



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS DISTRIBUTED  
GENERATION MENGGUNAKAN METODE DIFFERENTIAL  
EVOLUTION UNTUK MEMINIMALKAN RUGI DAYA**

Yustika Umi Fariyah  
NRP 2212106077

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 091399**

***OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF DISTRIBUTED  
GENERATION USING DIFFERENTIAL EVOLUTION METHOD  
FOR MINIMALIZE POWER LOSSES***

Yustika Umi Fariyah  
NRP 2212106077

Supervisor  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015

**Optimasi Penempatan dan Kapasitas Distributed Generation  
Menggunakan Metode Differential Evolution Untuk  
Meminimalkan Rugi Daya**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

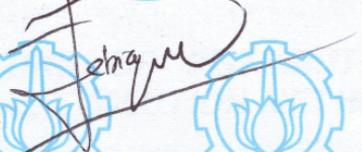
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



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

**Dosen Pembimbing II**



**Feby Agung Pamuji ST., MT.**  
**NIP. 198702062012121002**



# **Optimasi Kapasitas dan Penempatan Distributed Generation Menggunakan Differential Evolution Untuk Meminimalkan Rugi Daya**

Nama Mahasiswa : Yustika Umi Fariyah  
NRP : 2212106077  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D  
NIP : 194907151974121001  
Dosen Pembimbing II : Feby Agung Pamuji ST., MT  
NIP : 198702062012121002

## **ABSTRAK**

*Distributed Generation* atau biasa disebut dengan DG adalah pembangkit skala kecil dan menengah yang dikoneksikan langsung pada jaringan distribusi atau dekat dengan pusat beban. Pemasangan DG bertujuan untuk mengurangi rugi daya dan memperbaiki tegangan. Penggunaan DG memiliki beberapa kelebihan antara lain dari segi ekonomi karena lebih menghemat penggunaan energi, ramah lingkungan, dan dari segi teknik meningkatkan stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik.

Dalam tugas akhir ini menampilkan sebuah metodologi untuk menentukan optimal penempatan dan penentuan kapasitas dari DG menggunakan metode *Differential Evolution*. Hasil analisis pemodelan optimasi kapasitas dan peletakan DG ini menggunakan software MATLAB diaplikasikan pada sistem distribusi IEEE 33 bus. Pada analisa aliran daya sebelum pemasangan DG masih didapatkan beberapa bus kritis dibawah 0.95 p.u dengan nilai tegangan terendahnya adalah 0.913 p.u, nilai rugi daya aktifnya yaitu 217.8946 kW. Setelah dilakukan pemasangan DG sebanyak 4 unit dapat meningkatkan profil tegangan antara 0.95-1.05 p.u dan dapat meminimalisasikan rugi daya aktif menjadi 48.80 kW. Sehingga dari hasil tersebut dengan menggunakan metode *Differential Evolution* untuk optimasi peletakan dan kapasitas DG diperoleh penghematan rugi daya sebesar 169.09 kW.

**Kata Kunci :** Analisis Aliran Daya, Distributed Generation, Differential Evolution

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **OPTIMAL PLACEMENT AND SIZING OF DISTRIBUTED GENERATION USING DIFFERENTIAL EVOLUTION METHOD FOR MINIMALIZE POWER LOSSES**

Name : Yustika Umi Fariyah  
NRP : 2212106077  
Supervisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D  
NIP : 194907151974121001  
Supervisor II : Feby Agung Pamuji ST., MT  
NIP : 198702062012121002

## ***ABSTRACT***

*Distributed Generation or called DG is small scale generators to be connected close to distribution networks or near load center. Installing of DG has decision for minimize power losses and improving voltage profile. Using DG has some advantages are from economical advantages is saving of fuel, reduction of noise pollution, and improve stability and reliability power of generation.*

*In this paper present a method for determine optimal placement and sizing of distributed generation using differential evolution method. Analysis result of optimal placement and sizing DG is performed with MATLAB tested on IEEE 33 bus radial distribution networks. At power flow analyze before applying DG still obtained some critical bus under 0.95 p.u with lowest voltage value is 0.913 p.u, power losses active value is 217.8946 kW. After applying of 4 DG units can improve voltage profile between 0.95-1.05 p.u and minimalize active power losses to be 48.80 kW. In thus, from the result using differential evolution method for optimal placement and sizing DG obtained saving losses is 169.09 kW.*

***Index Terms :*** ***Power Flow Analysis, Distributed Generation, Differential evolution***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Optimasi Kapasitas dan Penempatan Distributed Generation Menggunakan Metode Differential Evolution untuk Meminimalkan Rugi Daya”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Feby Agung Pamuji ST., MT sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan perhatiannya selama tugas akhir.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan di jurusan Teknik Elektro ITS atas fasilitas dan waktu yang diberikan.
6. Semua teman-teman mahasiswa Lintas Jalur Teknik Elektro ITS angkatan 2012 semester genap bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika .....	3
1.7 Relevansi.....	4
<b>BAB II     SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, <i>DISTRIBUTED GENERATION</i>, DAN METODE <i>DIFFERENTIAL EVOLUTION</i></b>	
2.1 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Primer.....	7
2.2 Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.2.1 Representasi Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.2.2 Daya Listrik Sistem Satu Fasa.....	14
2.2.3 Aliran Daya.....	17
2.2.4 Metode Topology Jaringan.....	18
2.2.5 Metode K-Matriks.....	20
2.3 <i>Distributed Generation</i> .....	22
2.4 <i>Differential Evolution Algorithm</i> .....	25
2.4.1 Inisialisasi .....	28
2.4.2 Mutasi .....	30
2.4.3 <i>Crossover</i> .....	31
2.4.4 Seleksi.....	32

<b>BAB III</b>	<b>PERMODELAN ALGORITMADIFFERENTIAL EVOLUTION PADA PROSES PENEMPATAN DISTRIBUTED GENERATION</b>	
	3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33Bus .....	33
	3.2 Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi .....	35
	3.2.1 Metode $Z_{BR}$ .....	35
	3.3 Algoritma Differential Evolution pada Proses Optimasi Penempatan dan Kapasitas DG .....	38
<b>BAB IV</b>	<b>SIMULASI DAN ANALISIS</b>	
	4.1 Simulasi Aliran Daya .....	39
	4.2 Simulasi Optimasi Peletakan dan Kapasitas <i>Distributed Generation</i> Menggunakan Metode <i>Differential Evolution</i> .....	42
	4.3 Perbandingan dengan Menggunakan Metode <i>Particel Swarm Optimization</i> (PSO).....	48
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b>	
	5.1 Kesimpulan .....	53
	5.2 Saran .....	53
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
	<b>RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penyaluran Tenaga Listrik .....	5
Gambar 2.2	Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	7
Gambar 2.3	Jaringan Radial Tipe Pohon .....	8
Gambar 2.4	Jaringan Radial dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah .....	9
Gambar 2.5	Jaringan Radial dengan Pusat Beban .....	9
Gambar 2.6	Jaringan Radial dengan Pembagian Phase Area .....	10
Gambar 2.7	Jaringan Distribusi Ring .....	10
Gambar 2.8	Jaringan Distribusi Spindal .....	11
Gambar 2.9	Jaringan Distribusi Jaring – Jaring .....	12
Gambar 2.10	Jaringan Radial Interkoneksi .....	13
Gambar 2.11	Diagram fasor segitiga daya .....	16
Gambar 2.12	Rangkaian seri .....	16
Gambar 2.13	Diagram daya kompleks .....	17
Gambar 2.14	Contoh <i>single line diagram</i> .....	18
Gambar 2.15	<i>Flowchart</i> DEA .....	27
Gambar 2.16	Pembangkitan Populasi .....	29
Gambar 2.17	Membangkitkan Perturbasi DE .....	29
Gambar 2.18	Mutasi dalam DE .....	30
Gambar 2.19	Perbedaan dua vektor ditambahkan pada vektor awal .....	31
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> sistem distribusi radial IEEE 33 bus .....	33
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> dengan Metode Network Topology .....	36
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> implementasi algoritma DE untuk optimasi DG .....	39
Gambar 4.1	Perbandingan Perbaikan Profil Tegangan .....	47
Gambar 4.2	Karakteristik Konvergen Menggunakan Metode PSO .....	48
Gambar 4.3	Perbandingan Profil Tegangan Metode DE dengan Metode PSO .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas Pembangkitan .....	24
Tabel 2.2	Klasifikasi DG berdasarkan Teknologi Pembangkitan ..	24
Tabel 2.3	Jenis Strategi mutasi DE .....	30
Tabel 3.1	Data Impedansi Saluran Sistem Distribusi IEEE 33BUS	33
Tabel 3.2	Data Beban Sistem Distribusi IEEE 33 BUS.....	34
Tabel 4.1	Aliran Daya Sebelum Pemasangan DG .....	39
Tabel 4.2	Kerugian Tiap Bus Sebelum Pemasangan DG .....	42
Tabel 4.3	Hasil Optimasi Peletakan dan Kapasitas Setiap DG .....	44
Tabel 4.4	Persentase Pengurangan Rugi Daya Aktif.....	44
Tabel 4.5	Perbandingan Nilai Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pemasangan 4 Unit DG .....	45
Tabel 4.6	Perbandingan Profil Tegangan .....	46
Tabel 4.7	Perbandingan Optimasi Menggunakan Metode DE dengan Metode PSO.....	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penentuan keandalan suatu sistem tenaga listrik biasanya dilakukan dengan menentukan keandalan masing-masing sub sistem yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Khususnya untuk keandalan sistem distribusi karena berdampak langsung ke beban (pelanggan). Selain itu sebagian besar sumber energi primer yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik di Indonesia merupakan sumber energi tak terbarukan. Apabila sumber energi tak terbarukan tersebut digunakan secara terus-menerus dalam jumlah yang besar, maka semakin lama sumber energi tersebut akan habis. Dengan mempertimbangkan semakin pesat perkembangan sumber energi baru terbarukan maka salah satu upaya untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi adalah dengan membangun pembangkit dengan skala kecil yang dikenal dengan nama *Distributed Generation* (DG)[1].

*Distributed Generation* atau biasa disebut dengan DG adalah pembangkit skala kecil dan menengah yang dikoneksikan langsung pada jaringan distribusi atau dekat dengan pusat beban. Penggunaan DG memiliki beberapa kelebihan antara lain dari segi ekonomi karena lebih menghemat penggunaan energi, ramah lingkungan, dan dari segi teknik meningkatkan stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik[2].

Untuk mendukung manfaat DG dalam sistem pembangkit diperlukan perencanaan yang baik termasuk menentukan lokasi penempatan dan besar daya keluaran DG. Sistem pembangkit yang memiliki bus berjumlah banyak menjadi kesulitan tersendiri dalam hal menentukan lokasi unit DG, daya keluaran, dan jumlah unit DG yang ditempatkan. Kesalahan dalam penentuan yang disebutkan diatas dapat berpengaruh terhadap keandalan unit DG, efisiensi bahan bakar (BBM) unit DG, dan rugi daya pada jaringan listrik. Oleh karena itu untuk penentuan lokasi dan besar daya keluaran DG dengan memperhatikan keandalan unit DG dengan memodelkan ke dalam metode *Differential Evolution* (DE). Keuntungan menggunakan DE adalah metode DE lebih sederhana dari metode GA sehingga memudahkan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang membutuhkan nilai real dan fungsi objektif multimodal (*multiple local optima*)[4].

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan optimasi penempatan dan kapasitas DG
2. Bagaimana konfigurasi dan mekanisme menggunakan metode Differential Evolution
3. Bagaimana perbandingan kualitas daya setelah pemasangan DG pada pembangkit

## 1.3 Batasan Masalah

Mengingat ruang lingkup yang luas, maka batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Pemodelan *Distributed Generation* ini diaplikasikan pada sistem IEEE 33 bus jaringan distribusi radial satu fasa
2. Optimasi yang ditentukan adalah kapasitas dan penempatan dari *Distributed Generation*
3. Pemodelan beban dan penurunan tegangan oleh transformator pada jaringan distribusi radial diabaikan

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengevaluasi dampak dari pemasangan DG untuk mengurangi rugi daya dan memperbaiki kualitas tegangan pada power sistem

## 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur  
Penulis mempelajari tentang optimasi kapasitas dan penempatan DG pada jaringan distribusi radial meliputi: loadflow aktif jaringan distribusi radial 33bus, menentukan optimasi kapasitas dan peletakan DG menggunakan metode *Differential Evolution*.
2. Pemodelan  
Setelah dilakukan studi literatur, penulis melakukan pemodelan awal tentang rancangan jaringan distribusi radial 33 bus ke dalam bentuk matrik agar memudahkan untuk menghitung arus saluran dan tegangan masing-masing bus. Sehingga setelah itu dapat diketahui

total rugi daya pada jaringan distribusi radial satu fasa untuk dioptimasi.

3. Simulasi

Pemodelan jaringan distribusi radial IEEE 33 bus diterapkan pada analisis aliran daya satu fasa. Matrik jaringan distribusi radial digunakan untuk mencari nilai tegangan dan arus saluran. Sehingga dapat diketahui rugi daya total pada sistem. Setelah diketahui rugi daya total pada sistem maka hasil tersebut akan dioptimasi dengan menambahkan DG menggunakan metode *Differential Evolution*. Penerapan pemodelan analisa aliran daya pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus menggunakan *software* MATLAB .

4. Analisa Data

Hasil analisa pemodelan aliran daya pada jaringan distribusi radial adalah mengetahui nilai tegangan setiap bus dan nilai arus saluran menggunakan metode K-matriks. Sehingga dari parameter-parameter tersebut dapat dihitung nilai rugi daya total pada system untuk dioptimasi. Nilai kapasitas dan penempatan dari DG diketahui menggunakan metode *Differential Evolution*.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa data dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

## 1.6 Sistematika

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB I

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi.

2. BAB II

Bab ini menjelaskan tentang teori yang menunjang dalam pengerjaan tugas akhir. Pemahaman tentang sistem aliran daya distribusi radial satu fasa, sistem jaringan distribusi, dan metode *Differential Evolution* yang diperlukan untuk optimasi kapasitas dan penempatan DG yang tepat untuk distribusi radial.

3. BAB III

Bab ini menerangkan tentang metode yang digunakan untuk menganalisa aliran daya pada sistem distribusi dan data-data pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus. Selain itu dijelaskan pula cara mendapatkan matrik jaringan distribusi radial satu fasa dan mengubah nilai tegangan ke satuan per unit. Pada bab ini juga

terdapat *flowchart* yang menjelaskan tentang cara penerapan pemodelan optimasi kapasitas dan penempatan DG pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus.

#### 4. BAB IV

Bab ini membahas tentang hasil simulasi program loadflow, hasil perhitungan total rugi daya pada system sebelum dipasang DG, mengetahui kualitas daya setelah pemasangan DG, dan juga mengetahui kualitas profil tegangan setiap bus sebelum dan sesudah peletakan DG.

#### 5. BAB V

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

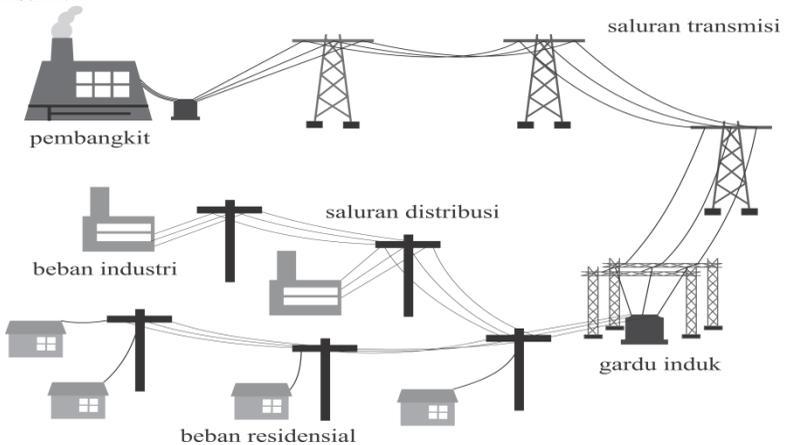
Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat membuktikan bahwa dengan penambahan unit *Distributed Generation (DG)* dapat memperbaiki kualitas daya dan profil tegangan pada jaringan distribusi radial IEEE 33 bus dengan cara memperhitungkan kapasitas dan penempatan DG pada bus yang sesuai untuk mengoptimasi minimalikan total rugi daya pada sistem.

## BAB II

# SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, *DISTRIBUTED GENERATION*, DAN METODE *DIFFERENTIAL EVOLUTION*

### 2.1 Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik[10]

Sistem jaringan distribusi digunakan untuk menyalurkan energi listrik berdaya besar menuju ke konsumen/pemakai energi listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit berkisar antara 11kV – 24kV lalu dinaikkan oleh transformator *step up* lewat gardu induk menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV dan disalurkan melalui saluran transmisi[1]. Kemudian tegangan pada saluran transmisi diturunkan menjadi 20kV oleh transformator *step down*. Pada tegangan 20kV, penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer yang kemudian tegangannya diturunkan menjadi 220/380 Volt oleh gardu-gardu distribusi dan disalurkan menuju konsumen/pemakai energi listrik.



**Gambar 2.1** Penyaluran Tenaga Listrik

Bagian utama yang menunjang distribusi tenaga listrik yaitu :

#### 1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan suatu komponen penting dalam distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai penyalur daya,

mentransformasikan daya listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit ke gardu induk lain dan juga ke gardu distribusi yang merupakan suatu interkoneksi dalam distribusi tenaga listrik.

## **2. Gardu Hubung**

Gardu hubung digunakan untuk menerima daya listrik dari gardu induk dan menyalurkan serta membagi daya listrik tanpa merubah tegangannya melalui jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah (JTM) menuju gardu distribusi.

## **3. Jaringan Distribusi Primer**

Jaringan distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan daya listrik. Biasanya dilayani oleh gardu hubung atau langsung dari gardu induk. Jaringan distribusi primer sering disebut jaringan tegangan menengah (JTM).

## **4. Gardu Distribusi**

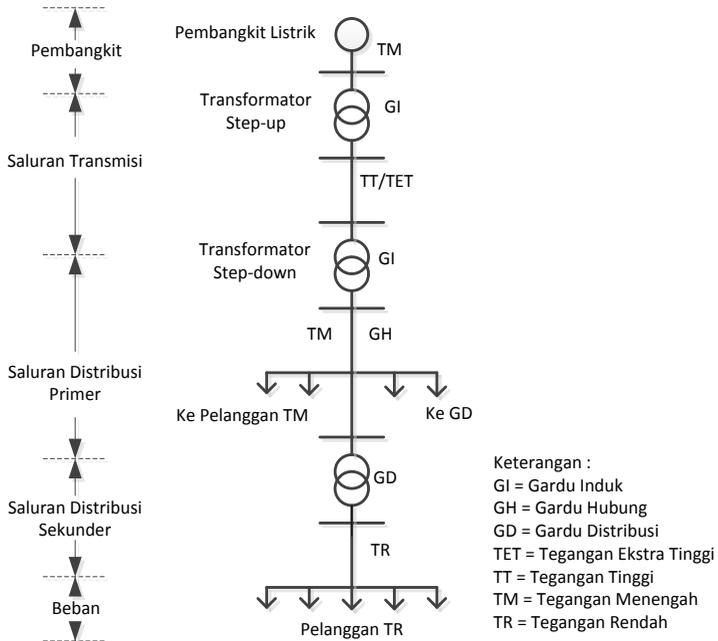
Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step down transformator); misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedang transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (step up transformator), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (long line) tidak mengalami penurunan tegangan (voltage drop) yang berarti; yaitu tidak melebihi ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5% dari tegangan semula.

Jenis transformator yang digunakan adalah transformator satu phasa dan transformator tiga phase. Adakalanya untuk melayani beban tiga phase dipakai tiga buah transformator satu phase dengan hubungan bintang (star connection) Y atau hubungan delta (delta connection)  $\Delta$ . Sebagian besar pada jaringan distribusi tegangan tinggi (primer) sekarang ini dipakai transformator tiga phase untuk jenis out door. Yaitu jenis transformator yang diletakkan diatas tiang dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan jenis in door, yaitu jenis yang diletakkan didalam rumah gardu.

## 5. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder sering disebut jaringan tegangan rendah (JTR). Jaringan distribusi sekunder berfungsi untuk menyalurkan atau menghubungkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen menggunakan jaringan hantaran udara 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 127/220 Volt atau 220/380 Volt.



**Gambar 2.2** Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

### 2.1.1 Konfigurasi Sistem Jaringan Distribusi Primer

Beberapa bentuk konfigurasi dalam sistem jaringan distribusi primer adalah sebagai berikut :

#### 1. Jaringan Distribusi Radial

Jaringan radial adalah jaringan yang salurannya ditarik secara radial dari suatu titik sumber dan dicabang-cabang sampai ke titik beban. Karena model sistem yang bercabang-cabang maka arus yang mengalir di tiap bagian tidak sama. Jaringan ini merupakan jaringan yang paling sederhana sehingga banyak digunakan di Indonesia.

Keuntungan dari jaringan distribusi radial adalah :

- a. Bentuk sederhana
- b. Pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah
- c. Pengaturan tegangan lebih mudah
- d. Biaya investasi yang lebih murah

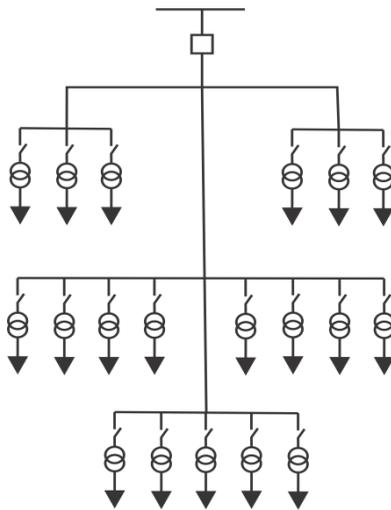
Kerugian dari jaringan distribusi radial adalah :

- a. Kualitas pelayanan daya relatif kurang bagus karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran relatif besar
- b. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin karena antar titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran. Sehingga bila saluran terjadi gangguan, maka rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami pemadaman secara total.

Beberapa tipe modifikasi jaringan distribusi radial adalah :

**a. Jaringan Radial Tipe Pohon**

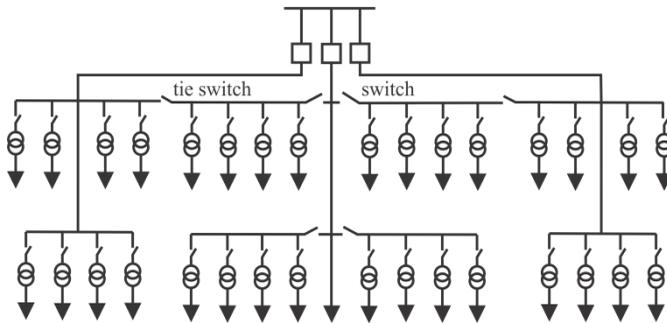
Jaringan tipe pohon merupakan jaringan radial dengan satu sumber yang melayani beban dengan jalur yang bercabang-cabang dengan model membentang pada node percabangannya. Jaringan ini merupakan jaringan radial yang paling dasar.



**Gambar 2.3** Jaringan Radial Tipe Pohon

### b. Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

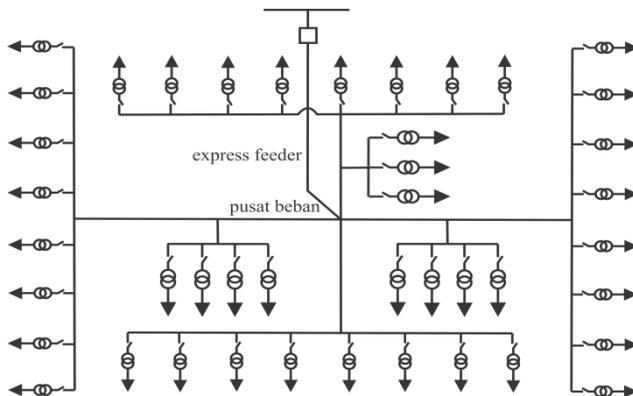
Jaringan radial dengan *tie* dan *switch* pemisah merupakan modifikasi dari jaringan radial dasar dengan penambahan *tie* dan *switch* pemisah. *Tie* dan *switch* pemisah digunakan untuk mempercepat pemulihan terhadap gangguan sehingga meningkatkan keandalan sistem.



**Gambar 2.4** Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

### c. Jaringan Radial dengan Pusat Beban

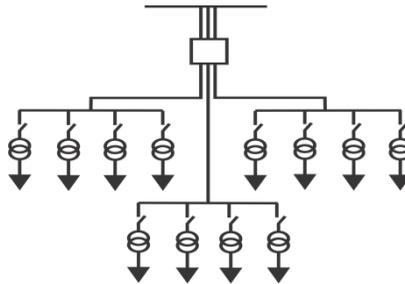
Jaringan radial dengan pusat beban merupakan jaringan yang mencatu daya dengan menggunakan penyulang langsung (*express feeder*) menuju ke pusat beban. Kemudian dari pusat beban, penyulang disebar dengan cabang-cabang tersebar menuju beban.



**Gambar 2.5** Jaringan Radial dengan Pusat Beban

#### d. Jaringan Radial dengan Pembagian *Phase Area*

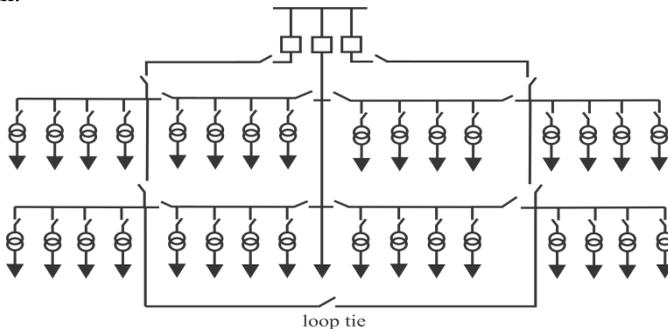
Jaringan radial ini masing-masing fasanya melayani daerah beban yang berbeda. Kerugian dari jaringan radial ini dapat menimbulkan efek ketidakseimbangan bila ditempatkan pada daerah yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Tipe ini hanya cocok untuk daerah dengan beban yang stabil dan dapat diatur merata pada setiap fasanya.



**Gambar 2.6** Jaringan Radial dengan Pembagian *Phase Area*

#### 2. Jaringan Distribusi Ring

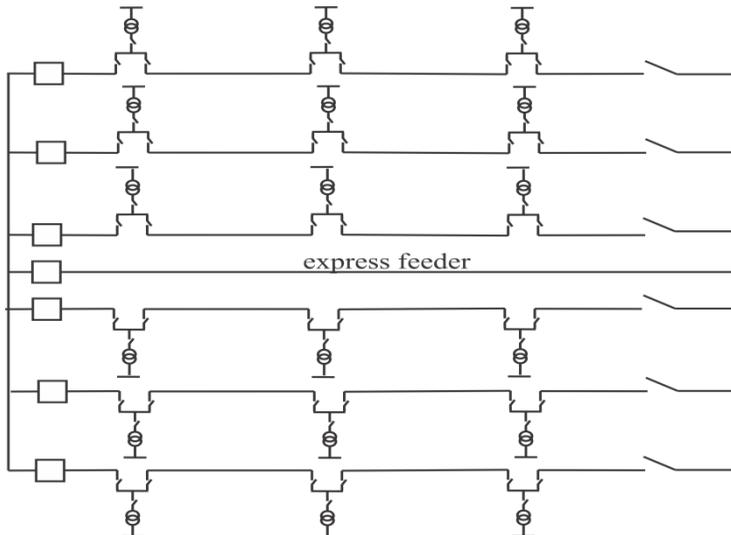
Jaringan distribusi ring adalah jaringan dengan satu sumber suplai dan membentuk jaringan loop. Pada satu titik beban terdapat dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini memiliki keandalan yang tinggi, namun membutuhkan biaya investasi yang tinggi karena membutuhkan lebih banyak *switch* atau pemutus beban.



**Gambar 2.7** Jaringan Distribusi Ring

### 3. Jaringan Distribusi Spindal

Pada jaringan distribusi spindal, beberapa penyulang yang dioperasikan berbeban (*working feeder*) dihubungkan dengan penyulang berbeban lain dalam satu titik di ujung penyulang dengan gardu hubung. Dari gardu hubung ini terdapat satu penyulang menuju titik suplai yang dalam keadaan normal dioperasikan tanpa beban (*express feeder*).



**Gambar 2.8** Jaringan Distribusi Spindal

Fungsi *express feeder* adalah sebagai cadangan saat terjadi gangguan pada salah satu *working feeder*. Selain itu juga untuk memperkecil terjadinya *drop* tegangan pada sistem distribusi pada kondisi normal. Sehingga jaringan distribusi spindal cocok untuk meningkatkan keandalan dan kualitas sistem.

### 4. Jaringan Distribusi Jaring-Jaring (NET)

Jaringan ini merupakan gabungan antara jaringan radial dan ring. Beberapa jaringan radial dalam skala kecil saling dihubungkan satu sama lain membentuk hubungan loop. Titik beban pada saluran

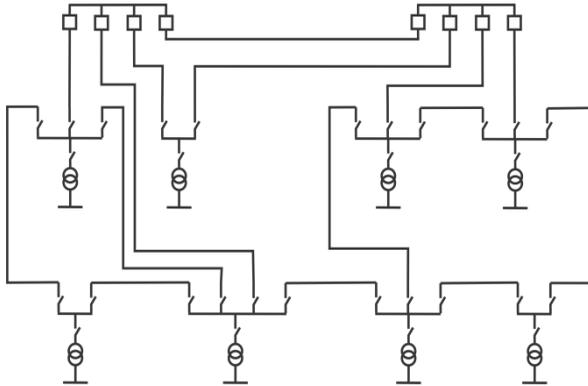
memiliki banyak alternatif saluran/penyulang. Sehingga apabila salah satu penyulang terganggu maka dapat digantikan dengan penyulang lain.

Kelebihan jaringan distribusi jaring-jaring :

- a. Kontinyuitas penyaluran daya terjamin
- b. Kualitas tegangan baik, rugi daya saluran kecil
- c. Fleksibel dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban

Kekurangan jaringan distribusi jaring-jaring :

- a. Perencanaan harus dilakukan lebih teliti karena biaya investasi besar
- b. Memerlukan tenaga terampil dalam pengoperasiannya



**Gambar 2.9** Jaringan Distribusi Jaring – Jaring

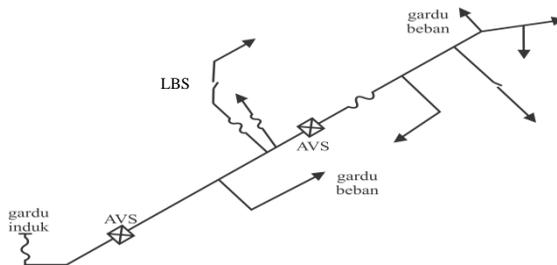
## 5. Jaringan Radial Interkoneksi

Jaringan radial interkoneksi merupakan kumpulan dari saluran radial tunggal yang dilengkapi LBS / AVS sebagai saklar interkoneksi. Jaringan ini digunakan untuk beban-beban dengan kepadatan tinggi yang tidak begitu memerlukan tingkat keandalan tinggi. Apabila terjadi pemadaman, kerugian yang dialami tidak berdampak besar.

Keuntungan jaringan radial interkoneksi :

- a. Merupakan pengembangan sistem network / mesh
- b. Dapat menyalurkan tenaga listrik dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik
- c. Penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus (tanpa putus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas
- d. Memiliki keterandalan dan kualitas sistem yang tinggi

- e. Apabila salah satu Pembangkit mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke Pusat Pembangkit lainnya
- f. Bagi Pusat Pembangkit yang memiliki kapasitas lebih kecil, dapat dipergunakan sebagai cadangan atau pembantu bagi Pusat Pembangkit Utama (yang memiliki kapasitas tenaga listrik yang lebih besar)
- g. Ongkos pembangkitan dapat diperkecil
- h. Sistem ini dapat bekerja secara bergantian sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan
- i. Dapat memperpanjang umur Pusat Pembangkit
- j. Dapat menjaga kestabilan sistem Pembangkitan
- k. Keterandalannya lebih baik
- l. Dapat di capai penghematan-penghematan di dalam investasi



**Gambar 2.10** Jaringan Radial Interkoneksi

## 2.2 Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik [10]

### 2.2.1 Representasi Sistem Tenaga Listrik

Sebagian besar sistem tenaga modern menggunakan rangkaian dan peralatan AC tiga fasa. Representasi detail dari masing-masing fasa pada system tidak praktis dan mengandung informasi yang tidak jelas tentang sistem. Sistem tiga fasa yang seimbang diselesaikan seperti rangkaian satu fasa yang dibuat satu line dan netral, sehingga representasi yang lebih sederhana dapat tetap menggunakan satu line untuk mempresentasikan tiga fasa dan mengabaikan netral. Dalam analisis system tenaga, hanya satu fasa dari sistem tenaga listrik tiga fasa yang dianalisis. Simbol standar digunakan untuk mengindikasikan berbagai komponen.

### 2.2.2 Daya Listrik Sistem Satu Fasa

Bentuk gelombang tegangan pada bus-bus dari sistem tenaga dapat diasumsikan sebagai sinyal sinusoidal murni pada frekuensi yang tetap. Tegangan dilambangkan dengan huruf  $V$  besar dan arus dilambangkan dengan huruf  $I$  besar, lambang tersebut digunakan untuk menentukan fasor tegangan dan arus.  $|V|$  dan  $|I|$  melambangkan *magnitude* fasor. Huruf  $v$  dan  $i$  melambangkan nilai sesaat. Tegangan yang dibangkitkan oleh generator dilambangkan dengan huruf  $E$ . Tegangan antara dua titik dilambangkan dengan huruf  $V$ . Sebagai contoh tegangan dan arus dalam fungsi waktu dapat dilihat sebagai berikut :

$$v = 141.4 \cos(\omega t + 30^\circ)$$

$$i = 7.07 \cos \omega t$$

Nilai maksimum tegangan adalah  $V_{\max} = 150$  dan  $I_{\max} = 10$  A. Tanda mutlak adalah nilai rms (*root mean square*) melambangkan nilai *magnitude*, yang sama dengan nilai maksimum dibagi  $\sqrt{2}$ .

$$|V| = 100 \text{ V dan } |I| = 5 \text{ A}$$

Nilai *magnitude* adalah nilai yang dibaca oleh voltmeter dan amperemeter. Nama lain dari rms adalah nilai efektif. Daya rata-rata pada sebuah resistor adalah  $|I|^2 R$ .

Hubungan antara  $V$ ,  $I$  dan  $Z$  (impedansi) dalam suatu rangkaian dituliskan sebagai berikut :

$$V = I \times Z \quad (2.1)$$

Rumus daya sesaat dalam fungsi waktu dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$P(t) = v(t)i(t) = V_m I_m [\cos(\omega t) \cos(\omega t - \theta)] \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan identitas trigonometri diperoleh :

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)] \quad (2.3)$$

Sehingga rumus daya sesaat dalam fungsi waktu dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P(t) = V_m I_m [\cos \theta + \cos(2\omega t - \theta)] / 2 \quad (2.4)$$

Daya rata-rata  $P_{av}$  adalah :

$$P_{av} = V_m I_m \cos \theta / 2 \quad (2.5)$$

Penggunaan nilai efektif (rms) lebih sering dan lebih mudah digunakan daripada nilai maksimum. Dengan mensubstitusikan  $V_m = \sqrt{2}(V_{rms})$ ,

Dan  $I_m = \sqrt{2}(I_{rms})$  diperoleh :

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad (2.6)$$

$\theta$  bernilai positif untuk arus lagging, sedangkan  $\theta$  bernilai negatif untuk arus leading.

Daya yang masuk pada jarring listrik adalah hasil dari nilai efektif tegangan terminal, arus dan cosinus dari sudut fasa  $\theta$  yang disebut juga faktor daya (*Power Factor = PF*). Hal ini diterapkan pada tegangan dan arus sinusoidal. Untuk beban resistif murni,  $\cos \theta=1$ , dan semua arus digunakan untuk menyalurkan daya dari sumber ke beban. Jika ada reaktansi, komponen arus dalam rangkaian diikat untuk menyalurkan energi yang secara periodik disimpan dan dilepas dari reaktansi. Energi yang tersimpan, akan disalurkan menuju dan dari medan magnet dari induktansi atau medan listrik dari kapasitansi, yang ditambahkan pada arus dalam rangkaian, tetapi tidak ditambahkan pada daya rata-rata.

Daya rata-rata dalam rangkaian disebut sebagai daya aktif, dan daya yang mensuplai energi yang tersimpan pada elemen reaktif disebut daya reaktif. Daya aktif dilambangkan dengan  $P$ , daya reaktif dilambangkan dengan  $Q$ , sehingga :

$$P = VI \cos \theta \quad (2.7)$$

$$Q = VI \sin \theta \quad (2.8)$$

$\cos \theta$  lagging untuk rangkaian induktif, sedangkan  $\cos \theta$  leading untuk rangkaian kapasitif. Pada kedua persamaan,  $V$  dan  $I$  adalah nilai rms dari tegangan terminal dan arus, dan  $\theta$  adalah sudut fasa antara arus yang tertinggal terhadap tegangan.

$P$  dan  $Q$  berada pada dimensi yang sama, yaitu *watt*. Untuk menekankan bahwa  $Q$  adalah daya reaktif, maka  $Q$  dinyatakan dalam unit *Volt-Ampere Reaktif (VAR)*.

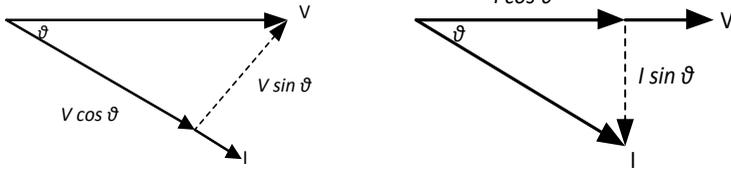
Dengan mengasumsikan  $V$ ,  $V \cos \theta$ , dan  $V \sin \theta$ , seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11, masing-masing dikalikan dengan  $I$ , nilai arus rms. Ketika komponen tegangan tegangan  $V \cos \theta$  dan  $V \sin \theta$  dikalikan arus akan berubah jadi  $P$  dan  $Q$ . Begitu juga  $I \cos \theta$  dan  $I \sin \theta$  dikalikan dengan  $V$ , akan berubah jadi  $VI$ ,  $P$  dan  $Q$ .

Daya yang dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks dilambangkan dengan  $S$ , terdiri dari komponen  $P$  dan  $Q$  yaitu :

$$\begin{aligned} S &= P + jQ \\ &= VI \cos \theta + jVI \sin \theta \\ &= VI (\cos \theta + j \sin \theta) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan identitas Euler diperoleh :

$$S = VI \angle \theta \quad (2.10)$$



**Gambar 2.11** Diagram fasor segitiga daya

Arus conjugate didefinisikan dengan menambahkan tanda bintang (\*)

$$I^* = |I| \angle -\theta \quad (2.11)$$

$$S = VI^* \quad (2.12)$$

Untuk menulis daya kompleks dapat dilakukan dalam dua bentuk alternatif dengan menggunakan hubungan :

$$V = ZI \text{ dan } I = YV \quad (2.13)$$

sehingga

$$S = ZII^* = Z|I|^2 \quad (2.14)$$

Atau

$$S = VY^*V^* = Y^*/|V|^2 \quad (2.15)$$

Dengan menerapkan rumus di atas pada gambar 2.8, diperoleh bahwa tegangan yang diterapkan sama dengan jumlah drop tegangan :

$$V = I(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \quad (2.16)$$

Dengan mengalikan kedua sisi persamaan di atas dengan  $I^*$  akan menghasilkan :

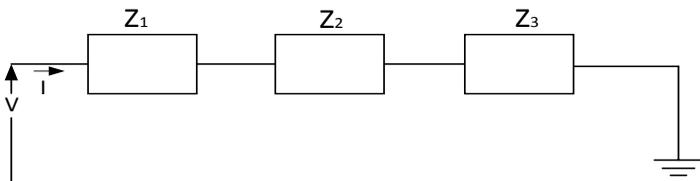
$$S = VI^* = I^*(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \quad (2.17)$$

atau

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.18)$$

Dengan

$$S_i = |I|^2 Z_i \quad (2.19)$$

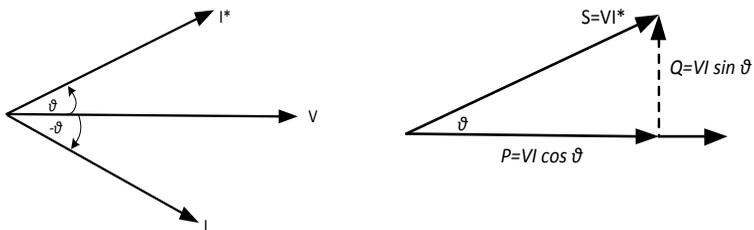


**Gambar 2.12** Rangkaian Seri

menjadi elemen tunggal daya kompleks. Persamaan (2.18) diketahui sebagai aturan penjumlahan untuk daya kompleks. Aturan penjumlahan juga diterapkan pada rangkaian paralel. Penggunaan aturan penjumlahan dan konsep daya kompleks memberikan keuntungan dalam menyelesaikan masalah dari analisis sistem tenaga.

Diagram fasor yang ditunjukkan pada gambar 2.11 dapat dikonversikan ke dalam diagram daya kompleks dengan tegangan dan arus. Kondisi rangkaian induktif dengan arus lagging terhadap tegangan dengan sudut  $\theta$ . Arus conjugate akan berada pada kuadran pertama pada bilangan kompleks seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13(a). Dengan mengalikan fasor dengan  $V$ , dapat diperoleh diagram daya kompleks seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13(b). Pada diagram dapat diketahui hubungan faktor daya pada rangkaian :

$$\cos \theta = \frac{P}{|S|} \quad (2.20)$$



**Gambar 2.13** Diagram daya kompleks

### 2.2.3 Aliran Daya

Studi tentang aliran daya sangat penting untuk merencanakan ekspansi sistem tenaga yang akan datang. Informasi dasar yang diperoleh dari studi aliran daya adalah magnitude dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, dan aliran daya aktif dan reaktif pada setiap saluran. Data yang diperlukan untuk studi aliran daya adalah matriks  $Y_{bus}$  atau matriks  $Z_{bus}$  dari sistem yang akan dipelajari. Hal ini sangat penting karena matriks  $Y_{bus}$  maupun  $Z_{bus}$  berisi informasi data saluran sistem. Kemudian data-data jenis bus, termasuk ke dalam jenis bus beban atau bus generator. Jika pada bus terdapat generator, maka bus tersebut disebut bus generator. Sedangkan bus yang tidak memiliki

generator disebut sebagai bus beban. Pada setiap bus generator perlu dimasukkan data pembangkitan daya aktif pada generator, kemudian pada bus beban juga perlu dimasukkan data beban.

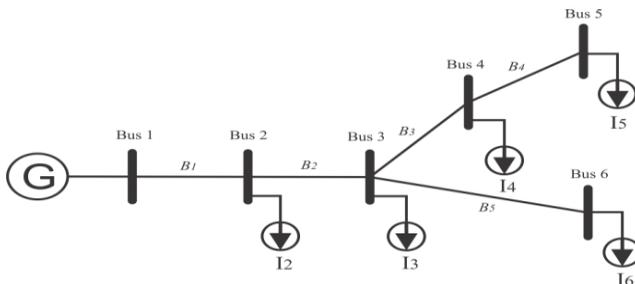
Ada satu bus generator yang tidak ditentukan besar pembangkitan daya aktif, yang disebut *slack* atau *swing bus*. *Swing bus* ini terhubung dengan generator yang memiliki kapasitas daya paling besar pada sistem. Generator pada *swing bus* mensuplai perbedaan antara daya aktif ke dalam sistem pada bus lain dan total keluaran ditambah *losses*. *Magnitude* dan sudut tegangan pada *swing bus* telah ditentukan terlebih dahulu.

Dalam proses pemasangan DG pada sistem distribusi perlu mengetahui aliran daya pada sistem distribusi dan diketahui bahwa persamaan pada permasalahan analisis aliran daya adalah persamaan nonlinier yang harus diselesaikan menggunakan teknik iterasi. Ada beberapa teknik yang umum digunakan, namun pada Tugas Akhir ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan adalah metode K-matriks.

#### 2.2.4 Metode Topologi Jaringan [12]

Sebelum mengimplementasikan metode *forward backward sweep* diperlukan memodifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Salah satunya adalah dengan membentuk matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) adalah matrik hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi.

Contoh gambar *single line diagram* untuk pembentukan matrik untuk persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.14 Contoh Single Line Diagram

Dari gambar *single line diagram* diatas didapatkan persamaan untuk membentuk matrik BIBC, dengan menggunakan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*). Arus cabang I terhadap bus/saluran B. Maka persamaan yang didapat adalah seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 B_1 &= I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_2 &= I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
 B_3 &= I_4 + I_5 \\
 B_4 &= I_5 \\
 B_5 &= I_6
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Setelah didapatkan persamaan diatas kemudian dibentuk matrik BIBC adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}
 \tag{2.22}$$

Angka 1 menyatakan adanya hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi. Angka 0 menyatakan tidak adanya hubungan antara keduanya.

Dan matrik BIBC dapat di sederhanakan menjadi berikut :

$$[B] = [BIBC][I]
 \tag{2.23}$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk drop tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_2 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \\
 V_3 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\
 V_4 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\
 V_5 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\
 V_6 &= V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

Dari persamaan diatas dapat dibentuk matrik BCBV yang menyatakan bahwa ada hubungan antara tegangan bus dan arus saluran. Bentuk matrik BCBV sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Dan matrik BCBV dapat di sederhanakan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.26)$$

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

$$\begin{aligned} [\Delta V] &= [BCBV][BIBC][I] \\ [\Delta V] &= [DLF][I] \end{aligned} \quad (2.27)$$

Dengan didapatkan matrik BIBC, BCBV dan  $\Delta V$  kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$[V_i] = [V_1] - [\Delta V] \quad (2.28)$$

### 2.2.5. Metode K-matriks

Metode K-matrik adalah metode yang dapat digunakan juga untuk memodifikasi perhitungan agar memudahkan untuk membentuk persamaan yang diperlukan dalam pengimplementasian metode forward – backward sweep untuk menganalisa aliran daya pada sistem distribusi radial dengan sistem yang kompleks. Pada tugas akhir ini metode K-matrik digunakan untuk membuat matrik BIBC. Sama dengan matrik BIBC, metode K-matrik ini membentuk matrik dari saluran distribusi radial yang menunjukkan arah arus dari satu bus ke bus yang lain. Hanya saja K-Matrik memiliki komponen yang nilainya berlawanan dengan setiap komponen matrik BIBC. Tetapi bentuk dari K-matrik terdapat persamaan bentuk dan komposisi dari matrik BIBC.

Dari gambar *single line diagram* pada gambar 1 diatas maka didapatkan K-matrik-nya adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{c}
 \text{bus2} \quad \text{bus3} \quad \text{bus4} \quad \text{bus5} \quad \text{bus6} \\
 B_1 \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Pada metode topologi jaringan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa persamaan untuk menghitung drop tegangan adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (2.29)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

Dan dapat dirumuskan bahwa hubungan antara K-matrik dan BIBC adalah sebagai berikut :

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}] \quad (2.30)$$

Selanjutnya untuk membangun matrik BCBV adalah dengan mentransposisikan matrik BIBC atau matrik K kemudian dikalikan dengan matrik impedansi saluran. Dan persamaannya seperti berikut :

$$BCBV = -[K\text{-matrik}]' * [\text{ImpedansiSaluran}] \quad (2.31)$$

$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

Dan untuk menghitung drop tegangan pada setiap saluran dengan menggunakan metode K-matrik adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = -[K\text{-matrik}]' * [\text{ImpedansiSaluran}] * -[K\text{-matrik}] * [I] \quad (2.31)$$

Dan persamaan drop tegangan dari matrik K dapat disederhanakan menjadi seperti dibawah ini :

$$[\Delta V]=[DLF][I] \quad (2.32)$$

Matrik DLF adalah matrik perkalian antara matrik BIBC dan matrik BCBV.

## **2.1 Distributed Generation[6]**

*Distributed Generation* (DG) merupakan suatu pembangkit tenaga listrik yang berukuran kecil dan bukan merupakan bagian dari sistem pembangkit pusat, melainkan berada dekat dengan beban. DG merupakan pendekatan baru dalam industri pembangkitan tenaga listrik yang memberikan paradigma baru terhadap konsep pembangkit listrik terpusat konvensional. Dalam berbagai literatur masih belum terdapat persamaan konsep yang pasti terhadap definisi DG. Semua literature memang menyatakan bahwa DG merupakan pembangkit kecil dengan peletakan yang terdistribusi pada sistem, namun belum ada persamaan persepsi diantara para ahli mengenai batasan ukuran dan lokasi penempatan DG. Bahkan istilah DG pun masih bermacam-macam. Negara-negara Anglo-Amerika menggunakan istilah *Embedded Generation*, Amerika Utara menggunakan istilah *Dispersed Generation*, sedangkan Eropa dan sebagian Asia menggunakan istilah *Decentralised Generation*.

Selain dari perbedaan istilah, penentuan rentang ukuran atau kapasitas DG juga masih memiliki beberapa versi yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Penentuan kapasitas ini sangat penting karena merupakan salah satu kunci dalam analisa penempatan dan penentuan daya keluaran DG. Beberapa definisi kapasitas DG yang dimiliki oleh lembaga-lembaga riset internasional adalah sebagai berikut:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW.
2. Gas research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 25kW hingga 25 MW.
3. Preston dan Rastler menentukan ukuran mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.
4. Cardell mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 500kW hingga 1MW.

5. International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 50 hingga 100 MW.

Oleh karena sangat bervariasinya definisi yang digunakan dalam beberapa literatur, maka klasifikasi DG dibedakan berdasarkan tujuan, lokasi penempatan, kapasitas DG, area penigiriman daya listrik, teknologi, dampak lingkungan, mode operasi, kepemilikan dan penetrasi DG ke dalam system tenaga listrik.

Berdasarkan tujuan instalasinya, pembangkit tersebar dibangun untuk menyediakan sumber daya aktif dalam sistem tenaga listrik, sehingga penempatan DG tidak diharuskan untuk mampu menyediakan daya reaktif yang dibutuhkan oleh sistem.

Definisi lokasi DG dari masing-masing pengarang juga sangat bervariasi. Kebanyakan pengarang mendefinisikan lokasi DG pada sistem distribusi, dan dalam beberapa literatur penempatan DG juga termasuk pada sisi sistem transmisi.

Kapasitas maksimum yang mungkin disuplai oleh DG sebagai sumber energi listrik sering digunakan untuk membatasi kualifikasi dari DG itu sendiri. Namun penentuan kapasitas DG ini bukan merupakan faktor kritis dalam menentukan definisi DG. Kapasitas maksimum yang dapat dikoneksikan dengan sistem tergantung pada kapasitas sistem dan berkorelasi dengan level tegangan tempat dimana DG tersebut diletakkan. Desain teknis dari masing-masing sistem sangatlah unik, karena itu, tidak ada deffinisi umum dari kapasitas pembangkitan maksimum yang dapat dikoneksikan ke sistem.

Dengan melakukan perhitungan terhadap beberapa data awal tersebut, maka dapat dihasilkan data umum kapasitas DG yang dibutuhkan oleh sistem. Klopfer et al. menyebutkan bahwa system pembangkitan yang berkapasitas antara 100 MW hingga 150 MW tidak dapat dikoneksikan pada sistem 110 kV, karena adanya batasan beberapa teknis. Karena sistem 110kV ini merupakan level teganga terbesar yang dioperasikan untuk sistem distribusi, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kapasitas maksimum untuk pembangkit tersebar adalah 100-150 MW.

Beberapa permasalahan teknis yang berhubungan dengan DG dapat memberikan beberapa variasi yang signifikan terhadap kapasitas pembangkitan dari DG itu sendiri. Oleh karena itu, perlu diperkenalkan pengkategorian yang tepat untuk mengklasifikasikan DG berdasarkan

kapasitas pembangkitan yang dimilikinya. Terdapat empat jenis DG berdasarkan klasifikasi ini, yaitu :

**Tabel 2.1** Klasifikasi DG berdasarkan Kapasitas Pembangkitan

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

Teknologi yang digunakan untuk DG tidak memiliki relevansi yang signifikan terhadap tujuan pendefinisian DG. Perkembangan teknologi yang begitu pesat menyebabkan sangat bervariasinya metode pembangkitan yang dimiliki oleh DG itu sendiri.

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

Modul-modul DG tersebut dapat cepat beroperasi segera setelah dipasang pada lokasi. Masing-masing modul juga bersifat inpenden, jadi ketika satu modul mengalami kerusakan, maka modul yang lain dapat tetap bekerja secara normal. Hal inilah yang menyebabkan nilai keadaan unit DG yang lebih baik dibandingkan dengan pembangkit sentral pada umumnya.

Berdasarkan teknologi pembangkitan yang digunakan, DG dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

**Tabel 2.2** Klasifikasi DG berdasarkan Teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<b>Fossil Fuel</b>	
Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)	35-400 MW
Internal combustion engines	5 kW-10 MW
Combustion turbine	1-250 MW

Micro-Turbines	35 kW-1 MW
<b>Renewable Resources</b>	
Small hydro	1-100 MW
Micro hydro	25 kW-1 MW
Wind turbine	200 Watt-3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt-100 kW
Solar terminal, central receiver	1-10 MW
Solar terminal, Lutz system	10-80 MW
Biomass, e.g. based on gastification	100 kW-20 MW
Fuel cells, phosacid	200 kW-2 MW
Fuel cells, solid oxide	250 kW-2 MW
Geothermal	5-100 MW
Ocean energy	100 kW – 1 MW
Stirling engine	2 – 10 kW
Battery storage	500kW – 5 MW

## 2.2 Differential Evolution Algorithm (DEA) [8]

Perkembangan komputasi saat ini telah mengalami percepatan yang luar biasa. Berbagai teknik komputasi untuk mendapatkan solusi dan performa yang memuaskan terus bermunculan sebagai jawaban atas semakin banyaknya masalah optimasi nyata dalam kehidupan sehari-hari yang harus dipecahkan. Termasuk dalam salah satu bidang komputasi, Evolutionary Computation. Ada beberapa algoritma yang termasuk dalam rumpun Evolutionary Computation yang selanjutnya dikenal dengan istilah Evolutionary Algorithm. Algoritma – algoritma tersebut antara lain *Genetic Algorithm*, *Genetic Programming*, *Evolutionary Strategies*, *Differential Evolution*, *Evolutionary*, dan *Grammatical Evolution*. Di samping itu, menurut Dasgupta dan Michalewicz, masih banyak lagi sistem hybrid, yang menggabungkan berbagai fitur – fitur atau karakteristik yang dimiliki oleh algoritma-algoritma yang sudah disebutkan di atas, sehingga sulit untuk diklasifikasikan (Babu dan Angira, 2003).

Salah satu yang terbaik dari algoritma tersebut di atas adalah *Differential Evolution* (DE) yang dikenalkan oleh Storn dan Price (1995). *Differential Evolution Algorithm* (DEA) adalah salah satu tipe teknik optimasi modern yang berbasis mekanisme pencarian populasi seperti GA, optimasi *bee colony*, dan PSO. DEA memiliki kelebihan dibandingkan teknik optimasi lainnya. Beberapa diantaranya adalah

strukturnya yang sederhana, parameter kontrolnya yang sedikit dan konvergensi keandalannya tinggi[6].

Seperti halnya semua keluarga Evolutionary Algorithm (EA), DE juga didasarkan pada pembangkitan populasi titik-titik untuk mencapai minimum suatu fungsi. DE agak berbeda dengan Algoritma EA dalam hal [Engelbrecht, 2007]

- Mutasi diterapkan dulu untuk membangkitkan vektor percobaan (trial vector), yang kemudian akan digunakan dalam proses crossover untuk menghasilkan suatu turunan (offspring)
- Step size dalam mutasi tidak disampel dari distribusi populasi yang sudah diketahui

Dalam DE, step size dalam mutasi dipengaruhi oleh perbedaan diantara individu dalam populasi sekarang. Pada gambar 2.16, titik-titik ini akan disampling secara random sebagai titik awal. Kemudian perlu dilakukan pembatasan nilai-nilai (batas atas dan batas bawah) dimana kira-kira nilai variabel yang dicari berada. Pembangkitan populasi awal tentu saja harus memperhatikan batas bawah dan batas atas ini. Setiap vektor (dari titik-titik dalam populasi) diberi diberi indeks untuk menandai posisinya. DE membangkitkan titik baru berdasarkan titik yang ada dan selisih antara dua titik dalam populasi. Ini berbeda dengan metoda direct search seperti Nelder Mead yang membangkitkan titik baru dengan cara refleksi atau melakukan sampling dari suatu distribusi tertentu seperti dalam ES. Dapat dilihat pada gambar 2.17.

Untuk menghasilkan titik percobaan  $u_0$ , DE menambahkan faktor skala terhadap vektor ketiga yang diseleksi dari vektor populasi. Pada gambar 2.18, dalam tahap seleksi. Vektor percobaan ini akan berkompetisi dengan vektor dari populasi dengan indeks yang sama dalam hal ini adalah nomor 0. Pada gambar 2.19 mengilustrasikan langkah seleksi dan menyimpan vektor yang menghasilkan nilai fungsi tujuan paling kecil ditandai sebagai anggota untuk generasi berikutnya. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam DE.

Inisialisasi

Evaluasi

**Repeat**

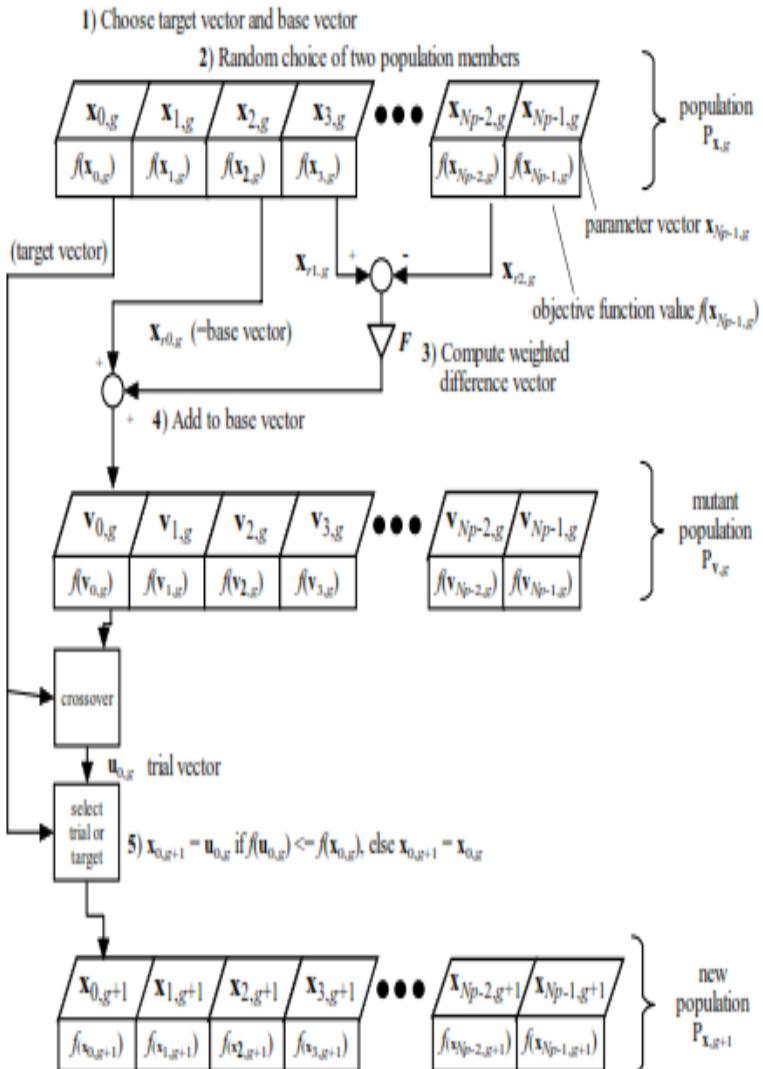
    Mutasi

    Rekombinasi

    Evaluasi

    Seleksi

**Until** (kriteria berhenti tercapai)



**Gambar 2.15** Flowchart DEA

### 2.4.1 Inisialisasi

Dalam Algoritma *Differential Evolution Algorithm (DEA)* menggunakan 2 buah populasi vektor. Masing-masing populasi terdiri dari  $N_p$  vector dengan D-dimensional parameter. Populasi awal,  $\mathbf{P}_x$ , terdiri dari vector  $\mathbf{x}_{i,g}$  yang ditentukan sebagai *initial point*. Populasi awal DE secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{x,g} &= (X_{i,g}), & i &= 1, \dots, N_p, & g &= 1, \dots, g_{max} \\ X_{i,g} &= (X_{j,i,g}), & j &= 1, \dots, D. \end{aligned} \quad (2.33)$$

$\mathbf{x}_{i,g}$  merupakan vector ke-i pada pembangkitan ke g. Sedangkan  $\mathbf{x}_{j,i,g}$  adalah nilai vector ke-i pada parameter ke-j, pada pembangkitan ke g. Nilai i adalah bilangan bulat dari 0 sampai  $N_p$ , g adalah bilangan bulat dari 0 sampai  $g_{max}$ , dan j adalah bilangan bulat dari 0 sampai D-1.

Pada tahap inisialisasi, nilai awal vektor pada populasi awal diinisialisasi secara random pada suatu daerah tertentu yang memiliki suatu batasan. Batas atas,  $\mathbf{b}_U$ , dan batas bawah,  $\mathbf{b}_L$ , dari setiap vektor tersebut didefinisikan sebagai berikut.

$$x_j^L \leq x_{j,i,g} \leq x_j^U \quad (2.34)$$

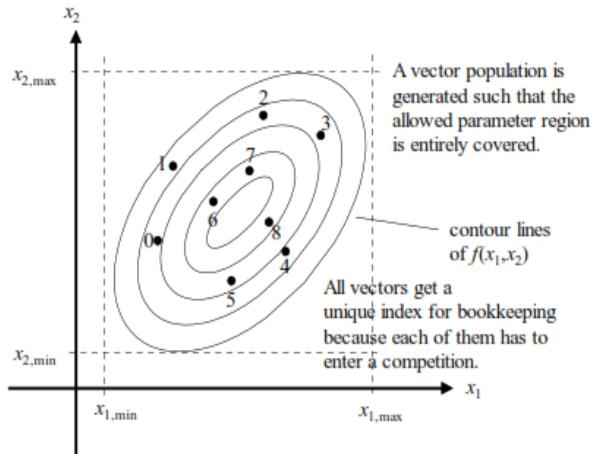
$\mathbf{x}_{j,i,g}$  adalah nilai vector ke-i pada parameter ke-j dan pembangkitan ke-g. Nilai masing-masing vektor awal tersebut dibangkitkan secara acak diantara batasan-batasan tersebut berdasarkan persamaan yang digunakan untuk inisialisasi populasi :

$$x_{j,i,g} = rand_j(0,1) \times (b_{j,U} - b_{j,L}) + b_{j,L} \quad (2.35)$$

Angka pembangkitan random,  $rand_j(0,1)$ , merupakan angka yang dibangkitkan secara acak antara *range* [0.1].

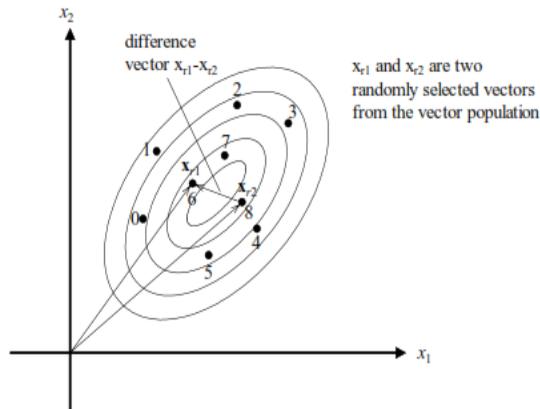
Proses inisialisasi DEA dapat dapat diilustrasikan pada gambar 2.15. Dimisalkan hanya 2 buah parameter yang digunakan yakni itu  $x_1$  dan  $x_2$  sehingga gambar bentuk 2 dimensi. Ruang pencarian DEA dibatasi oleh  $(x_{1,min}, x_{1,maks})$  untuk  $x_1$  dan  $(x_{2,min}, x_{2,maks})$  untuk  $x_2$ . Pada proses inisialisasi, vektor-vektor pada DEA disebarakan secara acak atau random di dalam suatu ruang pencarian. Masing-masing vektor ditempatkan pada suatu titik dengan nilai  $x_1$  dan  $x_2$  yang berbeda-beda bagi setiap vektor.

Kemudian nilai fitness masing-masing vektor didapatkan dengan cara memasukkan nilai  $x_1$  dan  $x_2$  pada fungsi  $f(x_1, x_2)$ .



**Gambar 2.16** Pembangkitan Populasi

Fitness masing-masing vektor dipresentasikan oleh beberapa garis kontur. Garis kontur terluar mempresentasikan daerah dengan nilai fitness yang paling buruk sedangkan kontur terdalam mempresentasikan daerah dengan nilai fitness yang paling baik.



**Gambar 2.17** Membangkitkan Perturbasi DE

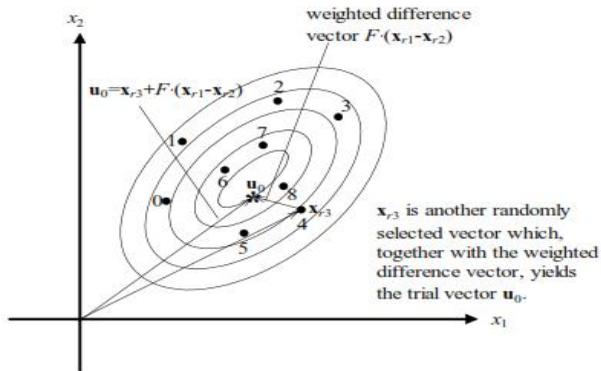
### 2.4.2 Mutasi

Pada tahap ini akan dibentuk populasi yang berisi *mutant vector*. Pembentukan ini dilakukan dengan mengkombinasi perbedaan vektor (*differential vector*) dari vektor satu dan vektor dua yang dipilih secara acak pada vektor ketiga. Pengkombinasian 3 perbedaan vektor ini ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$v_{i,g} = x_{r0} + F \times (x_{r1,g} - x_{r2,g}) \quad (2.36)$$

Persamaan diatas mempresentasikan tahap mutasi pada DEA dengan  $v_{i,g}$  vektor mutan,  $x_{r0}$ ,  $x_{r1}$ , dan  $x_{r2}$  sebagai vektor yang dipilih secara acak, serta  $F$  sebagai nilai real dengan range  $[0,1]$ . Nilai  $F$  inilah yang akan mengontrol pengaruh dari variasi differential dari  $(x_{r1,g} - x_{r2,g})$ . Gambar 2.16 yang menunjukkan ilustrasi mutasi suatu vektor pada contoh 2 dimensional.

DEA memiliki beberapa macam strategi mutasi yang digunakan untuk mencari nilai terbaik dari suatu permasalahan. Masing-masing strategi memiliki karakteristik atau pola dalam mencari nilai optimum dari permasalahan tersebut. Berikut ini merupakan jenis-jenis strategi mutasi yang sering digunakan pada DE.



Gambar 2.18 Mutasi dalam DE

Tabel 2.3 Jenis strategi mutasi DE

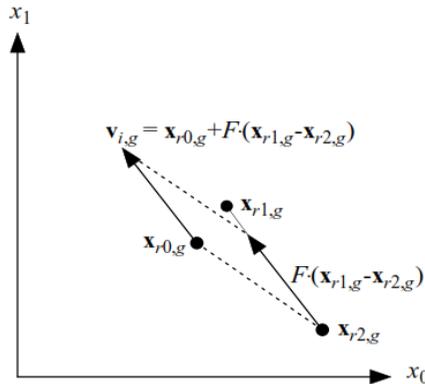
Strategy	Variant
Rand/1	$v_{i,g} = x_{r0,g} + F \times (x_{r1,g} - x_{r2,g})$

Best/1	$v_{i,g} = x_{best} + F \times (x_{r0,g} - x_{r1,g})$
Rand/2	$v_{i,g} = x_{r0,g} + F \times (x_{r1,g} - x_{r2,g} + x_{r3,g} - x_{r4,g})$
Best/2	$v_{i,g} = x_{best} + F \times (x_{r0,g} - x_{r1,g} + x_{r2,g} - x_{r3,g})$
Current-to-rand/1	$v_{i,g} = x_{i,g} + K \times (x_{r2,g} - x_{i,g}) + F(x_{r0,g} - x_{r1,g})$
Current-to-best/1	$v_{i,g} = x_{i,g} + K \times (x_{best} - x_{i,g}) + F(x_{r0,g} - x_{r1,g})$
Rand-to-best/1	$v_{i,g} = x_{r2,g} + K \times (x_{best} - x_{r2,g}) + F(x_{r0,g} - x_{r1,g})$

### 2.4.3 Crossover

Tahap *crossover* adalah tahap dimana hasil akhirnya adalah sebuah populasi yang berisi *trial vector*. Populasi ini didapatkan dari hasil *crossover* antara populasi vektor awal dengan populasi vektor mutan.

$$u_{i,g} = u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g} & \text{if } (\text{rand}_j(0,1) \leq Cr \text{ or } j = j_{rand}) \\ x_{j,i,g} & \text{yang lain} \end{cases} \quad (2.37)$$



**Gambar 2.19** Perbedaan dua vektor ditambahkan pada vektor awal

Probabilitas *crossover*,  $Cr$  dengan range  $[0,1]$ , adalah nilai yang ditentukan oleh pengguna untuk mengontrol pembagian nilai parameter yang digandakan dari *mutant*.  $Rand_j(0,1)$  adalah nilai random yang menentukan apakah *vector* tersebut di-*crossover* atau tidak. Jika nilai  $rand_j(0,1)$  suatu *vector* adalah kurang dari  $Cr$ , maka nilai *vector* yang akan digandakan pada *trial vector* adalah *mutant vector*. Jika yang terjadi adalah sebaliknya, maka nilai *vector* yang akan digandakan pada *trial vector* adalah vektor awal. Selain itu, *trial* parameter dengan indeks yang dipilih secara acak,  $jrand$ , diperoleh dari *mutant* untuk memastikan bahwa *trial vector* tidak menduplikat  $x_{i,g}$ . Karena kebutuhan tambahan ini,  $Cr$  hanya mendekati probabilitas yang tepat,  $P_{cr}$ , yang *trial* parameter-nya didapatkan dari *mutant*.

#### 2.4.4 Seleksi

Jika *trial* vektor,  $u_{i,g}$ , mempunyai nilai fungsi tujuan yang lebih kecil dari fungsi tujuan vektor targetnya,  $x_{i,g}$  maka  $u_{i,g}$  akan menggantikan posisi  $x_{i,g}$  dalam populasi pada generasi berikutnya. Jika terjadi sebaliknya, vektor target akan tetap pada posisinya dalam populasi.

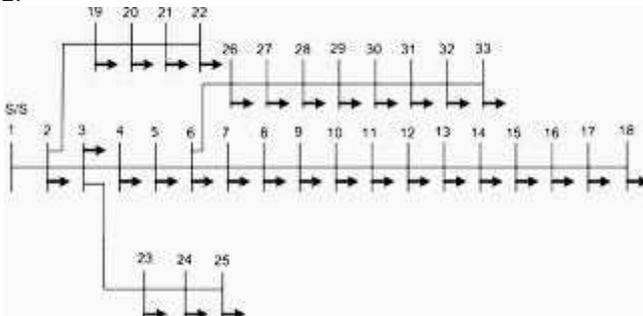
$$x_{i,g} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{j,i,g} & \text{yang lain} \end{cases} \quad (2.38)$$

# BAB III

## PEMODELAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* PADA PROSES PENEMPATAN *DISTRIBUTED GENERATION*

### 3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus

Sistem yang digunakan adalah sistem distribusi yang terdiri dari 33 bus dan semuanya adalah bus beban kecuali bus 1 yang merupakan *slack bus* yang digunakan sebagai referensi. *Single line diagram* sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat dilihat pada gambar 3.1. Sedangkan data saluran dan data beban diperlihatkan pada tabel 3.1 dan 3.2.



**Gambar 3.1** *Single Line diagram* sistem distribusi radial IEEE 33 bus

Penyelesaian analisa aliran daya dilakukan menggunakan metode  $Z_{BR}$  dengan parameter sebagai berikut :

1. Base tegangan = 12.66 kV
2. Base daya = 100 MVA
3. Akurasi = 0.000001

**Tabel 3.1** Data Impedansi Saluran Sistem Distribusi IEEE 33BUS

Bus Asal	Bus Tujuan	R(Om)	X(Ohm)
1	2	0.0922	0.0470
2	3	0.4930	0.2511
3	4	0.3660	0.1864
4	5	0.3811	0.1941
5	6	0.8190	0.7070
6	7	0.1872	0.6188

7	8	0.7114	0.2351
8	9	1.0300	0.7400
9	10	1.0440	0.7400
10	11	0.1966	0.0650
11	12	0.3744	0.1238
12	13	1.4680	1.1550
13	14	0.5416	0.7129
14	15	0.5910	0.5260
15	16	0.7463	0.5450
16	17	1.2890	1.7210
17	18	0.7320	0.5740
2	19	0.1640	0.1565
19	20	1.5042	1.3554
20	21	0.4095	0.4784
21	22	0.7089	0.9373
3	23	0.4512	0.3083
23	24	0.8980	0.7091
24	25	0.8960	0.7011
6	26	0.2030	0.1034
26	27	0.2842	0.1447
27	28	1.0590	0.9337
28	29	0.8042	0.7006
29	30	0.5075	0.2585
30	31	0.9744	0.9630
31	32	0.3105	0.3619
32	33	0.3410	0.5302

**Tabel 3.2** Data Beban Sistem Distribusi IEEE 33 BUS

Nomor Bus	Beban Aktif (kW)	Beban Reaktif (kVar)
1	0	0
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	20	100

8	20	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	20	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40
<b>Total</b>	<b>3715</b>	<b>2300</b>

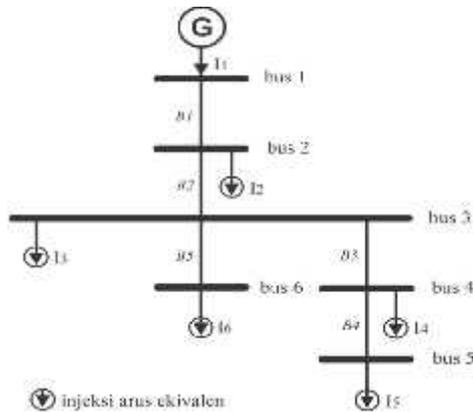
### 3.2 Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi

Dalam analisis aliran daya pada sistem distribusi menggunakan metode *forward-backward*, terdapat beberapa pengembangan metode yang telah dilakukan untuk menambah keakuratan, kemudahan dan kecepatan perhitungan. Salah satu metode yang digunakan adalah metode  $Z_{BR}$ .

#### 3.2.1 Metode $Z_{BR}$

Metode  $Z_{BR}$  adalah metode yang digunakan untuk membentuk persamaan aliran daya dengan menyusun impedansi saluran distribusi

radial dalam suatu matrik untuk menghitung *drop* tegangan. Sebelum membentuk matrik  $Z_{BR}$ , digunakan metode *network topology* untuk mendapatkan persamaan analisis aliran daya. Salah satu contoh pembentukan persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.2** *Single Line Diagram* dengan Metode *Network Topology*

Sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber pada *infinite bus* menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (3.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (3.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (3.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.5)$$

Persamaan injeksi arus ke bus di atas dapat diringkas perhitungannya dengan menggunakan matrik *BIBC* (*Bus Injection to Branch Current*).

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

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.6)$$

Nilai *drop* tegangan berdasarkan jalur injeksi arusnya dapat dibentuk melalui persamaan sebagai berikut :

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12}$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34}$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45}$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36}$$

Maka *drop* tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.7)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \quad (3.8)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \quad (3.9)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \quad (3.10)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_5 \cdot Z_{36} \quad (3.11)$$

Persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

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

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.12)$$

Matrik  $Z_{BR}$  merupakan matrik yang merepresentasikan impedansi saluran satu fasa yang dibentuk dengan menelusuri jalur arus mengalir ke beban dan dikonversikan kedalam matrik sesuai dengan nilai impedansi.

Nilai total rugi daya aktif pada sistem distribusi adalah :

$$P_{TL} = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i \quad (3.13)$$

$n$  = Jumlah cabang saluran pada sistem distribusi

$I_i$  = Nilai magnitude arus

$R_i$  = Resistansi

### 3.3 Algoritma *Differential Evolution* pada Proses Optimasi Penempatan dan Kapasitas DG

Pada tugas akhir ini, dilakukan penentuan letak dan kapasitas optimal DG pada sistem distribusi radial IEEE 33 bus untuk meminimalisasi rugi daya aktif pada sistem. Pengolahan data dan simulasi dikerjakan dengan menggunakan software MATLAB 7.8. Langkah awal untuk optimal kapasitas dari DG pada semua titik ditentukan sebagai kasus dasar dan salah satu paling terbaik dipilih berdasarkan *maximum loss saving*. Proses ini diulangi jika lokasi multiple DG dibutuhkan dengan mengubah sistem dasar dengan memasukkan unit DG pada sistem satu persatu.

Unit DG yang memiliki nilai Ploss sistem terendah menjadi kandidat untuk lokasi penempatan DG. Ketika telah ditemukan bus yang optimal untuk peletakan DG, powerflow akan menghitung nilai rugi daya dan tegangan yang baru.

Perumusan matematika masalah optimasi untuk aplikasi unit DG adalah ditunjukkan sebagai berikut :

1. Fungsi obyektif yang digunakan untuk penentuan letak dan kapasitas DG terpasang adalah :

$$Obj. Function = \min \sum_{i=1}^n P_{loss}$$

Ploss adalah total kerugian daya aktif pada sistem.

$$Ploss = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i$$

$I_i$  = Magnitud arus

$R_i$  = Resistansi

2. Batasan tegangan yang diijinkan berada pada  $\pm 5\%$  tegangan nominal

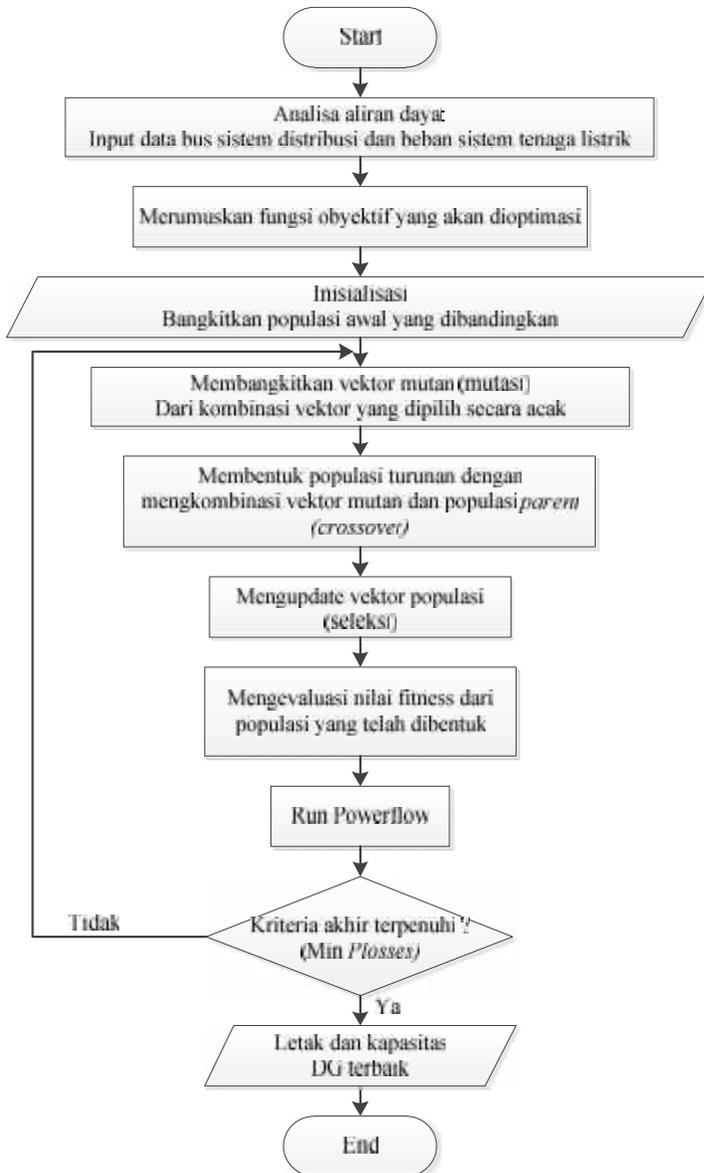
$$V_{min} \leq V_i \leq V_{maks} \quad \text{untuk } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$i$  = nomor bus

$V_{min}$  = 0.95 pu

$V_{maks}$  = 1.05 pu

3.  $P_{DG} \min$   $P_{DG}$   $P_{DG} \max$



**Gambar 3.3** Flowchart implementasi Algoritma DE untuk optimasi DG

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Simulasi Aliran Daya

Pada tugas akhir ini menggunakan plant jaringan distribusi radial IEEE 33 bus. Untuk mengetahui kondisi awal dari sistem distribusi 33 bus maka sebelum pemasangan DG dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui nilai total rugi daya sistem menggunakan metode  $Z_{BR}$ . Hasil rugi daya tersebut akan dioptimasi dan dibandingkan dengan simulasi aliran daya setelah dilakukan pemasangan DG pada sistem dan menghitung nilai tegangan dan total rugi daya yang baru.

Total beban pada sistem distribusi IEEE 33 adalah 3715 kW dan 2300 kVar. Hasil simulasi aliran daya sebelum pemasangan DG ditunjukkan pada tabel 4.1. Penyelesaian analisa aliran daya dilakukan menggunakan metode  $Z_{BR}$  dengan parameter sebagai berikut :

1. Base tegangan = 12.66 kV
2. Base daya = 100MVA
3. Akurasi = 0.000001

**Tabel 4.1** Aliran Daya Sebelum Pemasangan DG

No. Bus	Nilai Tegangan (p.u)	Data Beban	
		Beban Aktif (kW)	Beban Reaktif (kVar)
1	1.0000	0	0
2	0.9970	100	60
3	0.9829	90	40
4	0.9755	120	80
5	0.9681	60	30
6	0.9497	60	20
7	0.9462	20	100
8	0.9413	20	100
9	0.9351	60	20
10	0.9292	60	20
11	0.9284	45	30
12	0.9269	60	35
13	0.9208	60	35
14	0.9185	120	80
15	0.9171	60	10

16	0.9157	60	20
17	0.9137	60	20
18	0.9131	90	40
19	0.9965	90	40
20	0.9929	90	40
21	0.9922	90	40
22	0.9916	90	40
23	0.9794	90	50
24	0.9727	420	200
25	0.9694	420	200
26	0.9477	60	25
27	0.9452	60	25
28	0.9337	60	20
29	0.9255	120	70
30	0.9220	20	600
31	0.9178	150	70
32	0.9169	210	100
33	0.9166	60	40
	<b>Total</b>	<b>3715</b>	<b>2300</b>

Tegangan terendah= 0.9131 p.u

**Tabel 4.2 Kerugian Tiap Bus Sebelum Pemasangan DG**

No. Bus	Kerugian Daya	
	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVar)
1	14.1510	7.2137
2	14.1510	7.2137
3	58.8533	29.9758
4	21.2009	10.7974
5	19.8725	10.1214
6	40.4155	34.8886
7	2.4957	8.2496
8	6.3318	2.0925
9	5.5050	3.9550
10	4.6440	3.2917
11	0.7136	0.2359
12	1.1495	0.3801
13	3.5172	2.7673

14	0.9759	1.2846
15	0.5121	0.4558
16	0.3915	0.2859
17	0.3453	0.4610
18	0.0706	0.0553
19	0.2152	0.2054
20	1.1123	1.0023
21	0.1347	0.1573
22	0.0583	0.0771
23	4.1297	2.8218
24	6.7151	5.3025
25	1.6802	1.3147
26	2.0445	1.0414
27	2.5122	1.2791
28	8.1376	7.1748
29	5.3054	4.6219
30	2.3609	1.2025
31	2.0574	2.0333
32	0.2712	0.3161
33	0.0147	0.0229
<b>Total</b>	<b>217.8946</b>	<b>145.0846</b>

Dari hasil simulasi aliran daya sebelum pemasangan DG pada sistem distribusi 33 bus terlihat bahwa masih terdapat beberapa bus yang nilai tegangannya masih dibawah nilai kontrain. Pada sistem tersebut bus 18 memiliki tegangan terendah yaitu 0.9131 p.u. Pada tabel 4.2 ditunjukkan nilai rugi daya aktif dan reaktif saluran sistem distribusi sebelum pemasangan DG. Didapatkan total rugi daya aktif sebesar 217.8946 kW dan rugi daya reaktif sebesar 145.0846 kVar.

#### **4.2 Simulasi Optimasi Peletakan dan Kapasitas *Distributed Generation* Menggunakan Metode *Differential Evolution***

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.3 yang telah dijelaskan pada bab 3. Metode *Differential Evolution* digunakan untuk mencari peletakan dan kapasitas DG yang optimal pada sistem IEEE 33 bus. Untuk peletakan DG dipilih secara random antara bus 2 sampai bus 33. Begitu juga dengan mencari kapasitas dari DG ditentukan antara range 0 – 3.72 MW. Hasil yang terbaik dari penentuan peletakan dan

kapasitas DG adalah apabila memiliki minimal Ploss yang terendah dan dapat menaikkan nilai tegangan pada semua bus termasuk pada konstrain tegangan yaitu antara 0.95-1.05 p.u.

Untuk peletakan lokasi multiple DG dengan memasang DG satu per satu, proses ini diulang-ulang sehingga didapatkan minimum rugi daya pada sistem. Pada kasus I diletakkan hanya 1 DG. Pada kasus II diletakkan 2 DG, kasus III terdapat 3 DG dan yang terakhir kasus IV diletakkan 4 DG. Dari keempat kasus tersebut ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 4.3** Hasil Optimasi Peletakan dan Kapasitas Setiap DG

Unit DG	Lokasi Bus	Kapasitas DG (MW)	Total Kapasitas DG (MW)
I	8	1.5604	1.5604
II	8	1.1870	2.84
	28	1.6532	
III	8	0.8680	3.08
	28	1.4200	
	14	0.7946	
IV	8	0.7310	3.14
	28	1.5036	
	14	0.5766	
	6	0.3291	

**Tabel 4.4** Hasil Pengurangan Rugi Daya Aktif

Kasus	Rugi daya setelah peletakan DG (kW)	Rugi daya sebelum peletakan DG (kW)	Saving Losses (kW)
I	80.70	217.89	137.19
II	58.92		158.97
III	50.65		167.24
IV	48.80		169.09

Dari data yang didapatkan diatas pada tabel 4.3 menunjukkan nilai pembangkitan dari setiap penambahan DG satu per satu pada sistem distribusi 33 bus. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan nilai rugi

daya aktif sebelum dan setelah peletakan DG sehingga dengan adanya penambahan DG pada sistem distribusi didapatkan nilai *saving losses* yang semakin tinggi juga. Pada kasus VI didapatkan *saving losses* yang tertinggi yaitu 169.09 kW dengan memasang 4 unit DG pada sistem jaringan distribusi IEEE 33 bus. Sehingga dari data tersebut peletakkan 4 DG digunakan karena menunjukkan nilai reliability dan kualitas daya yang lebih bagus. Pada tugas akhir ini digunakan 4 unit DG yang peletakkannya pada bus 8, 28, 14, dan 6 dengan total kapasitas DG adalah 3.14 MW. Sehingga dapat memperbaiki profile tegangan memenuhi range konstrain tegangan yang telah ditentukan.

**Tabel 4.5** Perbandingan Nilai Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pemasangan 4 Unit DG

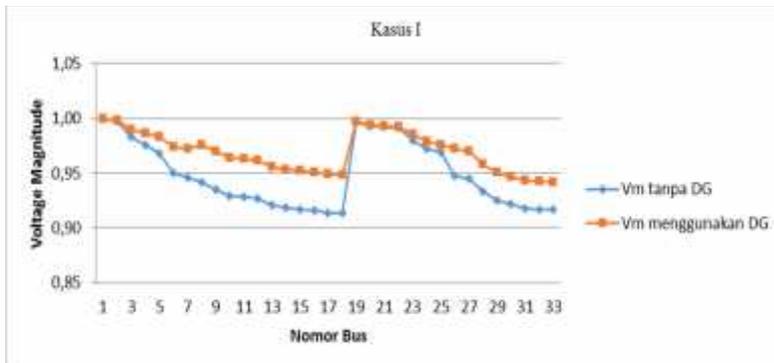
No Bus	Rugi Daya Aktif (kW)		Rugi Daya Reaktif (kVar)	
	Sebelum pemasangan DG	Setelah pemasangan DG	Sebelum pemasangan DG	Setelah pemasangan DG
1	14.1510	0.4101	7.2137	0.2091
2	14.1510	0.4101	7.2137	0.2091
3	58.8533	0.2073	29.9758	0.1056
4	21.2009	2.5411	10.7974	1.2942
5	19.8725	3.4744	10.1214	1.7696
6	40.4155	8.4476	34.8886	7.2924
7	2.4957	0.0853	8.2496	0.2820
8	6.3318	1.2432	2.0925	0.4109
9	5.5050	0.1307	3.9550	0.0939
10	4.6440	0.0277	3.2917	0.0196
11	0.7136	0.0002	0.2359	0.0001
12	1.1495	0.0119	0.3801	0.0039
13	3.5172	0.2055	2.7673	0.1617
14	0.9759	0.1761	1.2846	0.2319
15	0.5121	0.4546	0.4558	0.4046
16	0.3915	0.3490	0.2859	0.2549
17	0.3453	0.3084	0.4610	0.4117
18	0.0706	0.0633	0.0553	0.0496
19	0.2152	0.2146	0.2054	0.2048
20	1.1123	1.1090	1.0023	0.9993
21	0.1347	0.1343	0.1573	0.1568
22	0.0583	0.0581	0.0771	0.0769
23	4.1297	4.0510	2.8218	2.7680
24	6.7151	6.5863	5.3025	5.2008

25	1.6802	1.6478	1.3147	1.2894
26	2.0445	1.5121	1.0414	0.7702
27	2.5122	2.4272	1.2791	1.2358
28	8.1376	10.2798	7.1748	9.0635
29	5.3054	1.7049	4.6219	1.4853
30	2.3609	0.5731	1.2025	0.2919
31	2.0574	0.1037	2.0333	0.1025
32	0.2712	0.0085	0.3161	0.0099
33	0.0147	0.2489	0.0229	0.3870
<b>Total</b>	<b>217.8946</b>	<b>48.80</b>	<b>145.0846</b>	<b>37.0376</b>

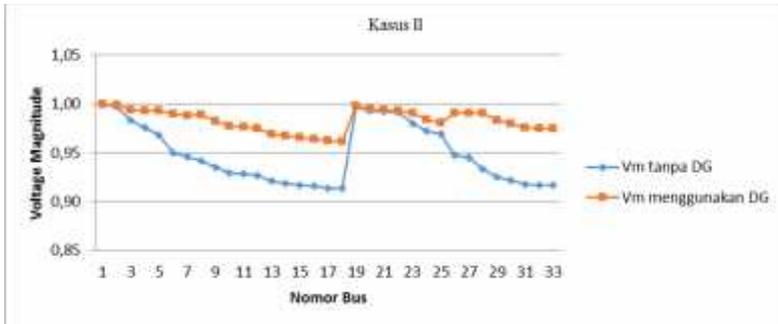
**Tabel 4.6** Perbandingan Perbaikan Profil Tegangan

Kasus	Nilai Tegangan Minimum	Persentase Perbaikan Profil Tegangan (%)
Sebelum peletakan DG	0.913	
I	0.9418	3.05
II	0.9619	5.08
III	0.9760	6.45
IV	0.9776	6.60

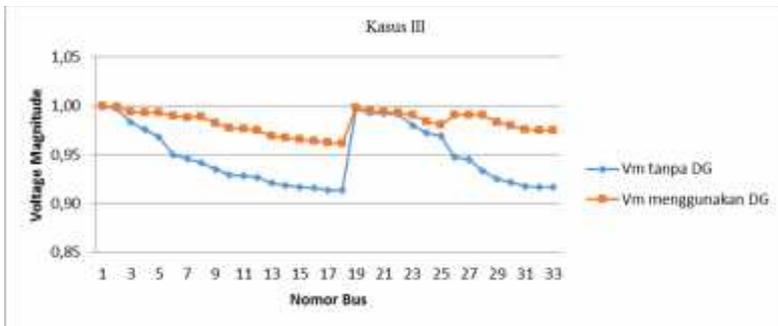
Perbaikan nilai profil tegangan sebelum dan setelah peletakan DG jaringan distribusi IEEE 33 BUS pada semua kasus dengan menambahkan unit DG satu per satu, ditunjukkan pada gambar berikut :



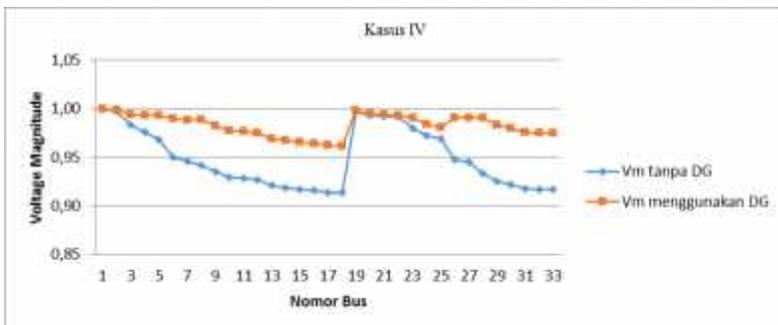
(a)



(b)



(c)



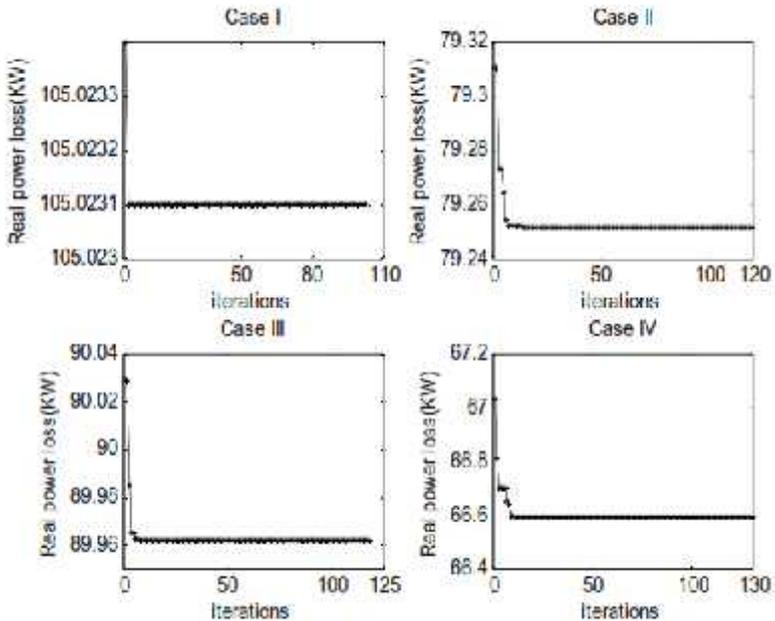
(d)

**Gambar 4.1** Perbandingan Perbaikan Profil Tegangan. (a) Kasus I (b) Kasus II (c) Kasus III (d) Kasus IV

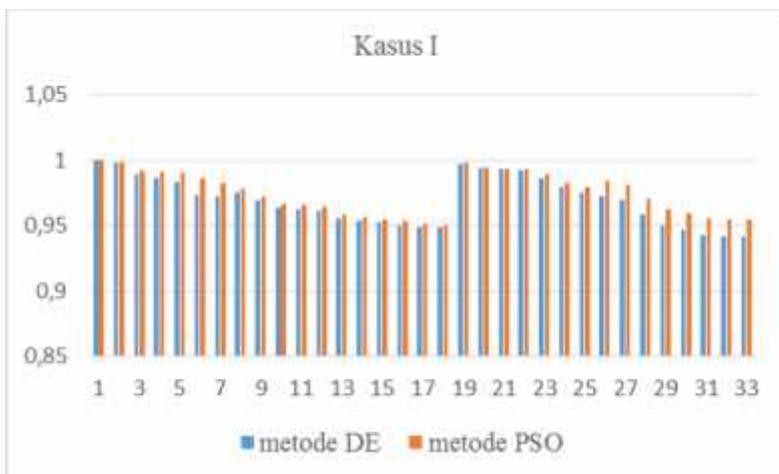
### 4.3 Perbandingan dengan Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*[13]

Tabel 4.7 Perbandingan Optimasi Menggunakan Metode DE dengan Metode PSO

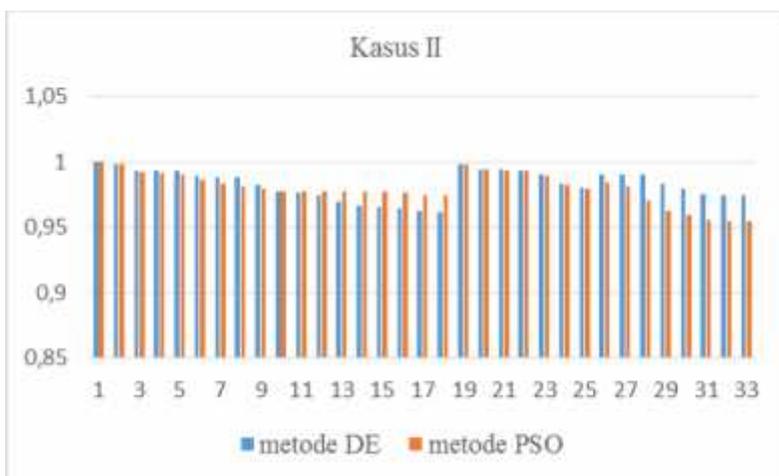
Kasus	Metode DE		Metode PSO	
	Rugi Daya Setelah Peletakan DG (kW)	Saving Losses (kW)	Rugi Daya Setelah Peletakan DG (kW)	Saving Losses (kW)
I	80.70	137.19	105.0231	98.8857
II	58.92	158.97	89.9619	113.9469
III	50.65	167.24	79.2526	124.6562
IV	48.80	169.09	66.5892	137.3196



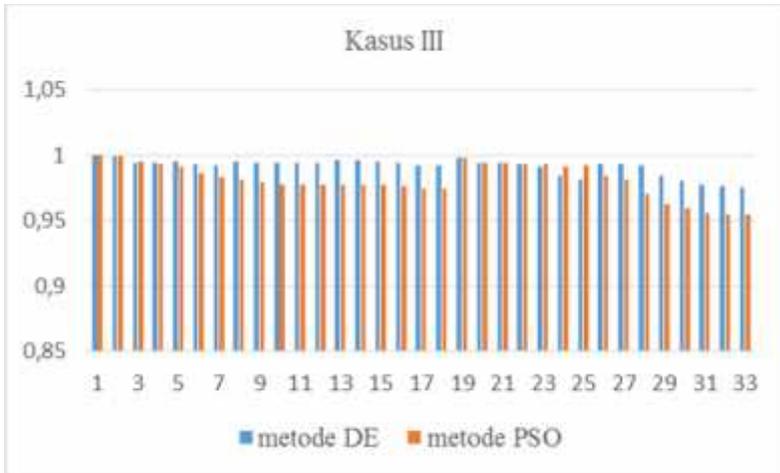
Gambar 4.2 Karakteristik Konvergen Menggunakan Metode PSO



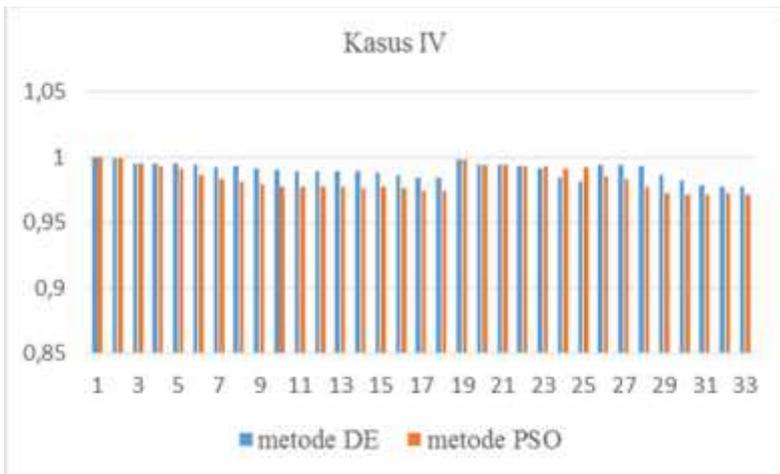
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.3** Perbandingan Profil Tegangan Metode DE dengan Metode PSO. (a)Kasus I (b)Kasus II (c)Kasus III (d)Kasus IV

Pada tabel 4.7 menunjukkan perbandingan hasil optimasi nilai rugi daya aktif total sistem distribusi IEEE 33 BUS yang dikerjakan menggunakan metode DE dan metode PSO. Dapat dilihat dari tabel tersebut dengan menggunakan metode DE dapat menghasilkan saving losses yang lebih besar dari metode PSO. Sehingga dengan metode DE hasil yang diperoleh lebih maksimal untuk tujuan meminimalkan rugi daya aktif pada sistem jaringan radial 33 BUS.

Untuk perbandingan nilai tegangan hasil optimasi menggunakan metode DE dengan metode PSO ditunjukkan pada gambar 4.3 dimana dari grafik tersebut menggunakan metode DE dapat memperbaiki nilai profil tegangan lebih baik.

Sehingga dapat disimpulkan metode algoritma DE memiliki kualitas solusi lebih baik untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Dapat dilihat dari data yang diperoleh pada tabel 4.7 dan pada gambar 4.3 metode DE mampu menyelesaikan permasalahan kompleks dari sistem tenaga listrik dengan lebih baik dengan cara pendekatan komputasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode differential evolution digunakan untuk menentukan optimal peletakan dan kapasitas dari *distributed generation*
2. Jumlah DG yang digunakan pada sistem sebanyak 4 buah unit DG dimana ditempatkan pada bus 8, 28, 14, 6 dan kapasitas dari masing-masing DG dapat dilihat pada tabel 4.3
3. Pada performansi aliran daya sebelum pemasangan DG terdapat beberapa bus kritis dengan nilai tegangan minimalnya 0.913 p.u
4. Pada performansi aliran daya setelah pemasangan DG terjadi kenaikan nilai tegangan dimana nilai tegangan pada semua bus masuk pada konstrain tegangan yang telah ditentukan. Pada simulasi ini tegangan minimalnya untuk peletakan 4 DG adalah 0.9776 p.u.
5. Nilai rugi daya aktif pada sebelum pemasangan DG dengan sesudah pemasangan DG mengalami penurunan dengan ditambakkannya DG pada sistem. Nilai rugi daya aktif sebelum pemasangan DG adalah 217.8946 kW dan rugi daya aktif setelah pemasangan DG adalah 48.80 kW.
6. Dari perubahan nilai rugi daya aktif tersebut maka loss saving yang dihasilkan dari optimasi peletakan dan kapasitas DG menggunakan metode *Differential evolution* ini cukup besar yaitu 169.09 kW .
7. Dengan mengaplikasikan unit DG pada sebuah sistem distribusi dapat memperbaiki reabilitas dan kualitas daya pada sistem tersebut. Dan juga dapat meminimalkan rugi daya.

#### **5.2 SARAN**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan simulasi ini adalah sebagai berikut :

1. Memperhitungkan faktor ekonomis seperti biaya pemasangan DG
2. Memperhitungkan tipe beban yang digunakan pada sistem

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ni Ketut Aryani, “*Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation using Quantum Genetic Algorithm for Reducing Losses and Improving Voltage Profile*”, IEEE 2012.
- [2] Achmad Budiman, *Breeder Genetic Algorithm Multiobjective for Sizing and Placement of Distributed Generator*.
- [3] Pavlos S. Georgilakis, Nikos D. Hatziaargyriou, “*Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research*”, IEEE Transactions On Power Systems, VOL/28, NO.3, August 2013.
- [4] Hatono BS, Budiyanto, Rudy Setiabudy, “*Review of Microgrid Technology*”, IEEE 2013.
- [5] Israfil Hussain, Anjan Kumar Roy, “*Optimal Size and Location of Distributed Generations using Differential Evolution (DE)*”, IEEE 2012.
- [6] Ahmad Zakaria H, “*Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal Distributed Generator (DG) Menggunakan Artificial Bee Colony*, Tugas Akhir, 2012”
- [7] Kenneth V. Price., Rainer M. Storn., Jouni A. Lampinen., “(e-book) *Differential Evolution - A Practical Approach to Global Optimization.*” 2005
- [8] Penangsang Ontoseno, “*Analisis Aliran Daya*”, ITS Press, Surabaya, 2012
- [9] Priambodo Pungki, “*Analisis Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang Menggunakan Metode K-matrik dan  $Z_{BR}$  pada Sistem Distribusi 20kV kota Surabaya*” Tugas Akhir Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2013
- [10] Syaiin Matt, “*Handout Power Flow Analysis*”, PPNS-ITS, Surabaya, 2013.
- [11] Jen-Hao TENG, “*A Network-Topology-based Three Phase Load Flow for Distribution Systems*”, Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A) Vol.24, No.4, 2000.pp.259-264
- [12] M.Padma Lalitha, V.C. Veera Reddy, V Usha, “*Optimal DG Placement For Minimum Real Power Loss in Radial Distribution Systems Using PSO*”, JATIT 2010.
- [13] Budi Santosa, Paul Willy, “*Metoda Metaheuristik. Konsep dan Implementasi*”, ITS, Surabaya, 2011.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP



Yustika Umi Fariyah dilahirkan di Surabaya, 29 Januari 1992 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh :

SD Khadijah Surabaya	1997 – 2003
SMP Khadijah Surabaya	2003 – 2006
SMA Negeri 6 Surabaya	2006 – 2009
PENS – ITS	2009 – 2012

Setelah lulus dari PENS – ITS Jurusan D3 Teknik Elektro Industri pada tahun 2012, penulis melanjutkan studinya ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga program Lintas Jalur Angkatan 2012 – Genap. Alamat email yang bisa dihubungi [yustikaumi@gmail.com](mailto:yustikaumi@gmail.com).