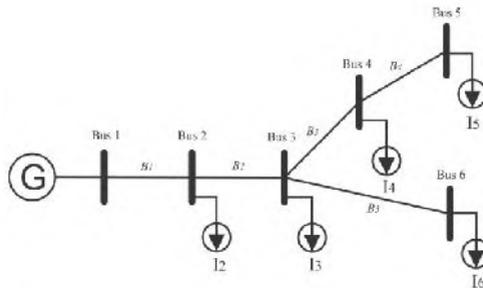
3.6. Aliran Daya

Analisa dan evaluasi aliran daya sangat penting untuk sistem distribusi. Untuk menganalisa dan evaluasi aliran daya tersebut digunakanlah sebuah metoda. Pada tugas akhir ini untuk aliran daya menggunakan metoda *Forward – Backward Sweep* yang merujuk pada referensi [12]. Analisa aliran daya untuk mendapatkan nilai tegangan setiap bus dan arus yang mengalir disepanjang saluran. Berikut tahapan dari metoda *Forward – Backward 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 :

$$I_k = \left(\frac{P_{k+j} + j Q_k}{V_k} \right)^* \quad (3.6)$$

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



Gambar 3.10 Contoh single line diagram

Dari gambar 3.10 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 :

$$|B| = |BIBC| |I| \quad (3.7)$$

2. Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang diawali dengan pembentukan matrik BCBV (*Branch Current to Branch 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 :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.8)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV , persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.9)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.10)$$

Dengan menggunakan matrik BIBC, BCBV dan ΔV dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan :

$$[V_i] = [V_{i1}] - [\Delta V] \quad (3.11)$$

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA

Pada tugas akhir ini simulasi optimasi dilakukan untuk memaksimalkan nilai *power factor* yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus dengan beberapa *scenario* yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Metode yang digunakan untuk pencarian solusi dan *fitness* terbaik pada setiap *scenario* (2-5) adalah metode *Genetic Algorithm* (GA). Berikut adalah *scenario* yang dilakukan :

1. *Basic system*
2. DG
3. DG + kapasitor (berurutan)
4. DG + kapasitor (simultan)
5. kapasitor

Dari masing-masing *scenario* (2-5) yang dilakukan akan menghasilkan solusi dan *fitness* yang memiliki nilai *power factor* yang optimal. Solusi dan *fitness* tersebut akan dianalisa dengan tujuan mengetahui pengaruh dari teknik optimasi terhadap perubahan nilai *power factor* pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Dari semua *scenario* yang disimulasikan kemudian akan menghasilkan suatu kesimpulan. Untuk *scenario* 1 hanya dilakukan *loadflow* saja sebagai data awal.

4.1 Scenario 1

Pada *scenario* 1 hanya dilakukan *loadflow* sistem sebelum dilakukan optimasi (*scenario* 2-6). Tujuannya adalah untuk mendapatkan nilai tegangan, *losses* dan *power factor* awal serta jumlah total daya aktif dan reaktif pada sistem. Nilai tersebut akan digunakan sebagai pembandingan terhadap nilai tegangan, *losses* dan *power factor* setelah dilakukan optimasi (*scenario* 2-6). Jumlah total daya aktif dan reaktif ini digunakan sebagai batasan (*constraint*) untuk membatasi daya total yang diinjeksikan kapasitor dan DG. Berikut tabel tegangan, *losses* dan *power factor* sistem pada kondisi awal :

Tabel 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus 1

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
		1	12.66	1.000	0.849
1	12.241	2	12.6224	0.997	0.849
2	51.792	3	12	0.983	0.842
3	19.906	4	12.3492	0.975	0.814
4	18.699	5	12.2556	0.968	0.813
5	38.249	6	12.0226	0.950	0.810
6	1.915	7	11.9785	0.946	0.901
7	4.839	8	11.9172	0.941	0.904
8	4.180	9	11.8378	0.935	0.907
9	3.561	10	11.7642	0.929	0.903
10	0.554	11	11.7533	0.928	0.898
11	0.881	12	11.7342	0.927	0.904
12	2.666	13	11.6568	0.921	0.909
13	0.729	14	11.6281	0.918	0.916
14	0.357	15	11.6102	0.917	0.948
15	0.281	16	11.5929	0.916	0.934
16	0.252	17	11.5672	0.914	0.928
17	0.053	18	11.5596	0.913	0.914
18	0.161	19	12.6157	0.997	0.917
19	0.832	20	12.5704	0.993	0.913
20	0.101	21	12.5615	0.992	0.914
21	0.044	22	12.5535	0.992	0.914
22	3.182	23	12.3986	0.979	0.901
23	5.144	24	12.3141	0.973	0.902
24	1.287	25	12.2719	0.969	0.903
25	2.602	26	11.9982	0.948	0.701
26	3.329	27	11.9657	0.945	0.684

Tabel 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus 1 (tabel lanjutan)

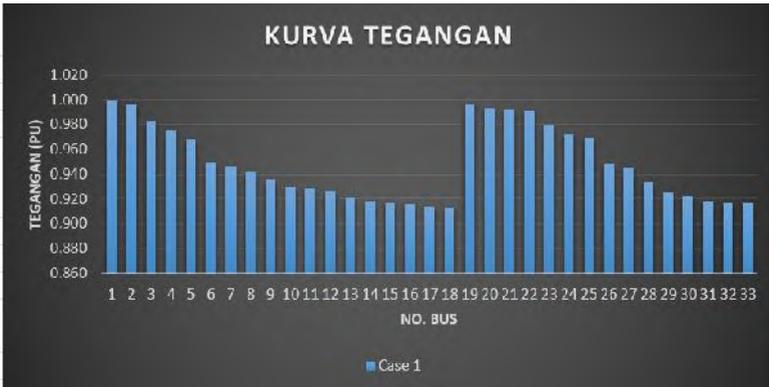
No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
27	11.300	28	11.8209	0.934	0.667
28	7.834	29	11.7169	0.926	0.646
29	3.895	30	11.6718	0.922	0.610
30	1.594	31	11.6192	0.918	0.894
31	0.213	32	11.6076	0.917	0.888
32	0.013	33	11.604	0.917	0.832
Jumlah	202.686				

Hasil simulasi aliran daya pada sistem distribusi IEEE 33-bus tersebut menunjukkan nilai total rugi daya relatif besar. Total rugi daya aktif yang dihasilkan mencapai nilai 202,686 kW (15,52 % dari total daya aktif yang di suplai dari *substation*) dan total rugi daya reaktifnya mencapai 135,143 kVAR. Rugi daya terbesar terdapat pada saluran bus-1 hingga bus-5. Hal ini disebabkan karena arus yang melewati bus – bus tersebut cukup besar sehingga rugi dayanya pun besar. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar grafik rugi daya berikut.



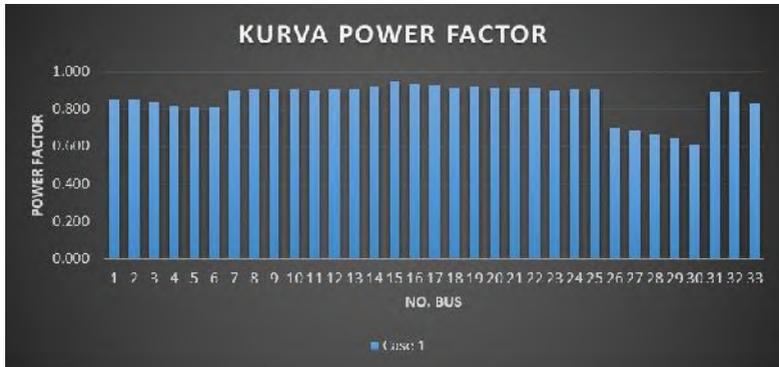
Gambar 4.1 Grafik rugi daya aktif pada kasus 1

Untuk nilai tegangan pada setiap bus yang tidak seluruhnya normal, karena terdapat beberapa bus yang mengalami *under voltage*. Hal ini terjadi akibat pembagian beban yang tidak merata pada sistem. Dapat dilihat pada gambar sistem distribusi 33-bus standart IEEE, bus yang mengalami *under voltage* merupakan cabang saluran yang sangat panjang dan jauh dari *grid*. Semakin jauh dari titik percabangan, nilai tegangan pada bus pun menjadi semakin kecil. Drop tegangan terjadi karena besarnya impedansi pada saluran. Hal ini terlihat pada bus 18 dan bus 33 yang merupakan bus yang paling jauh dari sumber.



Gambar 4.2 Grafik tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 1

Kemudian untuk nilai *power factor* pada sistem ini terdapat beberapa bus yang tidak memenuhi standar kriteria yang telah ditetapkan (0,85). Salah satu bus yang *power factor*-nya paling buruk adalah bus 30, yaitu sebesar 0,615. Hal ini dikarenakan pada bus 30 terdapat beban dengan kebutuhan daya reaktif yang lebih besar (0,6 MVAR) daripada beban daya aktif (0,2 MW). Pada gambar 4.3 berikut dapat ditunjukkan nilai *power factor* pada setiap bus.



Gambar 4.3 Grafik *power factor* pada kasus 1

1.2 Scenario 2

Pada *scenario 2* optimasi dilakukan dengan memasang tiga unit *Distributed Generation* (DG). Alasan memilih tiga unit DG karena tiga unit DG adalah jumlah yang paling efektif dan efisien setelah dilakukan percobaan dengan jumlah DG yang lain. Tujuan dari penggunaan DG disini adalah untuk meminimalkan rugi daya aktif yang terdapat pada saluran distribusi radial IEEE 33 bus. Pemasangan DG dioptimalkan dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) untuk memperoleh lokasi terbaik dan daya keluaran yang sesuai. Sedangkan, batasan untuk daya keluaran DG adalah sebesar $2/3$ dari total daya aktif (Watt) yang ada pada sistem (*Rule of Thumb*). Sehingga batasan daya aktif yang dikeluarkan DG adalah sebesar sebesar 2,476 MW. Berikut ini merupakan hasil simulasi menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) untuk memperoleh rugi daya yang paling minimal.

Tabel 4.2 Hasil simulasi aliran daya kasus 2

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
		1	12.660	1.000	0.516
1	4.338	2	12.641	0.998	0.516
2	16.774	3	12.562	0.992	0.408
3	7.412	4	12.516	0.989	0.413

Tabel 4.2 Hasil simulasi aliran daya kasus 2 (tabel lanjutan)

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
4	6.707	5	12.474	0.985	0.368
5	13.569	6	12.352	0.976	0.339
6	0.485	7	12.321	0.973	0.571
7	0.922	8	12.304	0.972	0.357
8	0.683	9	12.289	0.971	0.134
9	0.669	10	12.280	0.970	0.332
10	0.132	11	12.281	0.970	0.515
11	0.255	12	12.285	0.970	0.652
12	1.125	13	12.298	0.971	0.792
13	0.497	14	12.302	0.972	0.887
14	0.826	15	12.320	0.973	0.980
15	0.250	16	12.304	0.972	0.934
16	0.223	17	12.280	0.970	0.928
17	0.047	18	12.272	0.969	0.914
18	0.161	19	12.634	0.998	0.901
19	0.830	20	12.589	0.994	0.913
20	0.101	21	12.580	0.994	0.914
21	0.044	22	12.572	0.993	0.914
22	0.617	23	12.547	0.991	0.238
23	0.922	24	12.523	0.989	0.042
24	1.164	25	12.541	0.991	0.896
25	1.251	26	12.343	0.975	0.120
26	1.644	27	12.330	0.974	0.054
27	5.789	28	12.263	0.969	0.013
28	4.235	29	12.217	0.965	0.087
29	2.384	30	12.208	0.964	0.241

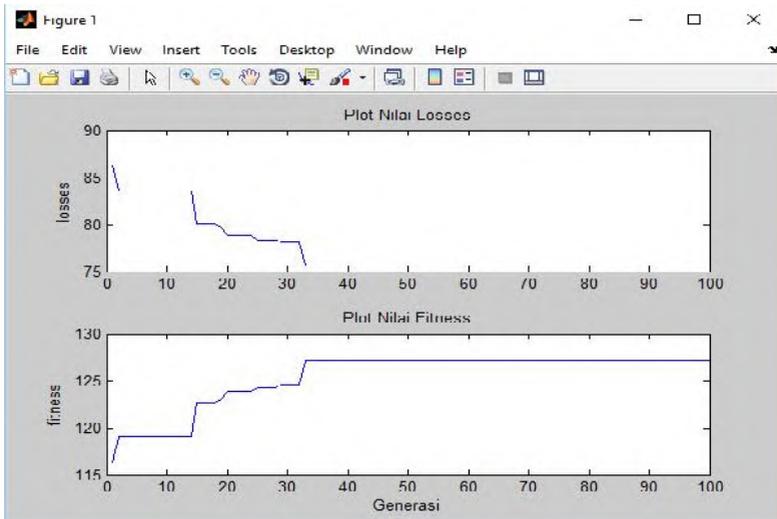
Tabel 4.2 Hasil simulasi aliran daya kasus 2 (tabel lanjutan)

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
30	1.359	31	12.224	0.966	0.886
31	0.193	32	12.213	0.965	0.888
32	0.012	33	12.210	0.964	0.832
Jumlah	75.614				

Tabel 4.3 Hasil penempatan DG dengan GA “*rule of thumb*”

Unit DG	Lokasi Bus	Daya keluaran (MW)
1	15	0,722
2	25	0,825
3	31	0,825
Total Daya Keluaran		2,372

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang cukup signifikan pada nilai *losses* saluran, tegangan maupun *power factor*. Penggunaan tiga unit DG menggunakan aturan *rule of thumb* dengan total daya keluaran DG sebesar 2,372 MW dapat menurunkan total rugi daya aktif menjadi sebesar 75,614 kW, dengan kata lain turun sebesar 62,70%. Berikut grafik hasil plot MATLAB dan grafik perbandingan nilai *losses* kasus 1 dan kasus 2.



Gambar 4.4 Grafik plot nilai *losses* dan nilai fitness MATLAB pada kasus 2



Gambar 4.5 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 2

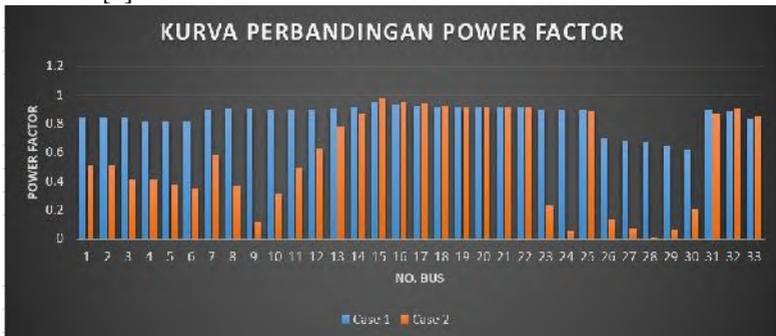
Untuk nilai tegangan pada kasus 2 juga mengalami perubahan. Penambahan tiga unit DG membuat tegangan sistem menjadi lebih stabil (mendekati 1 pu) daripada keadaan awal sistem. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan DG dapat mengurangi nilai *losses* pada saluran dan mengurangi deviasi tegangan. Dengan ini langkah optimasi kasus 2 telah memenuhi batasan atau *constraint* yang telah ditetapkan yakni tegangan

yang diizinkan pada tiap bus harus berada didalam range 0,95 sampai 1,05 pu.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 2

Dan kemudian untuk nilai *power factor* pada kasus 2 mengalami penurunan yang sangat drastis. *Power factor* terendah terdapat pada bus 28 dengan nilai 0,013. Hal ini disebabkan karena daya yang disuplai oleh DG hanya berupa daya aktif (Watt) sehingga tidak ada kompensasi daya reaktif untuk sistem. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang terdapat pada referensi [5].



Gambar 4.7 Grafik perbandingan *power factor* pada kasus 2

1.3 Scenario 3

Seperti yang telah dijelaskan pada kasus 2 bahwa untuk nilai *power factor* pada kasus 2 mengalami penurunan yang sangat drastis. Hal ini disebabkan karena daya yang disuplai oleh DG hanya berupa daya aktif (Watt) sehingga tidak ada kompensasi daya reaktif untuk sistem. Pada *scenario 3* optimasi dilakukan dengan memasang tiga unit *capacitor*. Alasan memilih tiga unit *capacitor* karena tiga unit *capacitor* adalah jumlah yang paling efektif dan efisien setelah dilakukan percobaan dengan jumlah *capacitor* yang lain. Tujuan dari penggunaan *capacitor* disini adalah untuk meningkatkan nilai *power factor* yang terdapat pada saluran distribusi radial IEEE 33 bus. Pemasangan *capacitor* dioptimalkan dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) untuk memperoleh lokasi terbaik dan daya keluaran yang sesuai. Sedangkan, batasan untuk daya keluaran *capacitor* adalah sebesar total daya reaktif (VAR) yang ada pada sistem (*Max Demand*). Sehingga batasan daya aktif yang dikeluarkan *capacitor* adalah sebesar sebesar 2,3 MVAR. Berikut ini merupakan hasil simulasi menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) untuk meningkatkan nilai *power factor*.

Tabel 4.4 Hasil simulasi aliran daya kasus 3

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
		1	12.660	1.000	0.901
1	1.308	2	12.648	0.999	0.901
2	3.053	3	12.604	0.996	0.900
3	1.428	4	12.579	0.994	0.885
4	0.994	5	12.557	0.992	0.895
5	1.713	6	12.509	0.988	0.895
6	0.207	7	12.493	0.987	0.857
7	0.170	8	12.482	0.986	0.808
8	0.014	9	12.485	0.986	0.957
9	0.073	10	12.494	0.987	0.998
10	0.035	11	12.497	0.987	0.987
11	0.113	12	12.503	0.988	0.966

Tabel 4.4 Hasil simulasi aliran daya kasus 3 (tabel lanjutan)

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
12	0.762	13	12.543	0.991	0.947
13	0.478	14	12.548	0.991	0.887
14	0.794	15	12.565	0.993	0.980
15	0.240	16	12.549	0.991	0.934
16	0.215	17	12.526	0.989	0.928
17	0.045	18	12.519	0.989	0.914
18	0.160	19	12.641	0.998	0.912
19	0.829	20	12.596	0.995	0.913
20	0.100	21	12.587	0.994	0.914
21	0.044	22	12.579	0.994	0.914
22	0.034	23	12.600	0.995	0.973
23	0.005	24	12.600	0.995	0.544
24	1.206	25	12.641	0.999	0.874
25	0.013	26	12.507	0.988	0.979
26	0.003	27	12.506	0.988	0.991
27	0.010	28	12.510	0.988	0.620
28	0.049	29	12.519	0.989	0.859
29	0.181	30	12.529	0.990	0.862
30	1.290	31	12.545	0.991	0.886
31	0.183	32	12.534	0.990	0.888
32	0.011	33	12.531	0.990	0.832
Jumlah	15.758				

Tabel 4.5 Hasil penempatan *capacitor* dengan GA “*max demand*”

Unit Capacitor	Lokasi Bus	Daya keluaran (MVAR)
1	13	0,299
2	25	0,425
3	30	0,931
Total Daya Keluaran		1,655

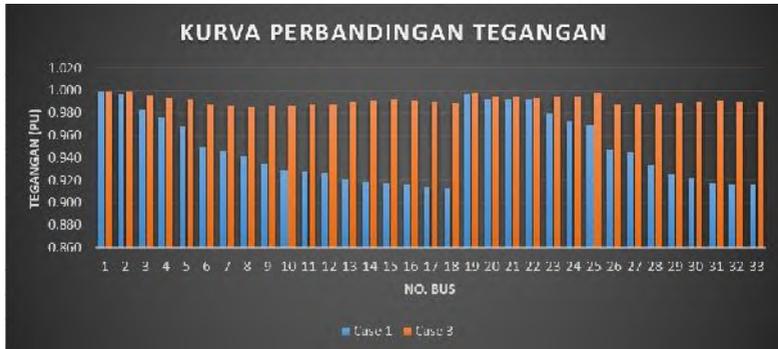
Berdasarkan data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang cukup signifikan pada nilai *losses* saluran, tegangan maupun *power factor*. Penambahan tiga unit *capacitor* menggunakan aturan *max demand* dengan batasan daya keluaran *capacitor* sebesar 2,3 MVAR dapat menurunkan total rugi daya aktif lebih besar dari pada kasus 2, yaitu menjadi 15,758 kW, dengan kata lain turun sebesar 92,22%. Hal ini terjadi akibat pemasangan DG dan diikuti penambahan *capacitor* secara berurutan. Berikut grafik perbandingan nilai *losses* kasus 1 dan kasus 3.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 3

Untuk nilai tegangan pada kasus 3 juga mengalami perubahan. Penambahan tiga unit *capacitor* membuat tegangan sistem menjadi lebih stabil dari kasus 2 (mendekati 1 pu). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *capacitor* juga dapat mengurangi nilai *losses* pada saluran

dan mengurangi deviasi tegangan. Dengan ini langkah optimasi kasus 3 telah memenuhi batasan atau *constraint* yang telah ditetapkan yakni tegangan yang diizinkan pada tiap bus harus berada didalam range 0,95 sampai 1,05 pu. Berikut grafik perbandingan tegangan pada kasus 1 dan kasus 3.

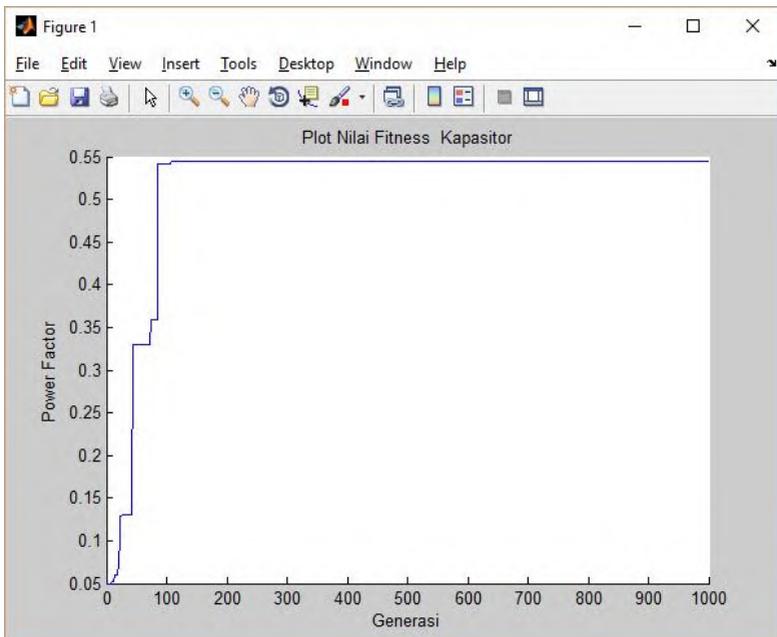


Gambar 4.9 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) bus pada kasus 3

Sedangkan untuk nilai *power factor* pada kasus 3 mengalami kenaikan, namun belum cukup untuk memenuhi standart PLN (0,85). *Power factor* terendah terdapat pada bus 24 dengan nilai 0,54 dan bus 28 dengan nilai 0,62. Namun nilai *power factor* pada bus lainnya sudah cukup bagus (mendekati 0,85). Hal ini disebabkan karena daya aktif yang disuplai oleh DG masih terlalu besar dibandingkan dengan kemampuan *capacitor* untuk mengompensasi daya reaktif. Berikut grafik perbandingan nilai *power factor* pada kasus 3 dan kasus 1.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan *power factor* pada kasus 3



Gambar 4.11 Grafik plot nilai *power factor* dan nilai fitness MATLAB pada kasus 3

1.4 Scenario 4

Melihat dari hasil percobaan pada kasus 3 bahwa penggunaan DG dan *capacitor* secara berurutan ternyata sangat efektif untuk menurunkan total *losses* dan juga menurunkan nilai deviasi tegangan pada sistem namun tidak dengan *power factor*. Nilai *power factor* pada kasus 3 belum cukup memenuhi standart PLN (0,85). Oleh karena itu pada kasus 4 ini dilakukan percobaan dengan memasang DG dan *capacitor* secara bersamaan (simultan) dengan satu fungsi objektif. Dengan memasang DG dan *capacitor* secara bersamaan diharapkan nilai *power factor* dapat memenuhi standart PLN, namun dengan tetap mempertimbangkan nilai *losses* dan tegangan pada sistem. Untuk standart atau batasan nilai DG dan *capacitor* yang digunakan sama dengan kasus 3. Optimasi pada kasus 4 dilakukan dengan memasang dua unit DG dan tiga unit *capacitor*. Berikut tabel hasil simulasi aliran daya pada kasus 4.

Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya kasus 4

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
		1	12.660	1.000	0.948
1	2.657	2	12.643	0.999	0.948
2	8.296	3	12.572	0.993	0.960
3	1.710	4	12.548	0.991	0.999
4	1.350	5	12.527	0.990	0.987
5	2.502	6	12.492	0.987	0.975
6	0.125	7	12.498	0.987	0.995
7	3.706	8	12.450	0.983	0.989
8	3.496	9	12.407	0.980	0.947
9	3.079	10	12.370	0.977	0.925
10	0.503	11	12.363	0.977	0.896
11	0.795	12	12.345	0.975	0.904
12	2.404	13	12.271	0.969	0.909
13	0.657	14	12.244	0.967	0.916
14	0.322	15	12.227	0.966	0.948

Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya kasus 4 (tabel lanjutan)

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
15	0.254	16	12.210	0.964	0.934
16	0.227	17	12.186	0.963	0.928
17	0.048	18	12.179	0.962	0.914
18	0.160	19	12.636	0.998	0.922
19	0.830	20	12.591	0.995	0.913
20	0.100	21	12.582	0.994	0.914
21	0.044	22	12.574	0.993	0.914
22	3.116	23	12.527	0.990	0.900
23	5.037	24	12.444	0.983	0.902
24	1.261	25	12.402	0.980	0.903
25	1.161	26	12.478	0.986	0.989
26	1.441	27	12.460	0.984	0.982
27	4.745	28	12.406	0.980	0.972
28	3.160	29	12.370	0.977	0.960
29	1.570	30	12.351	0.976	0.906
30	1.310	31	12.304	0.972	0.931
31	0.168	32	12.295	0.971	0.944
32	0.008	33	12.293	0.971	0.995
Jumlah	56.239				

Tabel 4.7 Hasil penempatan DG dengan GA “rule of thumb”

Unit DG	Lokasi Bus	Daya keluaran (MW)
1	3	0,321
2	7	1,411
Total Daya Keluaran		1,732

Tabel 4.8 Hasil penempatan *capacitor* dengan GA “*Max demand*”

Unit Capacitor	Lokasi Bus	Daya keluaran (MVAR)
1	11	0,552
2	30	1,058
3	33	0,046
Total Daya Keluaran		1,656

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang cukup signifikan pada nilai *losses* saluran, tegangan maupun *power factor*. Pemasangan dua unit DG dengan batasan daya keluaran 2,476 MW (*rule of thumb*) dan tiga unit *capacitor* menggunakan aturan *max demand* dengan batasan daya keluaran *capacitor* sebesar 2,3 MVAR secara bersamaan (simultan) dapat menurunkan total rugi daya aktif sebesar 72,25%, yaitu menjadi 56,23 kW. Walaupun penurunan nilai *losses* dan deviasi tegangan pada kasus 4 ini tidak se-efektif kasus 3, namun teknik pemasangan DG dan *capacitor* secara bersamaan ini dapat membuat nilai *power factor* menjadi lebih baik dan memenuhi standart kriteria PLN (0,85).



Gambar 4.12 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 4

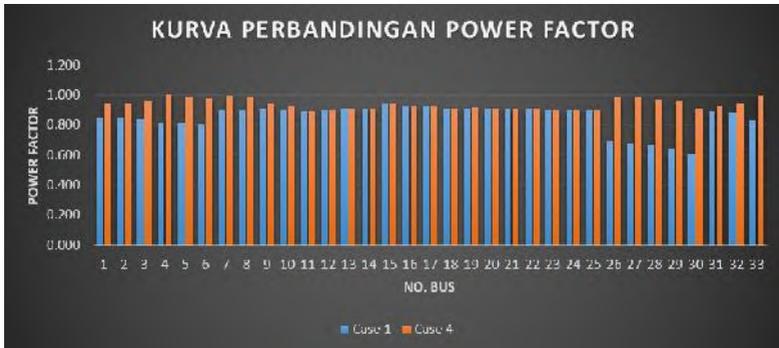
Nilai tegangan pada kasus 4 juga mengalami perubahan. Pemasangan dua unit DG dan tiga unit *capacitor* membuat tegangan

sistem menjadi lebih stabil (mendekati 1 pu) daripada keadaan awal sistem. Tegangan paling rendah pada bus 18 sebesar 0,962 pu dan tegangan paling tinggi pada bus 1 sebesar 1 pu. Artinya langkah optimasi kasus 4 telah memenuhi batasan atau *constraint* yang telah ditetapkan (0,95 pu – 1,05 pu). Berikut grafik perbandingan tegangan pada kasus 4.

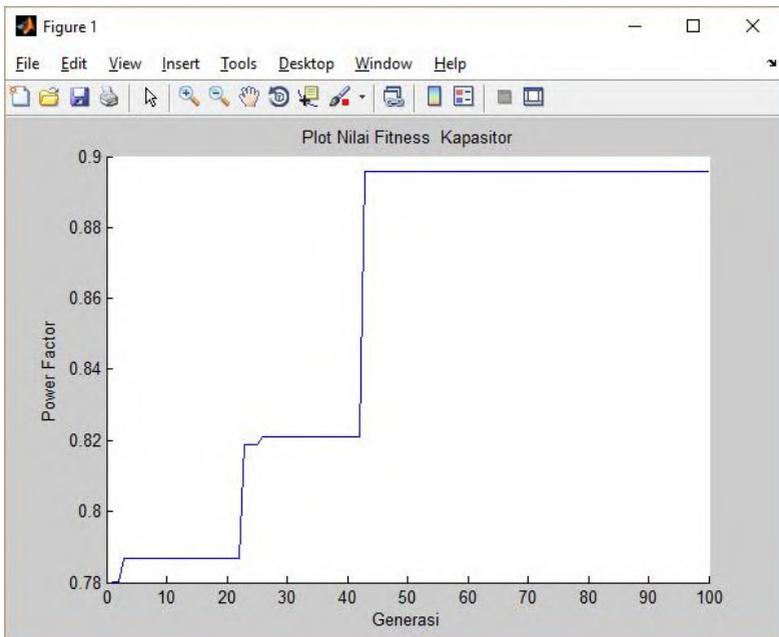


Gambar 4.13 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus 4

Sedangkan untuk nilai *power factor* pada kasus 4 sudah memenuhi standart kriteria PLN (0,85). *Power factor* paling rendah terdapat pada bus 11 dengan nilai 0,896, sedangkan untuk bus lainnya bernilai diatas 0,896 dan mendekati 1. Kombinasi dari dua unit DG dan tiga unit *capacitor* pada kasus 4 ini adalah hasil yang paling optimal pada tugas akhir ini. Selain dapat menurunkan *losses* saluran dan deviasi tegangan langkah optimasi ini juga menghasilkan nilai *power factor* yang bagus. Artinya kualitas daya yang mengalir pada sistem IEEE 33 bus ini sudah cukup bagus. Dari grafik perbandingan *power factor* pada kasus 4 berikut dapat kita lihat bahwa nilai *power factor* pada tiap bus sudah lebih baik dari keadaan awal sistem (kasus 1).



Gambar 4.14 Grafik perbandingan *power factor* pada kasus 4



Gambar 4.15 Grafik plot nilai *power factor* dan nilai fitness MATLAB pada kasus 4

1.5 Scenario 5

Pada kasus terakhir ini dilakukan optimasi dengan menempatkan tiga unit *capacitor* pada sistem. Tujuannya adalah untuk melihat seberapa besar pengaruh penggunaan *capacitor* terhadap nilai *power factor*, *losses* dan deviasi tegangan. Seperti yang kita ketahui bahwa total beban daya reaktif pada sistem IEEE 33 bus lebih kecil dari pada total beban daya aktifnya. Oleh karena itu diperkirakan penggunaan *capacitor* tidak terlalu berpengaruh besar terhadap perubahan nilai *losses* dan deviasi tegangan. Berikut tabel hasil simulasi aliran daya pada kasus 5.

Tabel 4.9 Hasil simulasi aliran daya kasus 5

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
		1	12.660	1.000	0.996
1	8.643	2	12.631	0.998	0.996
2	35.561	3	12.496	0.987	0.999
3	13.003	4	12.433	0.982	0.987
4	12.375	5	12.374	0.977	0.978
5	25.372	6	12.263	0.969	0.973
6	1.632	7	12.263	0.969	0.960
7	4.690	8	12.219	0.965	0.903
8	5.236	9	12.193	0.963	0.795
9	4.905	10	12.173	0.962	0.750
10	0.860	11	12.167	0.961	0.699
11	1.604	12	12.157	0.960	0.648
12	3.221	13	12.135	0.959	0.799
13	0.672	14	12.107	0.956	0.916
14	0.329	15	12.090	0.955	0.948
15	0.259	16	12.074	0.954	0.934
16	0.232	17	12.049	0.952	0.928
17	0.049	18	12.042	0.951	0.914

Tabel 4.9 Hasil simulasi aliran daya kasus 5 (tabel lanjutan)

No. Saluran	Losses Saluran (KW)	No. Bus	Tegangan Bus (KV)	Tegangan Bus (PU)	Power Factor
18	0.161	19	12.624	0.997	0.937
19	0.831	20	12.579	0.994	0.913
20	0.101	21	12.570	0.993	0.914
21	0.044	22	12.562	0.992	0.914
22	3.155	23	12.451	0.983	0.898
23	5.100	24	12.366	0.977	0.902
24	1.277	25	12.325	0.973	0.903
25	1.247	26	12.249	0.968	0.977
26	1.563	27	12.232	0.966	0.962
27	5.201	28	12.183	0.962	0.948
28	3.507	29	12.151	0.960	0.929
29	1.812	30	12.133	0.958	0.859
30	1.474	31	12.082	0.954	0.894
31	0.197	32	12.071	0.953	0.888
32	0.012	33	12.068	0.953	0.832
Jumlah	144.324				

Tabel 4.10 Hasil penempatan *capacitor* dengan GA “*Max demand*”

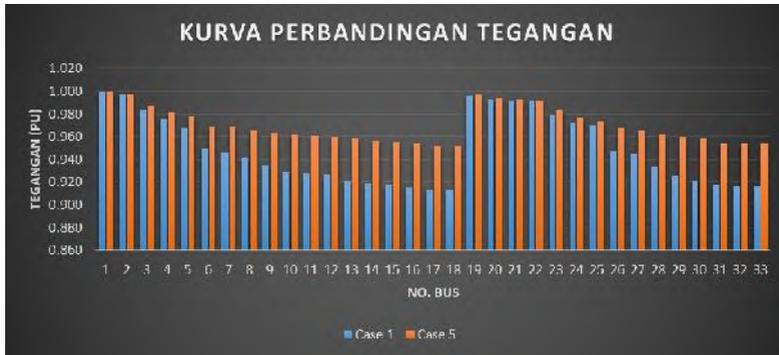
Unit Capacitor	Lokasi Bus	Daya keluaran (MVAR)
1	12	0,299
2	13	0,552
3	30	1,184
Total Daya Keluaran		2,035

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan yang tidak terlalu signifikan pada nilai *losses* saluran maupun *power factor*. Penggunaan tiga unit *capacitor* menggunakan aturan *max demand* dengan total daya keluaran *capacitor* sebesar 2,035 MVAR hanya dapat menurunkan total rugi daya aktif menjadi sebesar 114,324 kW, dengan kata lain turun sebesar 28,79%.



Gambar 4.16 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus 5

Pada kasus 5 nilai tegangan mengalami perubahan. Penambahan tiga unit *capacitor* pada sistem membuat tegangan sistem menjadi lebih stabil dari kasus 1 (mendekati 1 pu). Hal ini juga menunjukkan bahwa penggunaan *capacitor* juga dapat mengurangi nilai *losses* pada saluran dan mengurangi deviasi tegangan. Dengan ini langkah optimasi kasus 5 telah memenuhi batasan atau *constraint* yang telah ditetapkan yakni tegangan yang diizinkan pada tiap bus harus berada didalam range 0,95 sampai 1,05 pu karena tegangan paling rendah adalah sebesar 0,951 pu dan yang paling tinggi sebesar 1 pu. Berikut grafik perbandingan tegangan pada kasus 1 dan kasus 5.

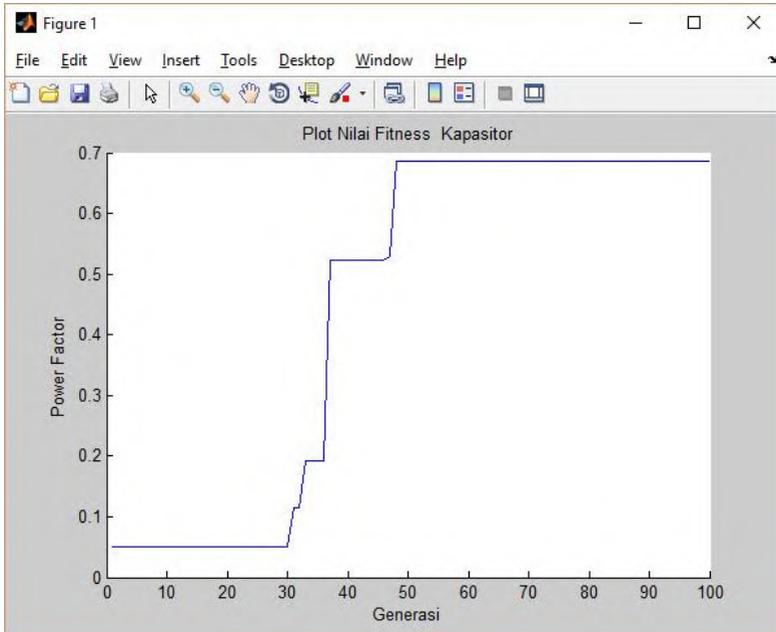


Gambar 4.17 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus 5

Sedangkan untuk nilai *power factor*, pemasangan *capacitor* membuat nilai *power factor* beberapa bus mengalami perubahan. Seperti pada bus 1 hingga bus 7 dan bus 26 hingga bus 30 mengalami kenaikan, sedangkan pada bus 9 hingga bus 13 mengalami penurunan. Sehingga langkah optimasi pada kasus 5 ini belum memenuhi batasan/*constraint* untuk *power factor* karena masih ada salah satu bus yang memiliki nilai *power factor* dibawah 0,85. Berikut kurva perbandingan *power factor* pada kasus 5.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan *power factor* pada kasus 5

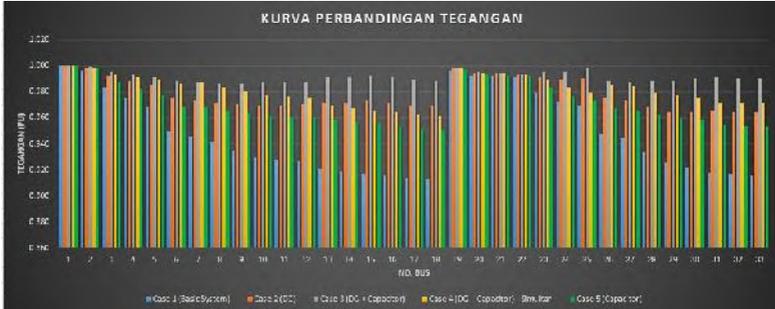


Gambar 4.19 Grafik plot nilai *power factor* dan nilai fitness MATLAB pada kasus 5

Demikian seluruh kasus yang telah diujikan. Pembuatan langkah optimasi pada tugas akhir ini didasarkan pada semua kemungkinan kombinasi dari komponen yang digunakan (DG dan *capacitor*). Dari semua hasil optimasi yang telah dilakukan maka dapat kita lihat terdapat hasil yang berbeda-beda, baik dari segi *losses*, tegangan maupun *power factor*. Dari semua kasus yang telah diujikan dapat dilihat bahwa kasus 4 telah memenuhi semua batasan/*constraint* yang telah ditetapkan. Hal ini berarti langkah optimasi dengan memasang DG dan *capacitor* secara bersamaan adalah langkah optimasi terbaik pada tugas akhir ini. Berikut grafik perbandingan nilai *losses*, tegangan dan *power factor* untuk semua langkah optimasi yang telah dilakukan.



Gambar 4.20 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada semua kasus



Gambar 4.21 Grafik perbandingan tegangan pada semua kasus



Gambar 4.22 Grafik perbandingan *power factor* terendah pada semua kasus

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

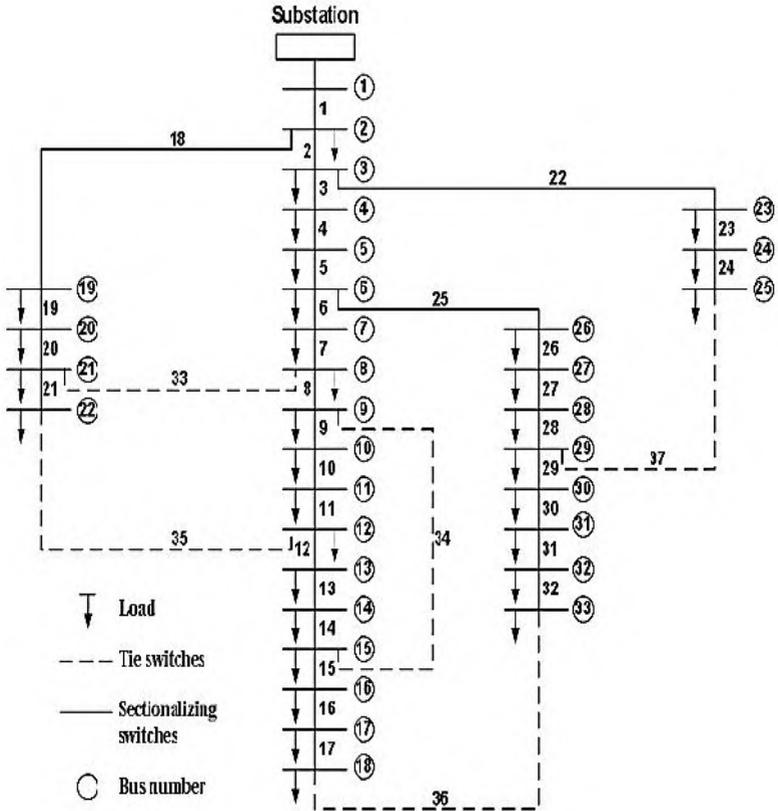
LAMPIRAN

Hasil percobaan seluruh kasus

		<i>Scenario 1</i>	<i>Scenario 2</i>	<i>Scenario 3</i>	<i>Scenario 4</i>	<i>Scenario 5</i>
Kapasitor	Candidate Bus @	-	-	13, 25, 30	11, 30, 33	12, 13, 30
	Kapasitas (MVar)	-	-	0,299 0,425 0,931	0,552 1,058 0,046	0,299 0,552 1,184
Distributed Generation (DG)	Candidate Bus @	-	15,25,31	15,25,31	3, 7	-
	Kapasitas (MW)	-	0,722 0,825 0,825	0,722 0,825 0,825	0,321 1,411	-
	Average Voltage (pu)	0,948	0,978	0,991	0,981	0,970
	Max Voltage (pu)	1	1	1	1	1
	Min Voltage (pu)	0,913	0,964	0,986	0,962	0,951
	Losses (KW)	202,686	75,614	15,758	56,239	144,324
	Worst Power Factor/At Bus	0,615/30	0,013/28	0,544/24	0,896/11	0,648/12

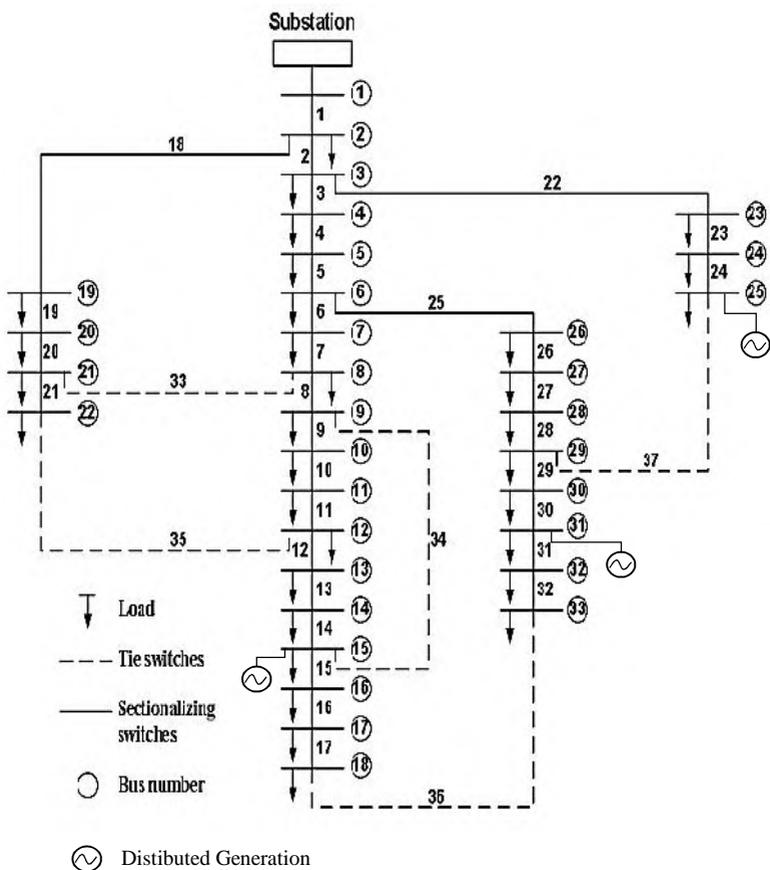
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus 1



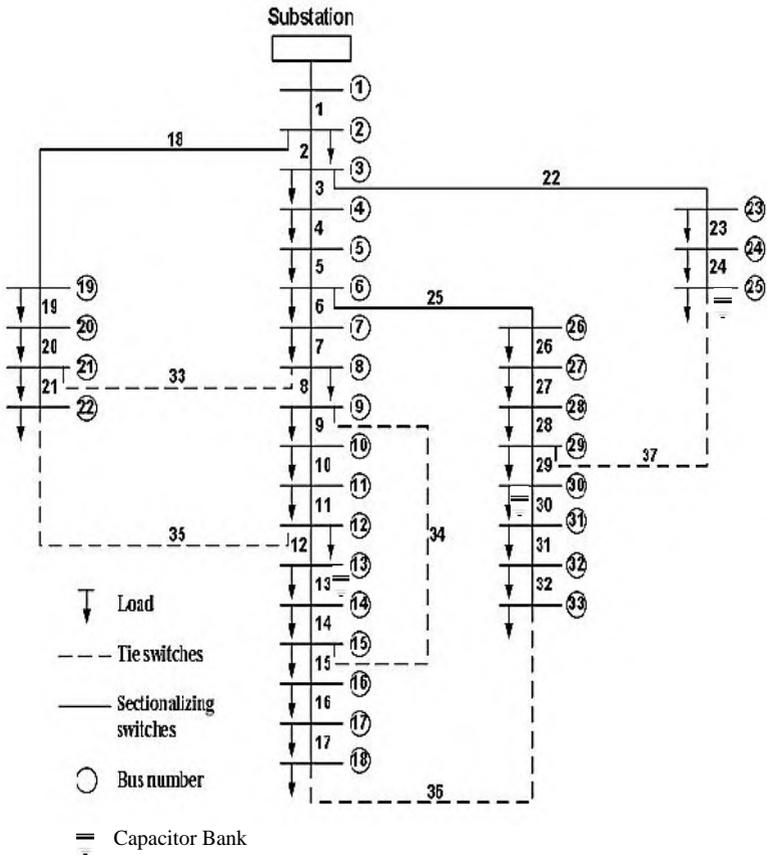
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus 2



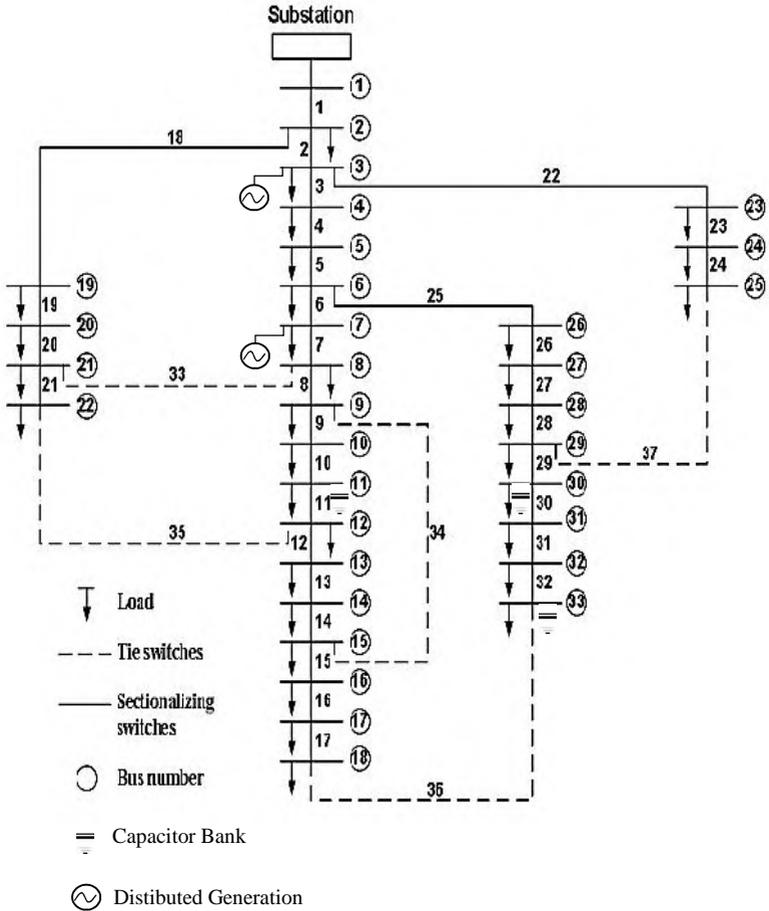
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus 3



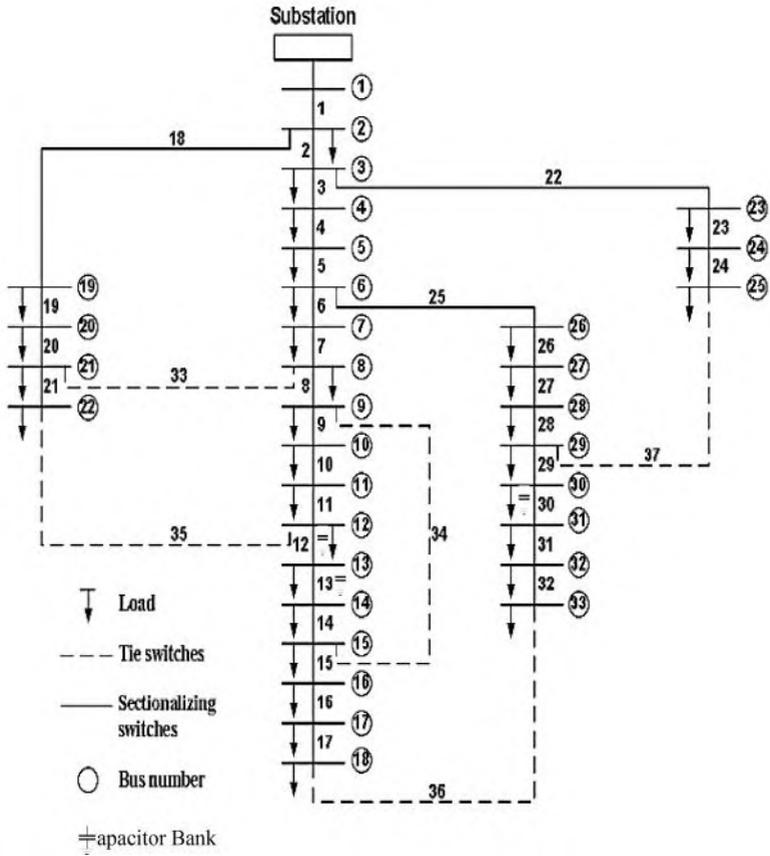
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus 4



LAMPIRAN

Topologi sistem kasus 5



BAB V

PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode *Genetic Algorithm* (GA) dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan yang bersifat optimasi.
2. Penggunaan *Ditributed Generation* (DG) dapat menimbulkan beberapa dampak negatif, salah satunya adalah penurunan *power factor*.
3. Teknik optimasi yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan rugi daya, deviasi tegangan dan *power factor* adalah dengan memasang DG dan *capacitor* secara bersamaan (simultan). Langkah optimasi dengan cara bersamaan (simultan) dapat menurunkan total rugi daya aktif sebesar 72,25%, yaitu menjadi 56,23 kW pada sistem IEEE 33 bus serta memenuhi batasan/*constraint* untuk tegangan dan *power factor*.
4. Secara umum hasil *fitness* optimasi secara simultan lebih baik dari pada optimasi secara berurutan, karena didapatkan solusi berupa *power factor* dan tegangan yang optimal serta rugi daya yang minimal.

1.2 Saran

1. Perlu dilakukan optimasi terhadap sistem distribusi radial dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) *multi objective function* agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Perlu dilakukan pengembangan optimasi dengan melakukan studi harmonisa pada tugas akhir ini sebagai dampak dari penggunaan *Ditributed Generation* (DG) dan *capacitor*.
3. Perlu dilakukan pengujian terhadap sistem yang tak seimbang, sebagai penyesuaian terhadap kondisi aktif yang ada di lapangan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, D.P. Kothari, “A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks”, *ELSIVIER Electrical Power and Energy Systems* 63 (2014) 461–472.
- [2] Rizky Pratama Putra, Ontoseno Penangsang, Adi Soeprijanto, “Analisa Penempatan Distributed Generation pada Jaringan Distribusi 20kV. Jurnal Teknik ITS Vol.1 (Sept.2012)
- [3] Masoud Farhoodnea, Azah Mohamed, Hussain Shareef, Hadi Zayandehroodi, “Power Quality Impact of Grid-Connected Photovoltaic Generation System in Distribution Networks”, *IEEE Student Conference on Research and Development* (2012)
- [4] Utari, “Penempatan Distributed Generation Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Mengurangi Rugi – Rugi Daya dan Meningkatkan Keandalan”, *Tugas Akhir Teknik Elektro ITS* 2012.
- [5] Seyed Abbas Taher, Mohammad Hossein Karimi, “Optimal reconfiguration and DG allocation in balanced and unbalanced distribution systems”, *ELSIVIER-ASEJ Ain Shams Engineering Journal* (2014) 5, 735–749.
- [6] Yuan Liu, Yunhua Li, *Senior Member, IEEE*, Ke-yan Liu, *Member, IEEE*, Wanxing Sheng, *Senior Member, IEEE*, “Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation in Distribution Power System Based on Multi-Objective Harmony Search Algorithm”, 2013 *IEEE*
- [7] A.K.Saonerkar, B.Y.Badge, “Optimized DG Placement in Radial Distribution System with Reconfiguration and Capacitor Placement Using Genetic Algorithm”, 2014 *IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*

- [8] Mohamed Imran A, Kowsalya M, “Optimal Distributed Generation and Capacitor Placement in Power Distribution Network for Power Loss Minimization”.
- [9] Kalantari, Meysam dan Kazemi,Ahad “Placement of distributed Generation Unit and Capacitor Allocation in Distribution System using Genetic Algorithm”, IEEE journal, 2011.
- [10] H. Lee Willis, Fellow ABB Power T&D Company Inc., “Analytical methods and rules of thumb for modeling DG”, 2000 IEEE
- [11] A. Mohaputra, S.Behera, S Nayak, B.K. Panigrahi “A study on DG and Capacitor Placement in Radial Distribution System’, journal IEEE, 2012
- [12] Novialifah, Rizka Winda ”Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan”, Jurnal Teknik POMITS, 2014

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Bobby Harold, lahir pada 8 Agustus 1992 di Sungai Penuh. Penulis adalah anak pertama dari empat bersaudara. Penulis mengawali pendidikannya tahun 1998 di SD Pertiwi Sungai Penuh (lulus tahun 2004), SMP Negeri 2 Sungai Penuh (lulus tahun 2007), SMA Negeri 1 Sungai Penuh (lulus tahun 2010). Kemudian penulis melanjutkan sekolah di D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang angkatan 2010 dan melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS) dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email: bobbyharold08@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)