



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI KOORDINASI KONTROL TEGANGAN PADA *ON LOAD TAP CHANGER (OLTC) TRANSFORMATOR* DENGAN PEMANFAATAN SUPLAI DARI *DISTRIBUTED GENERATOR (DG)* PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH**

Aji Istanto Rambono  
NRP 2215105020

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dedet Candra Riawan, .ST.,M.Eng.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TE 141599

**OPTIMASI KOORDINASI KONTROL TEGANGAN PADA *ON LOAD TAP CHANGER* (OLTC) *TRANSFORMATOR* DENGAN PEMANFAATAN SUPLAI DARI *DISTRIBUTED GENERATOR* (DG) PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH**

Aji Istanto Rambono  
NRP 2215105020

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dedet Candra Riawan, .ST.,M.Eng.,Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT - TE 141599

***OPTIMIZATION COORDINATION VOLTAGE CONTROL  
STRATEGY FOR ON LOAD TAP CHANGER (OLTC)  
TRANSFORMER WITH UTILISATION OF DISTRIBUTED  
GENERATOR (DG) ON MIDDLE VOLTAGE OF  
DISTRIBUTION NETWORK***

Aji Istanto Rambono  
NRP 2215105020

Supervisors  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Detet Candra Riawan, .ST., M.Eng., Ph.D

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industry Technology  
Institute Of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Optimasi Koordinasi Kontrol Tegangan Pada *On Load Tap Changer (OLTC) Transformer Dengan Pemanfaatan Suplai Dari *Distributed Generator (DG)* Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah”*** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017  
Aji Istanto Rambono  
2215105020

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMASI KOORDINASI KONTROL TEGANGAN PADA ON  
LOAD TAP CHANGER (OLTC) TRANSFORMER DENGAN  
PEMANFAATAN SUPLAI DARI DISTRIBUTED GENERATOR  
(DG) PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN  
MENENGAH**

**TUGAS AKHIR**

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Adi Soepriyanto, MT.  
NIP. 19640405 199002 1 001

Dedet C. Riawan, ST., M. Eng., Ph.D  
NIP. 19731119 200003 1 001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMASI KOORDINASI KONTROL TEGANGAN  
PADA *ON LOAD TAP CHANGER* (OLTC)  
*TRANSFORMER* DENGAN PEMANFAATAN SUPLAI  
DARI *DISTRIBUTED GENERATOR* (DG) PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH**

Nama : Aji Istanto Rambono  
NRP : 2215105020  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Dosen Pembimbing 2 : Dedet C. Riawan, .ST.,M.Eng.,Ph.D

**ABSTRAK**

Berkembang sistem tenaga listrik, sistem distribusi akan menjadi semakin luas. Kondisi ini menimbulkan permasalahan yang lebih kompleks dan masalah yang sering ditemui adalah rugi daya yang tinggi dan tegangan yang buruk. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memasang *Distributed Generation* (DG) pada lokasi yang tepat dan koordinasi *On Load Tap Changer* (OLTC). Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) metode optimasi yang mampu mengoptimasi permasalahan diskrit seperti permasalahan pada tugas akhir ini. Proses optimasi diujikan pada sistem IEEE 33 bus dengan modifikasi beban. beban bernilai 1,5 kali lebih besar dari kondisi awal. Untuk memperoleh hasil yang optimal proses optimasi ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu: sistem dasar, penentuan lokasi DG, penentuan lokasi transformer, penentuan koordinasi level OLTC. Pada kasus sistem dasar di dapatkan total rugi daya sistem sebesar 499.2295 kW dengan tegangan maksimal sebesar 12.66 kV dan minimal sebesar 10.9172 kV. Setelah di lakukan optimasi penentuan lokasi DG didapatkan hasil optimal dengan penambahan 3 DG dengan total rugi daya sebesar 60.9894 kW dengan tegangan maksimal sebesar 13.3680 kV dan tegangan minimal sebesar 12.1713 kV hal ini menandakan tegangan setelah di beri DG menjadi *overvoltage* sehingga dengan koordinasi OLTC diharapkan mampu menjadi solusi hal ini terbukti dengan optimasi koordinasi OLTC didapatkan nilai rugi daya sebesar 59.8096 kW dan tegangan maksimal sebesar 13.2370 kV dan tegangan minimal 12.6461 kV kV.

**Kata Kunci : Penempatan DG, Koordinasi OLTC, Sistem Distribusi, Binary Particle Swarm Optimization (BPSO).**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMIZATION COORDINATION VOLTAGE  
CONTROL STRATEGY FOR ON LOAD TAP  
CHANGER (OLTC) TRANSFORMER WITH  
UTILISATION OF DISTRIBUTED GENERATOR (DG)  
ON MIDDLE VOLTAGE OF DISTRIBUTION  
NETWORK**

Name : Aji Istanto Rambono  
ID : 2215105020  
Supervisor 1 : Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
Supervisor 2 : Dedet C. Riawan, .ST.,M.Eng.,Ph.D

**ABSTRACT**

*In the development of electric power systems, electrical distribution systems become increasingly extensive and complex. The system problem losses that occur on the system becomes greater and drop voltage. To overcome this, the common way is the provision of Distributed Generation (DG) and coordination On Load Tap Changer (OLTC). To solve such problems, Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) method is proposed to solve discrete problem. The optimization was tested on the IEEE 33 bus system load modification. Load is 1.5 bigger than the initial condition. To obtain the optimal result. The optimization process in this final project divided into 4 case included : a base system , optimal location of DG, optimal location of OLTC and coordination of OLTC. The first in a base system generates power losses a mounted to 499,2295 kW with a maximum voltage 12.66 kV and a minimum voltage 10.9172 kV. After the optimization of DG location determination obtained optimal results with the add 3 DG to system generates a total losses a mounted to 60.9894 kW with a maximum voltage 13.3680 kV and a minimum voltage of 12.1713 kV this indicates the voltage after injection DG to be overvoltage so that the coordination OLTC is expected to be This solution is proven by the coordination of OLTC optimization obtained the value of power loss of 59.8096 kW and maximum voltage of 13.2370 kV and a minimum voltage of 12.6461 kV kV.*

**Keywords : DG Placement, OLTC Coordination, Distribution System, Binary Particle Swarm Optimization (BPSO).**

*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 Koordinasi Kontrol Tegangan Pada On Load Tap Changer (OLTC) Transformer Dengan Pemanfaatan Suplai Dari Distributed Generator (DG) Pada Jaringan Distribusi Tegangan Menengah”**.

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

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT Dan Dedet C. Riawan,.ST., M.Eng.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ibu, Ayah dan Adik penulis di rumah yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat kepada penulis baik dalam keadaan senang ataupun susah.
4. Teman-teman asisten dan member lab PSSL B103 yang telah menciptakan dan memberikan dukungan, penjelasan, dan juga suasana kondusif dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Suyanto, ST. MT dan Dimas Fajar Uman Putra, ST. MT. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, serta nasihat selama penulis melaksanakan studi.
6. Teman - teman seangkatan Lintas Jalur 2015 yang menjadi partner diskusi dan bimbingan selama satu semester penyelesaian tugas akhir ini.
7. Teman – teman diploma 3 ITS yang selalu memberi dukungan dan motivasi
8. Teman – teman seangkatan LJ dari EI kerjasama Disnaker- ITS 2015 yang menjadi partner diskusi selama kuliah di ITS

9. Teman – teman PLN yang turut membantu dalam sharing ilmu lapangan guna memberikan tambahan ilmu yang mendukung tugas akhir ini
10. Serta Lady Arantxa M.D yang selalu menemani dan memberi dukungan setiap mengerjakan tugas akhir

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, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>.....</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>.....</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>.....</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	2
1.4 Batasan Tugas Akhir .....	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir .....	2
1.6 Sistematika Laporan .....	4
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB II PERMODELAN SISTEM DISTRIBUSI, DISTRIBUTED GENERATION, TAP CHANGER TRANSFORMATOR, DAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (BPSO).....</b>	<b>5</b>
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	5
2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial .....	6
2.3. Aliran Daya.....	8
2.4. Kerugian Daya Saluran .....	10
2.5. Deviasi Tegangan.....	10
2.6. Undervoltage dan Overvoltage.....	11
2.7. Distributed Generation (DG).....	11
2.8. Teknologi DG yang Dapat Dikembangkan.....	13
2.9. Keuntungan Distributed Generation .....	14
2.10. <i>Distributed Generation</i> pada Jaring Distribusi Radial .....	14
2.11. <i>On Load Tap Changer</i> (OLTC) Transformator .....	16
2.12. Permodelan Tap changer Transformator .....	17
2.13. Binary Particle Swarm Optimization .....	18

<b>BAB III PENERAPAN BPSO UNTUK PELETEKAN DG DAN KOORDINASI OLTC TRANSFORMATOR .....</b>	<b>21</b>
3.1. Alur Kerja Sistem .....	21
3.2. Single Line Diagram Jaringa IEEE 33 Bus.....	23
3.2.1 Data Saluran Sistem .....	24
3.2.2 Data Pembebanan Sistem.....	25
3.3. Peletakan Trafo Menggunakan LSF dan sizing Trafo .....	26
3.4. Penerapan Binary Particle Swarm Optimization pada penentuan Lokasi DG.....	28
3.4.1. Persamaan rugi daya pada penentuan lokasi DG.....	29
3.4.2. Inisialisasi Awal BPSO untuk lokasi DG.....	30
3.4.3. Parameter – parameter BPSO untuk lokasi DG.....	30
3.4.4. Inisialisasi Populasi dan kecepatan awal partikel pada lokas DG .....	30
3.4.5. Fungsi objektif peletakan DG .....	31
3.5. Penentuan OLTC Transformator menggunakan BPSO ....	32
3.5.1. Parameter – parameter BPSO untuk OLTC .....	33
3.5.2. Inisialisasi Populasi dan kecepatan awal partikel .....	34
3.5.3. Fungsi objektif koordinasi OLTC .....	34
3.6. Batasan Constraint.....	35
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>37</b>
4.1. Base Sistem IEEE 33 Bus.....	37
4.2. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Lokasi DG.....	40
4.2.1. Hasil Simulasi BPSO Untuk Optimasi Lokasi DG.....	41
4.2.2. Analisa hasil Simulasi BPSO Untuk Optimasi Lokasi DG.....	47
4.3. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Koordinasi OLTC.....	49
4.3.1. Hasil Simulasi LSF BPSO untuk Koordinasi OLTC .....	49
4.3.2. Analisa Hasil Koordinasi .....	52
4.4. Validasi Hasil Perhitungan MATLAB dengan ETAP .....	53
4.4.1. Validasi Hasil Optimasi lokasi DG dan koordinasi OLTC .....	53
4.5. Perbandingan Metode untuk GA dan BPSO .....	53
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>55</b>
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>.....</b>
<b>RIWAYAT PENULIS.....</b>	<b>.....</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Sistem tenaga listrik.....	5
<b>Gambar 2. 2</b>	Jaringan Distribusi Radial.....	6
<b>Gambar 2. 3</b>	Jaringan distribusi radial pohon.....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Contoh single line diagram .....	8
<b>Gambar 2. 5</b>	Permodelan koneksi DG pada sistem distribusi radial....	14
<b>Gambar 2. 6</b>	Model Tap Changer.....	16
<b>Gambar 2. 7</b>	Modeling transformator .....	17
<b>Gambar 3. 1</b>	Flowchart alur sistem keseluruhan .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Single line diagram jaringan distribusi IEEE 33 Bus.....	23
<b>Gambar 3. 3</b>	Permodelan LSF .....	27
<b>Gambar 3. 4</b>	Flowchart program BPSO untuk lokasi DG .....	28
<b>Gambar 3. 5</b>	Flowchart program BPSO untuk koordinasi OLTC.....	32
<b>Gambar 4. 1</b>	Tegangan setiap bus untuk kasus A1 .....	41
<b>Gambar 4. 2</b>	Rugi daya setiap saluran untuk kasus A1 .....	42
<b>Gambar 4. 3</b>	Tegangan pada setiap bus untuk kasus A2.....	43
<b>Gambar 4. 4</b>	Rugi daya setiap saluran untuk kasus A2.....	43
<b>Gambar 4. 5</b>	Tegangan pada setiap bus untuk kasus A3 .....	44
<b>Gambar 4. 6</b>	Rugi daya setiap saluran untuk kasus A3.....	45
<b>Gambar 4. 7</b>	Tegangan pada setiap bus untu kasus A4.....	46
<b>Gambar 4. 8</b>	Kerugian daya untuk kasus A4.....	46
<b>Gambar 4. 9</b>	Perbandingan tegangan tiap kondisi .....	47
<b>Gambar 4. 10</b>	Perbandingan kerugian daya tiap kondisi.....	48
<b>Gambar 4. 11</b>	Jaringan dengan OLTC Transformator .....	50
<b>Gambar 4. 12</b>	Tegangan setiap bus setelah koordinasi OLTC .....	51
<b>Gambar 4. 13</b>	Rugi daya (losses) pada saluran setelah koordinasi OLTC.....	51
<b>Gambar 4. 14</b>	Perbandingan tegangan setiap bus dangan koordinasi OLTC dan tidak.....	52

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Distributed Generation[6] .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan[6].....	12
<b>Tabel 3. 1</b> Data saluran jaringan IEEE 33 Bus .....	24
<b>Tabel 3 .2</b> Data pembebanan jaringan distribusi IEEE 33 Bus.....	25
<b>Tabel 4. 1</b> Tegangan tiap bus pada jaringan distribusi IEEE 33 bus....	37
<b>Tabel 4. 2</b> Rugi daya Jaringan antar bus pada sistem IEEE 33 bus .....	39
<b>Tabel 4. 3</b> Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus (A1).....	41
<b>Tabel 4. 4</b> Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus A2.....	42
<b>Tabel 4. 5</b> Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus A3.....	44
<b>Tabel 4. 6</b> Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus (A4) .....	45
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan hasil simulasi untuk tegangan DG.....	48
<b>Tabel 4. 8</b> Letak OLTC transformator pada jaringan IEEE 33 Bus.....	49
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil Koordinasi OLTC .....	51
<b>Tabel 4. 10</b> Hasil validasi nilai total rugi daya setiap kasus pada sistem IEEE 33 bus .....	53
<b>Tabel 4. 11</b> Hasil Perbandingan Metode GA dan PSO.....	54

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi kebutuhan akan energi listrik akan semakin besar. Pada era saat ini energi listrik berubah menjadi salah satu kebutuhan pokok yang paling penting. Kebutuhan akan energi listrik selalu bertambah dari waktu ke waktu. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan energi listrik, maka sistem tenaga listrik haruslah terus dikembangkan seiring dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik. Dengan semakin berkembang sistem tenaga listrik, sistem distribusi akan menjadi semakin luas. Kondisi ini menimbulkan masalah – masalah yang lebih kompleks adapun masalah yang sering ditemui adalah rugi-rugi daya yang lebih tinggi dan regulasi tegangan yang buruk. Masalah ini dapat menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk sepanjang penyulang distribusi[1].

Salah satu cara meningkatkan kualitas sistem distribusi adalah dengan menjaga level tegangan di setiap bus pada keadaan normal (antara 1.05 p.u sampai dengan 0.9 p.u)[2]. Dan pemasangan unit *Distributed Generation* (DG) diharapkan mampu menjadi solusi pada sistem distribusi tersebut. Akan tetapi dengan penambahan DG menjadi permasalahan tersendiri dimana kapasitas dari DG sendiri di batasi oleh efek kenaikan tegangan[3]. Salah satu cara untuk mengurangi kenaikan tegangan dan memaksimalkan *hosting* DG adalah dengan menggunakan teknologi *On Load Tap Changer* (OLTC). Teknologi ini dapat membantu menaikkan dan menurunkan tegangan pada sistem distribusi. Umumnya mekanik dari *tap changer* ini adalah *step by step* sehingga di nilai lamban, maka dari itu perlu adanya penentuan pasti berapa level tegangan yang akan digunakan. Dalam pengoperasian DG dengan OLTC sangatlah sensitif terhadap kenaikan atau penurunan tegangan serta besar rugi daya, sehingga perlu adanya koordinasi untk penggunaan OLTC dengan mempertimbangkan penetrasi dari DG.

Pada penelitian ini *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) diharapkan mampu menjadi solusi untuk koordinasi dari DG dan OLTC. Sehingga di harapkan dengan koordinasi DG dengan OLTC Trafo dapat menyelesaikan permasalahan drop tegangan serta mengurangi besarnya rugi daya.

## 1.2 Permasalahan

Ruang lingkup permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir berupa mencari koordinasi yang optimal untuk *Distributed Generation* (DG) dan *On Load Tap Changer* (OLTC) Transformator sehingga dapat mengatasi deviasi tegangan dan kenaikan rugi daya pada jaringan yang minimal.

## 1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan yang optimal untuk *Distributed Generation* (DG) dan *On Load Tap Changer* (OLTC) Trafo sehingga mendapatkan deviasi tegangan yang masih sesuai dalam standart PLN dan rugi daya pada jaringan yang minimal.

## 1.4 Batasan Tugas Akhir

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

1. Fungsi obyektif dari optimisasi yang dilakukan adalah meminimalkan kerugian daya, meminimalkan deviasi tegangan.
2. Sistem ini menggunakan 5 Transformator yang menggunakan OLTC untuk di koordinasikan
3. Koordinasi Tapping OLTC menggunakan BPSO
4. Peletakan DG menggunakan BPSO
5. Simulasi menggunakan Matlab
6. Analisis dilakukan dalam kondisi steady state dan seimbang
7. Faktor koordinasi dan sinkronisasi antar DG dan pada sistem diabaikan
8. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.

## 1.5 Metodologi Tugas Akhir

Pada tugas akhir ini untuk memperoleh Koordinasi tegangan pada OLTC dengan mempertimbangkan penetrasi DG dengan metode BPSO ini memerlukan beberapa tahapan. Tahapan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. Studi literature :  
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti *Placement DG*, Koordinasi *OLTC* dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.

## **2. Pengumpulan data**

Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi saluran. Semua data tersebut digunakan untuk memperoleh data pengukuran sebenarnya menggunakan software matlab.

## **3. Pemodelan program**

Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program dari aliran daya optimal dengan mempertimbangkan *Distributed Generation* (DG) dan *On load Tap Changer* (OLTC). Pemodelan dimaksudkan untuk mengetahui hasil aliran daya optimal. Input berupa data saluran, data beban, data kapasitas DG, data lokasi penempatan DG, data letak OLTC, data konfigurasi jaring dan data parameter BPSO. Output digunakan untuk perancangan perangkat lunak sehingga hasilnya dapat diolah oleh Matlab dan diperoleh aliran daya optimal dengan mempertimbangkan DG dan Koordinasi OLTC untuk meminimasi kerugian daya, dan menaikkan tegangan dengan syarat sesuai dengan standart acuan yaitu PLN (+5% dan -10%).

## **4. Perancangan perangkat lunak**

Perancangan perangkat lunak untuk memperoleh aliran daya optimal dengan mempertimbangkan DG dan OLTC. Perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.

## **5. Simulasi dan analisis**

Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi radial. Simulasi terdiri dari empat kasus, yaitu: base sistem, penempatan DG, Koordinasi OLTC, aliran daya optimal. Optimasi digunakan untuk mengetahui penempatan optimal *Distributed Generation* (DG) dan mencari koordinasi optimal *On Load Tap Changer* (OLTC) untuk mendapatkan nilai kerugian daya dan tegangan pada jaringan masih dalam standart acuan yaitu PLN

## **6. Penulisan buku**

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

## 1.6 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

- Bab 1: Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batas masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2: Dasar teori yang menjelaskan teori mengenai sistem distribusi, Aliran Daya, *Distributed Generation*, *On Load Tap Changer*, *Binary Particle Swarm Optimization*
- Bab 3: Perancangan Sistem Aliran Daya Optimal dengan mempertimbangkan DG dan Koordinasi OLTC berdasarkan Metode *Binary Particle Swarm Optimization*
- Bab 4: Hasil simulasi Aliran daya Optimal dengan mempertimbangkan DG dan Koordinasi OLTC untuk meminimasi rugi saluran dan memperbaiki Profil Tegangan.
- Bab 5: Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

## 1.7 Relevansi

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

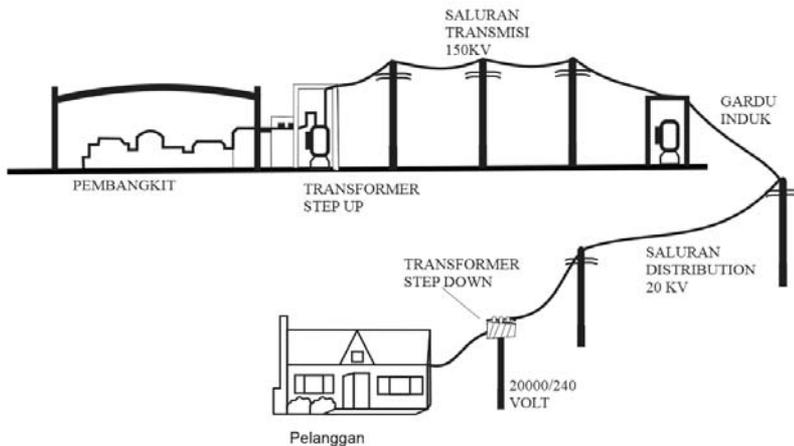
1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam *koordinasi On Load Tap Changer (OLTC)* Transformator dan peletakan *Distributed Generation (DG)*
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang sistem tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

## BAB II

### PERMODELAN SISTEM DISTRIBUSI, DISTRIBUTED GENERATION, TAP CHANGER TRANSFORMATOR, DAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (BPSO)

#### 2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada umumnya bentuk sistem tenaga listrik sesuai gambar 2.1 terbagi menjadi 3 bagian, mulai pembangkit, transmisi, sampai dengan distribusi.



**Gambar 2. 1** Sistem tenaga listrik

Untuk sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat sumber (Gardu Induk) menuju ke pusat beban (Gardu Distribusi) dalam sistem distribusi dibagi menjadi 2 sistem distribusi yaitu:

1. Distribusi Primer
2. Distribusi Sekunder

Sistem distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat sumber (Gardu Induk) ke pusat – pusat beban (Gardu Distribusi). Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi primer adalah tegangan menengah (misalnya 11 kV atau 20 kV).

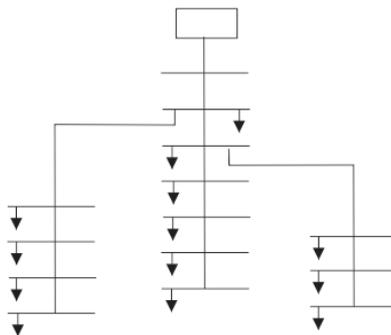
Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari Gardu Induk ke masing – masing konsumen. Sedangkan sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem 1 fasa dengan dua kawat (fasa dan netral) maupun sistem 3 fasa dengan empat kawat (tiga fasa dan satu netral). Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah (misalnya 127/220 Volt atau 220/380 Volt).

Bentuk sistem jaringan distribusi memiliki berbagai macam yang umum dipergunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu:

1. Sistem jaringan distribusi radial.
2. Sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup (*loop*).
3. Sistem jaringan distribusi *mesh*.
4. Sistem jaringan distribusi *spindle*.

## 2.2. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan jaringan distribusi yang banyak digunakan di wilayah Indonesia. Salah satu keunggulan dari sistem ini adalah sederhananya jaringan sehingga mempermudah dalam penyaluran energi listrik. Jaringan distribusi ini dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik sumber ( Gardu induk ) yang selanjutnya disalurkan ke titik beban yang jalurnya bercabang sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti akar pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yakni menuju beban. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2 2** Jaringan Distribusi Radial

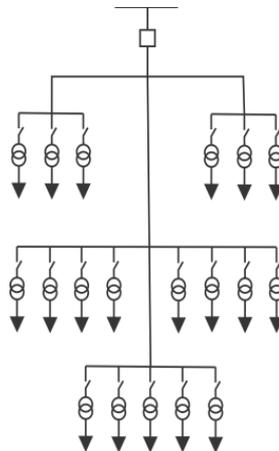
Sumber dari jaringan ini berasal dari satu titik yang menuju percabangan, hal ini menyebabkan perbedaan arus beban yang mengalir pada setiap saluran. Sehingga terjadi perbedaan luas penampang konduktor. Kondisi ini menyebabkan saluran yang lokasinya paling dekat dengan gardu induk memiliki luas penampang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

Dalam pelayanan tenaga listrik untuk suatu wilayah beban tertentu dengan jaringan distribusi radial dapat direalisasikan dengan memasang transformator pada beberapa titik random pada jaringan yang sedekat mungkin dengan wilayah beban yang dilayaninya. Transformator ini berguna untuk menurunkan tegangan sistem agar dapat dikonsumsi pada beban konsumen. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

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

1. Sistem radial pohon.
2. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah.
3. Sistem radial dengan pembagian fasa area.
4. Sistem radial dengan pusat beban.
5. Sistem margerithe.

Umumnya sistem distribusi di Indonesia menggunakan sistem radial pohon. Bentuk sistem jaringan distribusi radial pohon dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Jaringan distribusi radial pohon

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

### 2.3. Aliran Daya

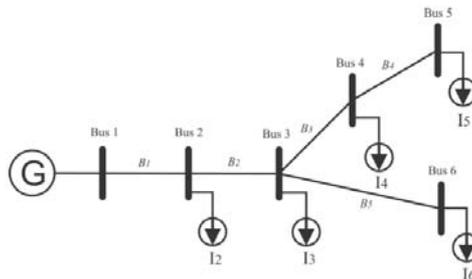
Analisa aliran daya merupakan metode atau alat bantu yang sangat penting untuk mengetahui kondisi operasi sistem. Perhitungan ini berguna untuk mengetahui tegangan, arus, faktor daya, di berbagai simpul jaringan listrik dalam kondisi normal.

Perhitungan aliran daya membutuhkan informasi ramalan besar beban di setiap titik pelayanan, rencana operasi pembangkit dan informasi saluran dari pusat sumber menuju ke beban akhir. Pada tugas akhir ini metode yang digunakan untuk aliran daya adalah *topologi network*[4]. Adapun langkah –langkah dalam perhitungan aliran daya adalah sebagai berikut:

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

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

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



Gambar 2.4 Contoh single line diagram

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

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

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

Matrik BIBC dapat disederhanakan menjadi :

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.2)$$

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

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

Dari matrik BCBV di atas dapat disederhanakan menjadi :

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

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

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

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

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

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

## 2.4. Kerugian Daya Saluran

Daya listrik yang dikirim dari pusat sumber menuju ke beban – beban yang menggunakan daya listrik ini akan melalui drop tegangan serta mengalami kerugian daya.

Kerugian daya ini terjadi dikarenakan saluran distribusi mempunyai tahanan, induktansi, dan kapasitas. Akan tetapi saluran distribusi primer ataupun sekunder memiliki jarak saluran yang tergolong pendek ( $< 50 \text{ mile}$ ) maka kapasitas dapat diabaikan.

Jika suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus – menerus maka akan menimbulkan panas, panas ini timbul akibat energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut. Semakin lama arus tersebut mengalir maka semakin panas penghantar tersebut dan semakin banyak energi listrik yang hilang karena energi tersebut berubah menjadi panas. Daya yang berupa panas inilah yang disebut dengan kerugian daya pada saluran. Kerugian ini juga dipengaruhi oleh jarak saluran, hal ini berpengaruh pada keandalan jaring karena semakin jauh atau semakin panjang penghantar listrik tersebut maka akan banyak tegangan listrik yang menghilang karena penghantar itu sendiri memiliki hambatan atau tahanan.

## 2.5. Deviasi Tegangan

Deviasi tegangan adalah penyimpangan tegangan yang merupakan salah satu gangguan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Gangguan karena deviasi tegangan dapat berupa *undervoltage* ataupun *overvoltage*. Deviasi tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

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

Keterangan:

$V_i$  = Tegangan pada Bus

$V^{\text{spek}}$  = spesifikasi tegangan magnitude

$V^{\text{max}}$  = batas maksimum pada saluran

$V^{\text{min}}$  = batas minimum pada saluran

Untuk kriteria *deviasi* tegangan di Indonesia tidak boleh melebihi standart yang di terapkan oleh PLN pada sistem tenaga listrik , Untuk standart deviasi tegangan yang di perbolehkan oleh PLN adalah sebesar +5% dan -10% .

## 2.6. Undervoltage dan Overvoltage

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

Dalam terminologi *power quality*, *under voltage* dikategorikan sebagai fenomena *long duration voltage variation*. Berbeda dengan *voltage DIP* yang berlangsung cepat, *under voltage* biasanya terjadi dalam kurun waktu diatas 1 menit. Menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), penurunan tegangan biasanya berkisar menjadi 80 % hingga 90% dari nominal voltagenya., namun rata-rata perusahaan membatasi penurunan tegangan hanya berada pada 95% dari nominal voltagenya sedangkan pada PLN membatasi pada 90% dari nominal voltagenya[2].

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

Meski tergolong problem klasik fenomena ini tentu tak dapat dinggap ringan. *Undervoltage* dapat mengakibatkan berbagai kerusakan pada peralatan mulai dari *overheat*, *malfunction* hingga premature.

## 2.7. Distributed Generation (DG)

*Distributed Generation* (DG) adalah pembangkit tersebar pada pusat beban (Distribusi). DG merupakan salah satu solusi dalam hal pemerataan distribusi energi listrik sehingga dapat meningkatkan kualitas daya sistem kelistrikan. Keuntungan adanya DG bila dibandingkan dengan pembangkitan listrik terpusat adalah penerapan kapasitas relatif rendah pada pembangkitan sehingga dapat di letakkan menyebar sehingga tidak diperlukan lokasi yang luas[5]. DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaring distribusi. Klasifikasi jenis DG dan kapasitas secara detail ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan dan kapasitas ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Distributed Generation[6]

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

**Tabel 2.2** Klasifikasi DG berdasarkan teknologi pembangkitan[6]

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

*Distributed Generation* (DG) merupakan salah satu teknologi pembangkitan tenaga listrik yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia, hal ini dikarenakan DG memiliki manfaat yang signifikan dalam penyaluran energi listrik. Jika DG dipasang di lokasi yang optimal dan dikoordinasikan dengan benar, hal ini akan mampu meningkatkan

kualitas daya pada sistem baik dari profil tegangan, kerugian daya dan juga faktor daya pada jaringan distribusi. Penggunaan utama dari DG adalah untuk menyuplai energi listrik pada daerah terpencil. Keuntungan lain dari penggunaan DG adalah dapat menyuntikkan kelebihan daya ke sistem, bila kapasitas DG melebihi kapasitas beban yang di minta.

## **2.8. Teknologi DG yang Dapat Dikembangkan**

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

### **1. Sumber Energi Utama**

Sumber Energi menunjuk pada teknologi DG sebagai sumber energi seperti energi surya, angin, mikrohidro, pasang surut dan biomassa. Setiap teknologi DG memiliki karakter yang berbeda-beda dalam menghasilkan energy.

### **2. Power Converter**

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

### **3. Sistem Interface dan Peralatan Proteksi**

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

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

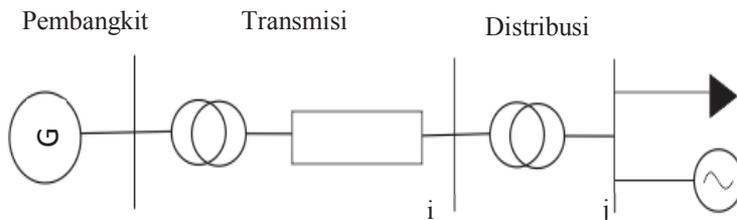
## 2.9. Keuntungan Distributed Generation

Dalam banyak penelitian, DG dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi melalui cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat – pusat pembangkit konvensional[5]. Dalam pemasangannya dalam jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG meliputi:

1. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi kerugian pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol

## 2.10. Distributed Generation pada Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi memasok tenaga listrik ke pengguna akhir. Sebuah model sederhana dari jaringan distribusi radial. Sistem tersebut terdiri dari grid, jalur transmisi, transformator dan beban. DG yang terhubung ke jaringan distribusi dapat ditampilkan seperti Gambar 2.5.



**Gambar 2 .5** Permodelan koneksi DG pada sistem distribusi radial

Nilai arus ( $I$ ) dari percabangan yang terhubung antara bus  $i$  dan  $j$  sebelum penambahan DG adalah

$$I_{ij} = \sqrt{\frac{P_j^L{}^2 + Q_j^L{}^2}{V_j^2}} \quad (2.8)$$

Dengan telah diketahui adanya daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan tegangan (V), Didapatkan Nilai kerugian daya pada cabang  $ij$  sebelum penambahan DG adalah

$$P_{losses} = I_{ij}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.9)$$

Dimana R merupakan impedansi saluran. Nilai arus dari percabangan yang terhubung antara bus  $i$  dan  $j$  setelah penambahan DG adalah

$$I'_{ij} = \sqrt{\frac{(P_j^L - P_j^{DG})^2 + (Q_j^L - Q_j^{DG})^2}{V_j^2}} \quad (2.10)$$

Besar nilai kapasitas DG ( $P_{DG}$  dan  $Q_{DG}$ ) yang dipasang memiliki konstrain

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} P_D(j) \quad (2.11)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} Q_D(j) \quad (2.12)$$

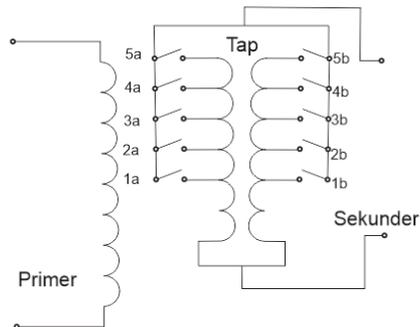
Sehingga Nilai kerugian daya pada cabang  $ij$  setelah penambahan DG adalah

$$P'_{losses} = I'_{ij}{}^2 \cdot R_{ij} \quad (2.13)$$

Aliran daya dalam jaring tergantung pada ukuran dan lokasi dari DG dan juga pada permintaan beban pada waktu tertentu. DG yang dipasang dalam suatu bus menjadikan bus tersebut sebagai bus tipe PV atau PQ node [8,9]. Dalam tugas akhir ini, bus yang dipasang DG ditentukan sebagai bus tipe PQ node. Selain itu, dalam aplikasinya, DG terdiri dari berbagai macam jenis yang memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun beberapa contoh jenis teknologi pembangkitan yang menggunakan *Distributed Generation*, yaitu: *photovoltaic* (PV), *tubin angin* (*wind turbine*), *fuel cell*, *micro turbine* dan baterai serta diesel generator sebagai *backup* saat beban naik[7].

## 2.11. *On Load Tap Changer (OLTC) Transformer*

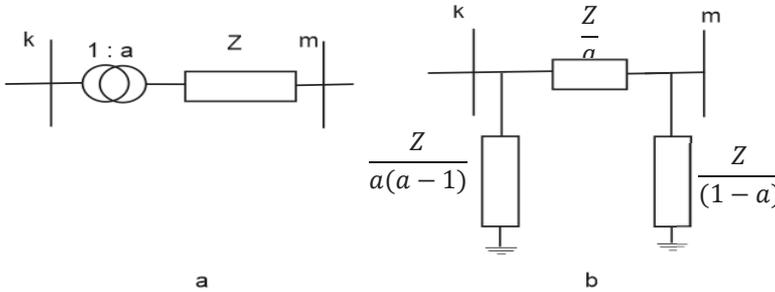
*Tap changer* adalah salah satu fasilitas yang terletak pada Transformator yang berfungsi untuk mengatur perbandingan belitan, tegangan dan arus pada sisi primer dan sekunder. Pada jaringan distribusi tap changer umumnya dapat digunakan untuk mengatasi penyimpangan tegangan dilakukan dengan cara merubah level pada *tap changer*. Bentuk tap changer dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2 6** Model *Tap Changer* [8].

Berdasarkan ada tidaknya pembebanan *tap changer* di bagi menjadi dua tipe yaitu *Load Tap Changer (LTC)*, dan *On load Tap Changer (OLTC)*, untuk jenis *On Load Tap Changer (OLTC)* merupakan salah satu bagian pada Transformator yang dalam pengaturan tap sudah otomatis sehingga nilai tegangan dalam jaringan dapat disesuaikan. Di dalam OLTC terdapat (*Automatic Voltage Relay*) AVR yang dapat menggerakkan atau memberikan perintah terhadap level pada OLTC[9]. Dalam sistem untuk strategi pengendalian konvensional OLTC yaitu dengan mengatur tegangan pada busbar tertentu. Strategi pengendalian tegangan didasarkan pada pengukuran daerah sekitar, sehingga dapat mencegah adanya deviasi tegangan yang berada pada luar batas toleransi. Batas toleransi deviasi tegangan yang di ijinakan oleh PLN sebesar +5% dan -10%. *Tap changer* umumnya hanya terdiri dari 5 step saja dengan rentang perubahan belitan  $\pm 5\%$  sehingga setiap kenaikan step adalah 2,5%. Berbeda dengan *On Load Tap Changer (OLTC)* yang memiliki variasi lebih banyak yaitu 17 step atau 33 step bahkan ada yang lebih dari 100 Step. Banyaknya step di sesuaikan dengan rentang pengaturan tegangan yang di inginkan. Untuk 17 step normalnya memiliki perubahan belitan  $\pm 10\%$  dengan kenaikan per-stepnya adalah 1,25%[10].

## 2.12. Permodelan Tap changer Transformator



**Gambar 2. 7** Modeling transformator (a) model dasar trafo dengan impedansi saluran (b) rangkaian equivalen transformator [9]

Dimana :

- a = belitan sekunder
- k = Bus awal
- m = Bus akhir
- Z = Impedansi saluran

Pada gambar 2.7 merupakan model Transformator pada kondisi steady state dimana impedansi berupa reaktansi dan resistansi pada besi diabaikan karena nilainya yang sangat besar sehingga arus yang mengalir hampir tidak ada.

Dan pada gambar 2.7 referensi nilai impedansi diambil di sisi m. besar nilai impedansi per unit (p.u) pada sisi m atau k akan selalu sama, saat nilai tegangan base sama dan mengikuti rasio belitan ( $N_m/N_k$ ) selain itu besar daya pada kedua sisi juga harus sama[9].

Namun persamaan diatas merupakan bentuk trafo ideal. Dimana tanpa mempertimbangkan perubahan nilai tap. Untuk permodelan tap dapat dilihat pada gambar 2.7. Nilai tap awal akan sama dengan perbandingan awal dari  $N_m/N_k$  dan setiap perubahan tap akan mempengaruhi besar impedansi di tiap titik.

$$Z'k(\Omega) = Zm(\Omega) = \frac{Z(\Omega)}{2} \quad (2.14)$$

Sehingga didapatkan besar impedansi setiap pergantian tap adalah.

$$Z_{base}(\Omega) = \frac{(V_{base}^2)}{MVA_{base}} \times \left(\frac{N_k}{N_m}\right)^2 \quad (2.15)$$

### 2.13. Binary Particle Swarm Optimization

*Particle Swarm Optimization* (PSO) pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Partikel Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu metode pengoptimalan evolusioner yang terinspirasi oleh alam yang meliputi strategi evolusioner (ES), pemrograman evolusioner (EP), algoritma genetika (GA), dan pemrograman genetik (GP). PSO jelas berbeda dengan metode tipe evolusioner lainnya karena tidak menggunakan operasi penyaringan (seperti crossover dan / atau mutasi) dan anggota seluruh populasi dipelihara melalui prosedur pencarian. Dalam algoritma PSO, masing-masing anggota disebut "partikel", dan setiap partikel terbang di sekitar ruang pencarian multi dimensi dengan kecepatan, yang terus diperbarui oleh pengalaman partikel dan pengalaman tetangga partikel[11].

. Dalam algoritma PSO, pencarian dilakukan dengan menggunakan populasi partikel, sesuai dengan individu seperti pada kasus algoritma evolusioner. Tidak seperti GA, tidak ada operator evolusi alami yang digunakan untuk menghasilkan solusi baru bagi generasi penerus. Sebagai gantinya, PSO didasarkan pada pertukaran informasi antar individu, yang disebut partikel, dari populasi, yang disebut swarm. Setiap partikel menyesuaikan posisinya sendiri terhadap pengalaman sebelumnya dan menuju posisi terbaik dari posisi sebelumnya yang diperoleh oleh kawanan. Menghafal posisi terbaiknya lalu menetapkan pengalaman partikel yang menyiratkan pencarian lokal bersamaan dengan pencarian global yang muncul dari pengalaman tetangga atau pengalaman seluruh kawanan. Dua varian dari algoritma PSO dikembangkan, satu dengan lingkungan global, dan satu lagi dengan lingkungan lokal. Menurut lingkungan global, setiap partikel bergerak menuju posisi terbaik sebelumnya dan menuju partikel terbaik di seluruh kawanan, yang disebut model Gbest. Di sisi lain, menurut varian lokal, yang disebut model Pbest, masing-masing partikel bergerak menuju posisi terbaik sebelumnya dan menuju partikel terbaik di lingkungan yang dibatasi (Kennedy, 2001). Berikut formulasi posisi ( $x_N$ ) dan kecepatan ( $v_N$ ) partikel pada suatu dimensi ruang tertentu:

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_N(0) \quad (2.16)$$

$$v_1(0), v_2(0), \dots, v_N(0) \quad (2.17)$$

modifikasi ini dapat diwakili sebagai konsep kecepatan. Kecepatan ( $v_i(t)$ ) dari setiap partikel dirumuskan sesuai persamaan berikut.

$$v_i(t) = v_i(t) + c_1r_1(pbest_i - x_i(t-1)) + c_2r_2(gbest_i - x_i(t-1)) \quad (2.18)$$

Dimana  $c_1$  = konstanta akselerasi pertama,  $r_1$ = bilangan random pertama,  $c_2$ = konstanta akselerasi kedua,  $r_2$ = bilangan random pertama,  $pbest$  = hasil terbaik pada setiap particle,  $gbest$ = particle terbaik dari keseluruhan dan  $x_i(t)$  = posisi partikel. Dengan menggunakan persamaan 3.3 kecepatan tertentu secara bertahap akan semakin mendekati  $pbest$  dan  $gbest$ . Posisi partikel ( $x_i(t)$ ) akan selalu berubah. Posisi saat ini bisa di dapatkan dari persamaan dari persamaan

$$x_i(t) = v_i(t) + x_i(t-1) \quad (2.19)$$

Bobot inersia ( $w$ ) pada algoritma pso difungsikan untuk meredam kecepatan selama iterasi ( $n_{max}$ ) menuju titik target yang lebih akurat dan efisien. Rumus yang digunakan untuk menemukan bobot inersia adalah

$$w(t) = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{n_{max}} \times t \quad (2.20)$$

Dalam Perkembangannya Kennedy dan Eberhart mengusulkan sebuah biner diskrit versi PSO untuk masalah biner. Dalam model mereka Partikel akan memutuskan "ya" atau "tidak", "benar" atau "salah", "Termasuk" atau "tidak termasuk" dll. Pada *Binary PSO* partikel terbaik dan partikel Global terbaik diperbarui seperti dalam versi kontinu. Perbedaan utama antara *binary PSO* dengan versi kontinu adalah Bahwa Definisi kecepatan harus dibatasi dalam kisaran  $[0,1]$ . Pemetakan yang diperkenalkan sebenarnya untuk memetakan semua nilai hanya Jumlah kecepatan ke kisaran  $[0,1]$ . Fungsi normalisasi yang digunakan disini adalah fungsi *sigmoid* pada (2.21)

$$V_{ij}(t) = sig(V_{ij}(t)) = \frac{1}{1 + e^{-v_{ij}(t)}} \quad (2.21)$$

Dan posisi partikel baru Diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.22)

$$X_{ij}(t + 1) \begin{cases} 1 & \text{if } r_{ij}(t) < sig(V_{ij}(t)) \\ 0 & \text{Other wise} \end{cases} \quad (2.22)$$

Dimana nilai  $r_{ij}(t)$  merupakan nilai random dengan range  $[0,1]$ [12]. Untuk alur kerja algoritma *Binary* PSO Secara ringkas sebagai berikut:

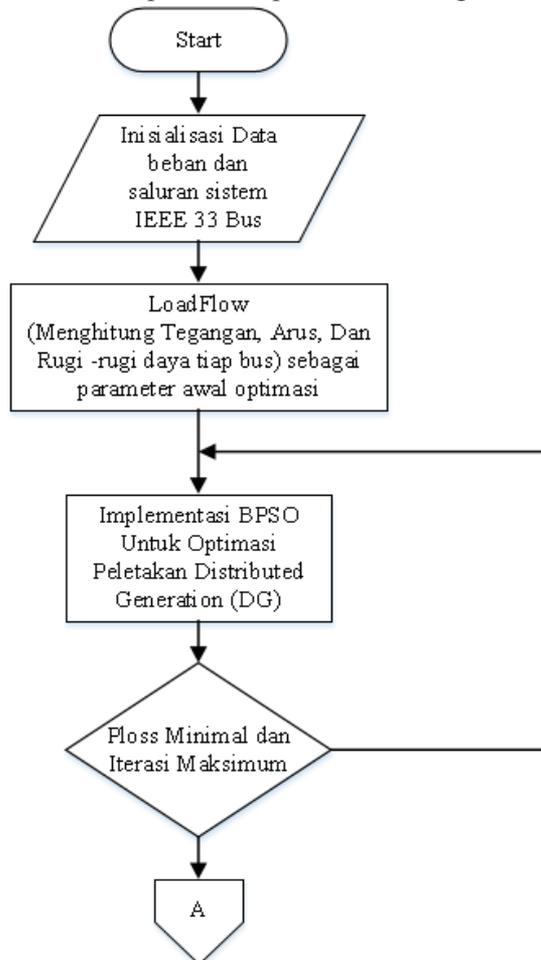
1. Inisialisasi kawanan ( $x_i$ ), posisi partikel, dan kecepatan ( $V_i$ ) inisiasi dilakukan secara acak
2. Evaluasi kinerja  $F(x)$  setiap partikel, Menggunakan posisi saat ini  $x_i(t)$ .
3. Membandingkan kinerja masing-masing individu dengan nya Performa terbaik sejauh ini:
4. jika  $F(x_i(t)) < F(P_{i\text{best}})$ :  $F(P_{i\text{best}}) = F(x_i(t))$ ,
5.  $P_{i\text{best}} = x_i(t)$
6. Bandingkan kinerja masing-masing partikel dengan Partikel terbaik global: jika  $F(x_i(t)) < F(P_{g\text{best}})$ :  $F(P_{g\text{best}}) = F(x_i(t))$ ,  $P_{g\text{best}} = x_i(t)$
7. Ubah kecepatan partikel menurut langkah (1).
8. Pindahkan masing-masing partikel ke posisi baru dengan menggunakan Persamaan pada langkah (2).
9. Pergi ke langkah 2, dan ulangi sampai konvergensi[13].

# BAB III

## PENERAPAN BPSO UNTUK PELETEKAN DG DAN KOORDINASI OLTC TRANSFORMATOR

### 3.1. Alur Kerja Sistem

Permodelan Kerja Sistem dilakukan untuk mengetahui parameter - parameter pada sistem yang dibutuhkan dalam pembuatan program. Bentuk alur dapat dilihat pada flowchart gambar 3.1



**Gambar 3. 1** *Flowchart* alur sistem keseluruhan



**Gambar 3. 1** *Flowchart* alur sistem keseluruhan (lanjutan)

Dari gambar flowchart diatas menunjukkan alur sistem keseluruhan. Alur kerja sistem ini terbagi dalam beberapa tahap yaitu:

1. Identifikasi Sistem IEEE 33 Bus
2. LoadFlow
3. Inisiasi Untuk parameter peletakan DG
4. Optimisasi Peletakan *Distributed Generation*
5. Peletakan DG
6. Optimisasi Koordinasi *On Load Tap Changer Tranformer*
7. Analisa Hasil Dengan OLTC Trafo, dan dengan optimisasi OLTC



### 3.2.1 Data Saluran Sistem

Tabel 3. 1 Data saluran jaringan IEEE 33 Bus

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

**Tabel 3.1** Data saluran jaringan IEEE 33 Bus (lanjutan)

Bus Awal	Bus Akhir	Impedansi Saluran	
		R	X
28	29	0,8042	0,7006
29	30	0,5075	0,2585
30	31	0,9744	0,9630
31	32	0,3105	0,3619
32	33	0,3410	0,5302

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

### 3.2.2 Data Pembebanan Sistem

**Tabel 3.2** Data pembebanan jaringan distribusi IEEE 33 Bus

Bus	P (MW)	Q(MVAR)
2	0.15	0.09
3	0.135	0.06
4	0.18	0.12
5	0.09	0.045
6	0.09	0.03
7	0.3	0.15
8	0.3	0.15
9	0.09	0.03
10	0.09	0.03
11	0.0675	0.045
12	0.09	0.0525
13	0.09	0.0525
14	0.18	0.12
15	0.09	0.015
16	0.09	0.03
17	0.09	0.03
18	0.135	0.075
19	0.135	0.075

**Tabel 3 2** Data pembebanan jaringan distribusi IEEE 33 Bus (lanjutan)

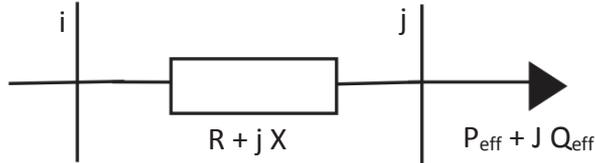
<b>Bus</b>	<b>P (MW)</b>	<b>Q (MVAR)</b>
20	0.135	0.075
21	0.135	0.075
22	0.135	0.075
23	0.135	0.075
24	0.63	0.3
25	0.63	0.3
26	0.09	0.0375
27	0.09	0.0375
28	0.09	0.03
29	0.18	0.105
30	0.3	0.9
31	0.225	0.105
32	0.315	0.15
33	0.09	0.06

Data pembebanan digunakan untuk mengetahui nilai pembebanan yang berlaku pada sistem, Data pembebanan berupa beban daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR). Pada tugas akhir ini nilai pembebanan dinaikkan 1.5x dari beban awal sehingga Jumlah total beban daya aktif pada sistem adalah 5,6 MW dan beban daya reaktifnya 3,5 MVAR

### **3.3. Peletakan Trafo Menggunakan LSF dan sizing Trafo**

OLTC Transformator pada tugas akhir ini berfungsi untuk pengatur profil tegangan agar sesuai dengan standart yang digunakan oleh PLN yaitu +5% dan -10% namun untuk peletakannya perlu ada method yang sesuai agar selain profil tegangan OLTC juga mampu membantu mengurangi besar losses mala dari itu method Loss Sestifitiy factor dianggap mampu menyelesaikan permasalahan penempatan OLTC Transformator ini. Loss sesitifity factor dapat memprediksi bus mana yang akan mengalami penurunan losses paling besar bila diberi trafo. Untuk memprediksi bus tersebut nilai LSF akan di ranking dan di bagi tiap zona untuk penentuan peletakannya.

Bentuk permodelan perhitungan untuk nilai Loss Sestifty Factor dapat dilihat pada gambar 3.3



**Gambar 3 .3** Permodelan LSF

rumus untuk mengetahui nilai LSF adalah sebagai berikut:

$$P_{loss}(j) = \frac{P_{eff}(j)^2 - Q_{eff}(j)^2}{V(j)^2} \quad (3.1)$$

$$Q_{loss}(j) = \frac{P_{eff}(j)^2 - Q_{eff}(j)^2}{V(j)^2} \quad (3.2)$$

Dimana  $P_{eff}$  merupakan Total daya aktif efektif yang diberikan di luar Bus (j) dan  $Q_{eff}$  merupakan total daya reaktif yang diberikan di luar bus (j). dari persamaan diatas makan nilai Loss Sestifty factor dapat dihitung sebagai berikut:

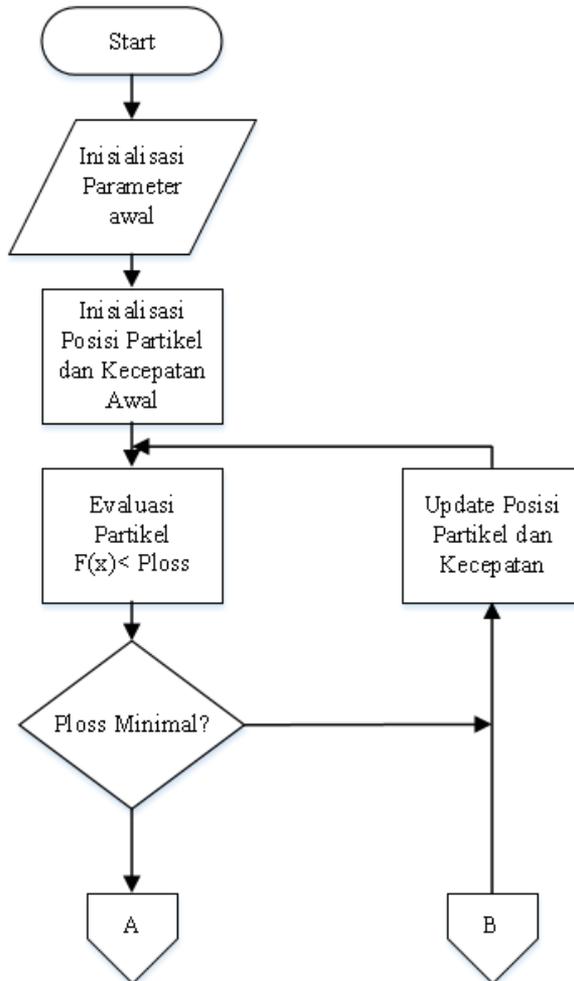
$$\frac{\mathcal{P}_{loss}}{\mathcal{P}_{eff}} = \frac{2 P_{eff}(j) \times R(k)}{V(j)^2} \quad (3.3)$$

$$\frac{\mathcal{Q}_{loss}}{\mathcal{Q}_{eff}} = \frac{2 Q_{eff}(j) \times R(k)}{V(j)^2} \quad (3.4)$$

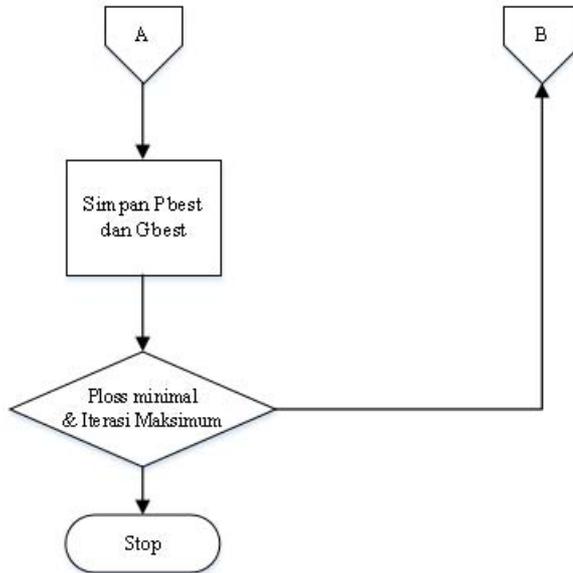
Dari rumusan diatas nilai Ploss merupakan rugi rugi daya aktif pada setiap saluran  $R(k)$  merupakan impedansi saluran dan  $V(j)$  merupakan tegangan tiap bus dan nantinya akan di dapatkan nilai dengan rentang 0 hingga 1 dan titik yang paling besar setiap zonanya merupakan titik yang akan mengalami penurunan losses paling besar sehingga selain memperbaiki nilai profil tegangan OLTC pada Transformator diharapkan mampu membantu mengurangi kerugian daya pada sistem[14].

### 3.4. Penerapan Binary Particle Swarm Optimization pada penentuan Lokasi DG

Algoritma Binary Particle Swarm Optimization (BPSO) merupakan metode program utama yang akan digunakan dalam menyelesaikan peletakan optimal distributed generation. BPSO akan menentukan kombinasi ada tidaknya Distributed Generation di setiap bus untuk mendapatkan nilai rugi daya sistem yang minimal.



Gambar 3. 4 Flowchart program BPSO untuk lokasi DG



**Gambar 3. 4** Flowchart program BPSO untuk lokasi DG (lanjutan)

### 3.4.1. Persamaan rugi daya pada penentuan lokasi DG

Untuk mengetahui tegangan, arus dan kerugian daya pada sistem baik sebelum ataupun sesudah pemasangan Distributed Generation (DG) perlu adanya persamaan aliran daya. Parameter yang di dapatkan dari aliran daya tersebut nantinya akan digunakan sebagai landasan awal dalam penentuan lokasi DG yang optimal. Pemasangan DG yang optimal akan menghasilkan beberapa keuntungan seperti mengurangi kerugian daya, menaikkan profil tegangan, mengatasi permasalahan ketidak seimbangan beban, meningkatkan efisiensi dan lain – lain.

Rugi daya yang terjadi ketika penempatan DG pada suatu lokasi tertentu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S_r = S_{load} - S_{DG} \quad (3.5)$$

$$P_{loss} = \text{real}(S_r) \quad (3.6)$$

Dimana  $S_{load}$  dan  $S_{DG}$  merupakan daya yang dikonsumsi beban dan daya yang dihasilkan oleh DG.

### 3.4.2. Inisialisasi Awal BPSO untuk lokasi DG

Pada proses inisialisasi memuat sistem yang akan dioptimisasi. Pada tugas akhir ini sistem yang diusulkan untuk dioptimisasi adalah sistem IEEE 33 Bus dengan modifikasi kenaikan beban sebesar 1.5x dari kondisi awal.

### 3.4.3. Parameter – parameter BPSO untuk lokasi DG

Parameter parameter yang digunakan pada BPSO tugas akhir ini merupakan inisialisasi awal operasi algoritma. Parameter yang digunakan antara lain:

Jumlah Partikel : 100  
Jumlah Variabel : 15  
Jumlah Iterasi : 100

Partikel adalah sebuah himpunan yang mempresentasikan banyak variabel. Variabel mempresentasikan lokasi DG dalam bentuk biner, dimana pada BPSO variable yang akan di optimasikan . Fungsi objektif dalam tugas akhir ini adalah mencari rugi daya aktif yang minimal dari peletakan Distributed Generation.

### 3.4.4. Inisialisasi Populasi dan kecepatan awal partikel pada lokasi DG

Parameter yang kedua yang di inisialisasikan adalah posisi dan kecepatan. Untuk posisi awal yang dibangkitkan dengan rentang  $x_b$  dan  $x_a$  adalah random. Sehingga didapatkan  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Partikel dan kecepatan pada iterasi (n) dinotasikan sebagai  $x_i(t)$  dan  $v_i(t)$ , sehingga notasi partikel awal sebagai berikut:

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_N(0) \quad (3.7)$$

$$v_1(0), v_2(0), \dots, v_N(0) \quad (3.8)$$

Partikel dan kecepatan ini berpengaruh terhadap variable calon lokasi DG yang di optimasi.

### 3.4.5. Fungsi objektif peletakan DG

Fungsi objektif adalah fungsi yang nilainya akan dioptimalkan, fungsi objektif bisa bernilai minimum. Dalam pemodelan sistem tugas akhir ini akan digunakan fungsi objektif untuk meminimalkan kerugian jaringan sistem sehingga rugi daya sistem akan minimal

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

$$I_{ij} = I_l = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (3.9)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij}(V_i - V_j)) \quad (3.10)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.11)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (3.12)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.13)$$

Dari data diatas I merepresentasikan arus , y sebagai admitansi V sebagai tegangan. Kerugian daya pada setiap saluran yang menghubungkan bus i ke bus j dapat dinyatakan sebagai berikut

$$P_{loss(i,j)} = \text{real}(S_l) \quad (3.14)$$

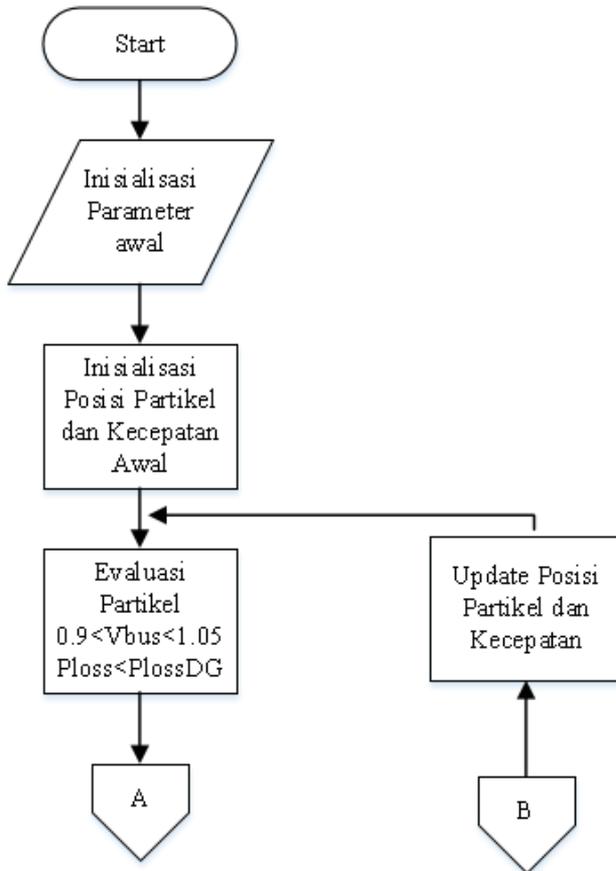
Dari persamaan 3.6, total kerugian daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya ( $P_{loss}$ ) pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$\text{Min } P_{loss}(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.15)$$

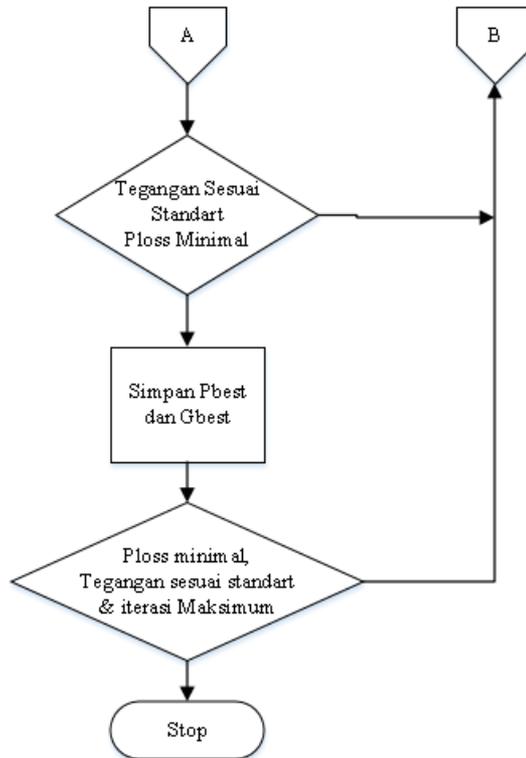
Dimana  $n$  adalah jumlah cabang dari jaring distribusi, dan  $(i,j) \in B$  berarti  $(i,j)$  adalah 2 titik dari sebuah saluran  $bus_i$  dan  $bus_j$ [15].

### 3.5. Penentuan level OLTC Transformator menggunakan BPSO

Inisialisasi awal pada penentuan koordinasi OLTC menggunakan hasil DG dimana acuan utama adalah besar rugi daya sistem setelah di injek DG



Gambar 3. 5 Flowchart program BPSO untuk koordinasi OLTC



**Gambar 3.5** Flowchart program BPSO untuk koordinasi OLTC (lanjutan)

### 3.5.1. Parameter – parameter BPSO untuk OLTC

Untuk Parameter – parameter algoritma BPSO yang digunakan pada kasus ini antara lain:

Jumlah Partikel : 500  
 Jumlah Variabel : 20  
 Jumlah Iterasi : 200

Partikel adalah sebuah himpunan yang mempresentasikan banyak variabel. Variabel mempresentasikan level tapping dalam bentuk biner, dimana pada BPSO, variable yang akan di optimasikan. Fungsi objektif dalam tugas akhir ini adalah mencari rugi daya daya aktif yang minimal dari peletakan *Distributed Generation* (DG).

### 3.5.2. Inisialisasi Populasi dan kecepatan awal partikel

Parameter yang kedua yang di inisialisasikan adalah posisi dan kecepatan. Untuk posisi awal yang dibangkitkan dengan rentang  $x_b$  dan  $x_a$  adalah random. Sehingga didapatkan  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Partikel dan kecepatan pada iterasi ( $n$ ) dinotasikan sebagai  $x_i(t)$  dan  $v_i(t)$ , sehingga notasi partikel awal sebagai berikut:

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_N(0) \quad (3.16)$$

$$v_1(0), v_2(0), \dots, v_N(0) \quad (3.17)$$

### 3.5.3. Fungsi objektif koordinasi OLTC

Fungsi Objektif adalah fungsi yang nilainya akan dipotimalkan, fungsi objektif bisa bernilai minimum. Dalam pemodelan sistem tugas akhir ini akan digunakan fungsi objektif untuk meminimalkan deviasi tegangan dan membuat tegangan berada pada kondisi standart .

Standart Profil tegangan yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah standart dari PLN yaitu:

$$0.9 \text{ p.u} < V_{\text{bus}} < 1.05 \text{ P.u} \quad (3.18)$$

Pengaturan profil tegangan akan berpengaruh terhadap besaran kerugian daya sehingga perlu adanya constraint agar kerugian daya berada pada titik minimal

kerugian daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$\text{Min } P_{\text{loss}}(x) = \sum_{j=1}^n P_{\text{loss}(i,j)} \quad (3.19)$$

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

### 3.6. Batasan constraint

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

$$\sum_{k=1}^{nd} P_k^{DG} \leq \sum_{k=2}^n P_k \quad (3.20)$$

$$\sum_{k=1}^{nd} Q_k^{DG} \leq \sum_{k=2}^n Q_k \quad (3.21)$$

$$P_{k,min}^{DG} \leq P_k^{DG} \leq P_{k,max}^{DG} \quad (3.22)$$

$$Q_{k,min}^{DG} \leq Q_k^{DG} \leq Q_{k,max}^{DG} \quad (3.23)$$

Dimana pada constraint,  $P_{k,min}^{DG}$ ,  $P_{k,max}^{DG}$ ,  $Q_{k,min}^{DG}$ , dan  $Q_{k,max}^{DG}$  adalah batas atas atau bawah pada unit untuk daya aktif dan daya reaktif unit pembangkitan dari distributed generation[16].

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISIS**

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

1. Base Sistem IEEE 33 bus
2. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Lokasi DG
3. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Koordinasi OLTC Transformator
4. Validasi
5. Analisa Hasil

#### **4.1. Base Sistem IEEE 33 Bus**

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

Hasil Simulasi aliran daya awal didapatkan nilai tegangan bus, nilai deviasi tegangan bus pada sistem, dan kerugian daya, yang ditunjukkan pada tabel 4.1:

**Tabel 4. 1** Tegangan tiap bus pada jaringan distribusi IEEE 33 bus

Bus	Tegangan (kV)
1	12.6600
2	12.6015
3	12.3235
4	12.1746
5	12.0272
6	11.6598
7	11.5895

**Tabel 4. 1** Tegangan tiap bus pada jaringan distribusi IEEE 33 bus (lanjutan)

Bus	Tegangan (kV)
8	11.4925
9	11.3661
10	11.2488
11	11.2315
12	11.2013
13	11.0771
14	11.0306
15	11.0015
16	10.9733
17	10.9302
18	10.9172
19	12.5906
20	12.5175
21	12.5029
22	12.4896
23	12.2543
24	12.1255
25	12.0612
26	11.6213
27	11.5701
28	11.3416
29	11.1773
30	11.1062
31	11.0228
32	11.0045
33	10.9988

**Tabel 4. 2** Rugi daya Jaringan antar bus pada sistem IEEE 33 bus

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan (kW)
		MATLAB
1	2	29.7713
2	3	125.7961
3	4	49.2056
4	5	46.3933
5	6	95.0416
6	7	4.7485
7	8	12.1343
8	9	10.5372
9	10	9.0044
10	11	1.4045
11	12	2.2402
12	13	6.803
13	14	1.8664
14	15	0.9192
15	16	0.7328
16	17	0.6661
17	18	0.1465
2	19	0.3989
19	20	2.0653
20	21	0.2502
21	22	0.1084
3	23	7.3904
23	24	11.9588
24	25	2.9989
6	26	6.456
26	27	8.2754
27	28	28.1328
28	29	19.5154

**Tabel 4.2** Rugi daya Jaringan antar bus pada sistem IEEE 33 bus (lanjutan)

Bus Kirim	Bus Terima	Kerugian Jaringan (kW)
		MATLAB
29	30	9.7135
30	31	3.9878
31	32	0.5338
32	33	0.033
Total		499.2295

Pada tabel 4.1 menampilkan tegangan bus sistem, bahwa bus berada diluar batasan toleransi yang ditentukan sebelumnya (+ 5% dan - 10% dari 12,66 kV), kondisi *undervoltage* muncul pada bus 9 sampai 18 dan muncul kembali pada bus 26 sampai 33.

Pada tabel 4.2 menampilkan nilai kerugian daya pada sistem dengan total nilai kerugian daya 499.2295 kW, hal ini menandakan nilai kerugian daya juga diluar dari standart PLN yaitu 5-6% besarkerugian daya

#### **4.2. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Lokasi DG**

Simulasi optimasi menggunakan BPSO pada sistem dibutuhkan untuk mendapatkan lokasi yang optimal untuk memasang DG, Pemasangan DG dengan suplai daya aktif dan reaktif akan memperbaiki sistem menjadi lebih baik, sehingga sistem memiliki nilai rugi saluran yang minimum.

Simulasi akan dibagi dalam beberapa kondisi agar memudahkan proses analisa sistem, kondisi akan berhenti saat didapatkan sistem dengan nilai rugi saluran yang minimum :

1. Kasus (A1) 1 DG dengan daya suplai  $P = 1.7$  MW dan  $Q = 1.3$  MVAR
2. Kasus (A2) 2 DG dengan daya suplai  $P = 1.7$  MW dan  $Q = 1.3$  MVAR tiap DG
3. Kasus (A3) 3 DG dengan daya suplai  $P = 1.7$  MW dan  $Q = 1.3$  MVAR tiap DG
4. Kasus (A4) 4 DG dengan daya suplai  $P = 1.7$  MW dan  $Q = 1.3$  MVAR tiap DG

#### 4.2.1. Hasil Simulasi BPSO Untuk Optimasi Lokasi DG

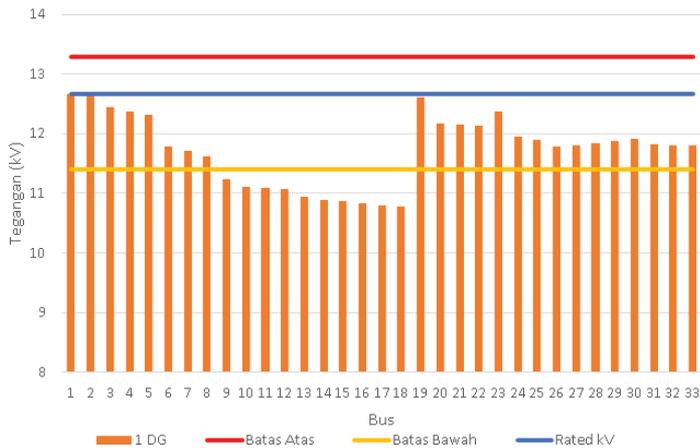
Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil simulasi BPSO untuk menentukan lokasi DG yang optimal sesuai dengan kondisi yang sudah ditentukan pada sub bab sebelumnya. Hasil yang ditampilkan adalah tegangan pada setiap bus, dan kerugian daya pada sistem aliran daya aktif yang sudah terinjeksi DG.

1. Kasus A1 1 DG dengan pembangkitan daya Suplai P = 1.7 MW dan Q = 1.3 MW

Pada kasus A1 Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.3 .

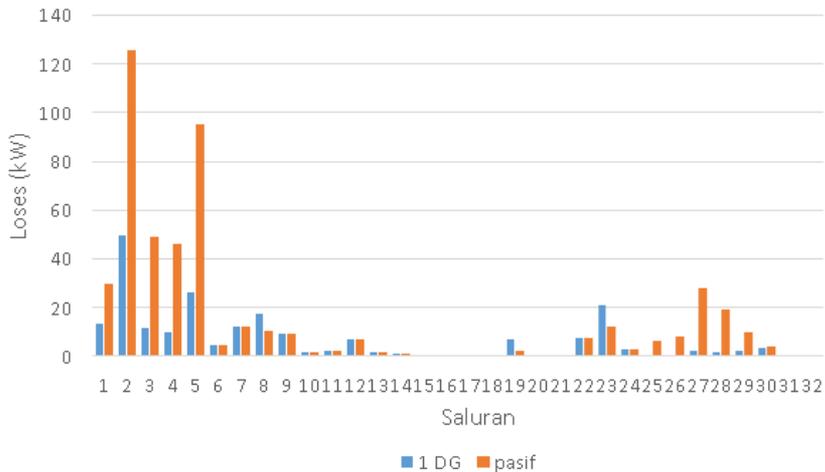
**Tabel 4. 3** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus A1

DG	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	1	1.7	1.3	30



**Gambar 4. 1** Tegangan setiap bus untuk kasus A1

Tegangan setiap bus untuk kasus A1 mengalami peningkatan yang signifikan disbanding ketika tidak menginjeksi DG. Profil tegangan pada kondisi ini masih sesuai standart yaitu +5% dan -10%



**Gambar 4. 2** Rugi daya setiap saluran untuk kasus A1

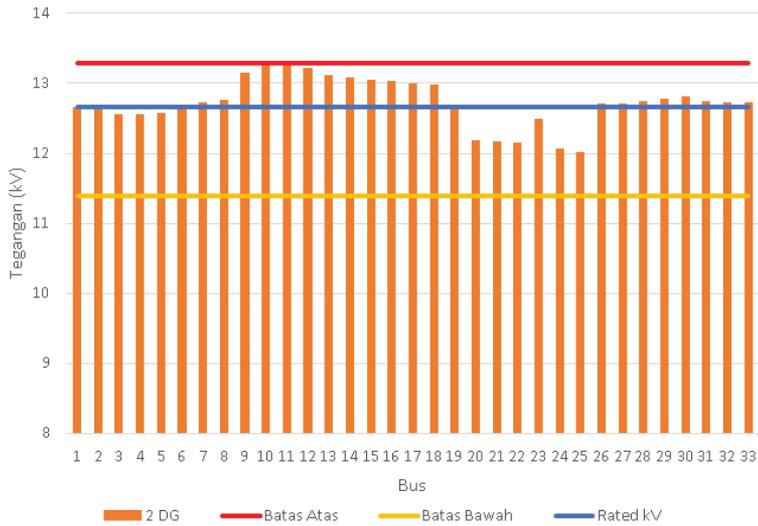
Pada kasus A1 nilai kerugian daya berkurang sangat signifikan dimana untuk kondisi sebelumnya kerugian daya sebesar 499.23 kW, pada saat di injeksi DG kerugian daya tersebut berkurang menjadi 219.84 kW

**2. Kasus A2** 2 DG dengan pembangkitan daya Suplai P = 1.7 MW dan Q = 1.3 MW

Pada kasus A2 Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.4.

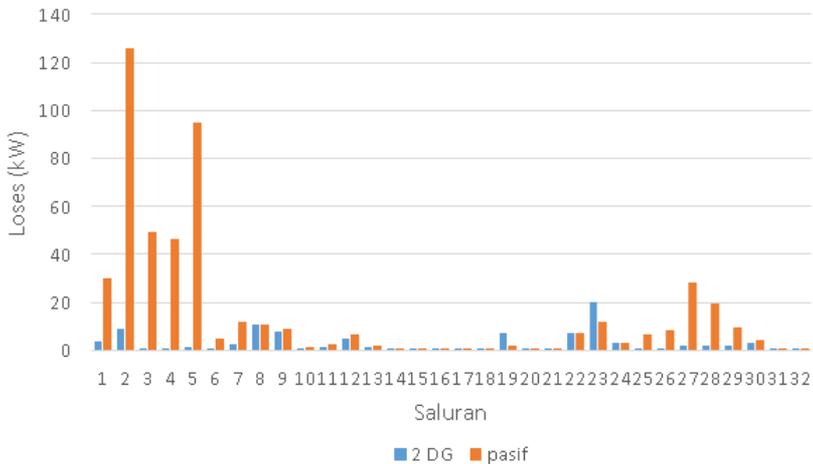
**Tabel 4. 4** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus A2

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	2	1.7	1.3	30 dan 10



**Gambar 4. 3** Tegangan pada setiap bus untuk kasus A2

Sama dengan kasus A1 Tegangan setiap bus untuk kasus A2 mengalami peningkatan yang signifikan disbanding ketika tidak menginjeksi DG. Profil tegangan pada kondisi ini masih sesuai standart yaitu +5% dan -10%



**Gambar 4. 4** Rugi daya setiap saluran untuk kasus A2

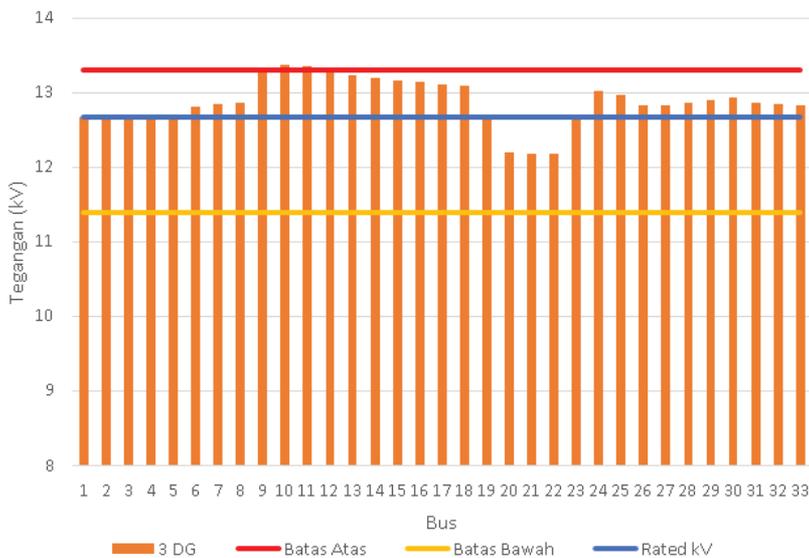
Pada kasus A2 nilai kerugian daya berkurang sangat signifikan dimana untuk kondisi sebelumnya kerugian daya sebesar 499.23 kW, pada saat di injeksi DG kerugian daya tersebut berkurang bahkan lebih berkurang dari saat di injek 1 DG saja pada kasus A2 ini kerugian daya turun menjadi 93.455 kW

**3. Kasus A3 3 DG dengan pembangkitan daya Suplai P = 1.7 MW dan Q = 1.3 MW tiap DG**

Pada kasus A3 Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.5

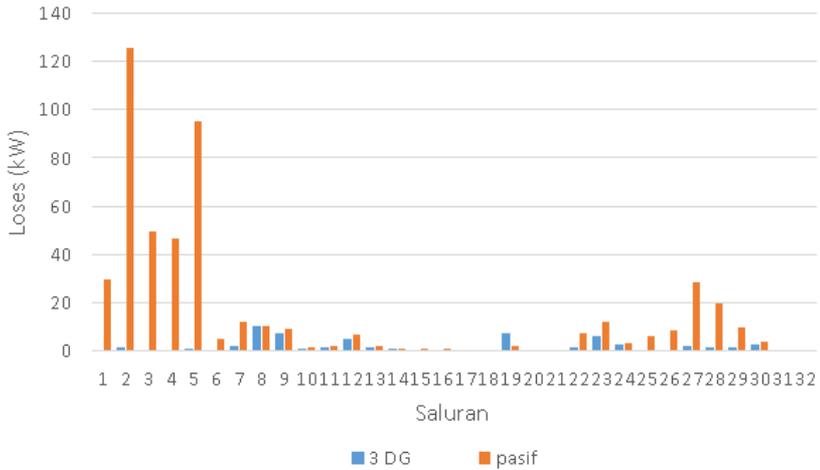
**Tabel 4. 5** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan BPSO kasus A3

DG	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
3	3	1.7	1.3	10,24,30



**Gambar 4. 5** Tegangan pada setiap bus untuk kasus A3

Tegangan setiap bus untuk kasus A3 mengalami peningkatan yang signifikan disbanding ketika tidak menginjeksi DG. Profil tegangan pada kondisi ini sudah melebihi standart +5% sehingga terjadi over voltage pada bus 10,11, dan 12



**Gambar 4. 6** Rugi daya setiap saluran untuk kasus A3

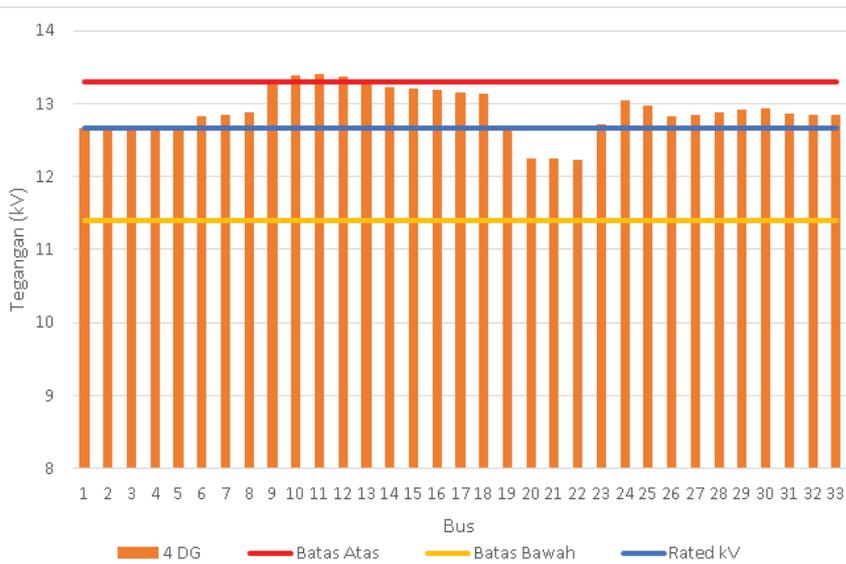
Namun pada kasus A3 nilai kerugian daya berkurang sangat signifikan dimana untuk kondisi sebelumnya kerugian daya sebesar 499.23 kW, pada komdisi ini nilai rugi daya sangat minimal yaitu sebesar 60.989411 kW

**4. Kasus A4 4 DG dengan pembangkitan daya Suplai P = 1.7 MW dan Q = 1.3 MW**

Pada kasus A4 Merupakan kasus untuk optimasi penempatan dan ukuran DG yang ditunjukkan oleh tabel 4.6.

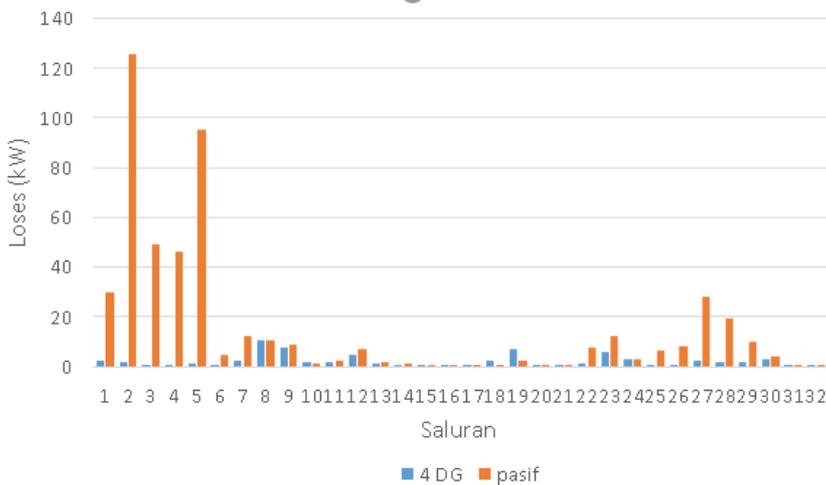
**Tabel 4. 6** Lokasi penempatan DG pada sistem menggunakan GA kasus A4

	Jumlah	Ukuran Terpasang		Lokasi (Bus)
		MW	MVar	
DG	4	1.7	1.3	10, 19, 24, 30



**Gambar 4. 7** Tegangan pada setiap bus untu kasus A4

Berbeda dengan kasus A3, kasus A4 mengalami peningkatan yang signifikan disbanding ketika tidak menginjeksi DG. Namun Profil tegangan pada kondisi ini masih sesuai standart yaitu +5% dan -10%

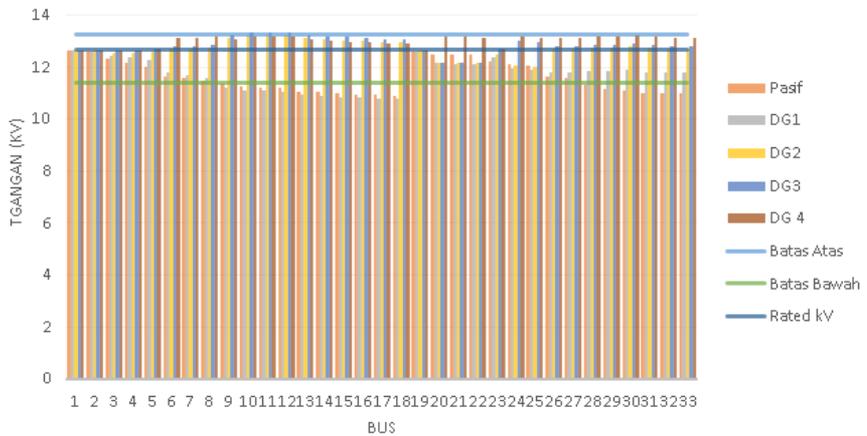


**Gambar 4. 8** Kerugian daya untuk kasus A4

pada kasus A4 nilai kerugian daya juga berkurang sangat signifikan dimana untuk kondisi sebelumnya kerugian daya sebesar 499.23 kW, Namun pada komdisi ini nilai kerugian daya naik dari kasus A3 yang awal 60.989411 kW naik menjad 65.266938 kW maka pada kasus ini tidak di rekomendasikan untuk mendapatkan rugi daya yang minimal

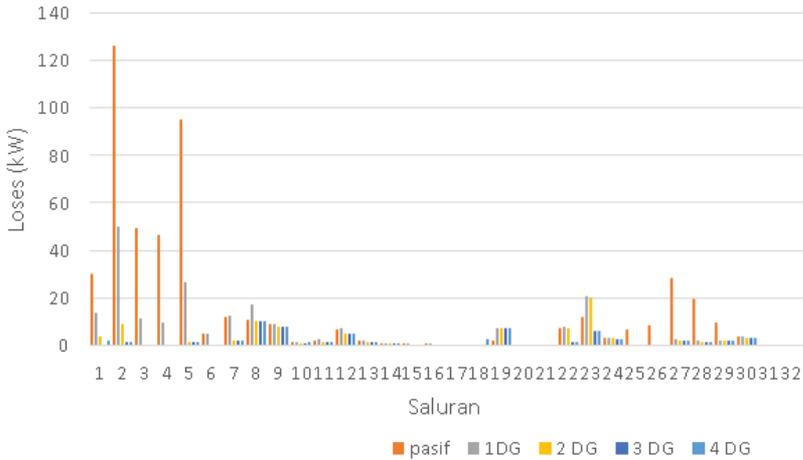
#### 4.2.2. Analisa hasil Simulasi BPSO Untuk Optimasi Lokasi DG

Analisa keseluruhan kasus dengan penempatan dan ukuran untuk Peletakan DG



**Gambar 4. 9** Perbandingan tegangan tiap kondisi

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pada DG 1 masih terjadi undervoltage pada beberapa bus namun pada DG 2 profil tegangan sudah normal pada setiap bus, dan pada penambahan DG 3 dan DG 4 terjadi kenaikan tegangan berlebih (*overvoltage*) yaitu diatas 13.293 kV.



**Gambar 4. 10** Perbandingan kerugian daya tiap kondisi

Gambar 4.10 menunjukkan semua kasus, bahwa penempatan dan ukuran untuk 3 DG akan membuat sistem menjadi kondisi yang optimal

Hal ini dibuktikan dengan nilai rugi daya yang di dapatkan dengan menggunakan 3 DG lebih rendah dari penempatan DG yang lain namun seperti yang dijelaskan pada gambar 4.9 tegangan pada kasus ini melebihi standar +5% dari tegangan 12.66 sehingga perlu adanya pengaturan tegangan agar bisa memenuhi standart

**Tabel 4.7** Perbandingan hasil simulasi untuk tegangan DG

No.	Keterangan	Lokasi Bus	Kapasitas tiap DG		$\Sigma$ Kerugian daya (kW)
			MW	MVar	
1	Tanpa DG	-	-	-	499.22
2	1 DG	30	1.7	1.3	219.852
3	2 DG	10 30	1.7	1.3	93.455
4	3 DG	10 24 30	1.7	1.3	60.9894
5	4 DG	10 19 24 30	1.7	1.3	65.2669

### 4.3. Optimasi Menggunakan BPSO Untuk Koordinasi OLTC

Simulasi optimasi menggunakan BPSO pada sistem dibutuhkan untuk mendapatkan koordinasi tap pada OLTC yang optimal sehingga tegangan tetap sesuai standart dan tidak menambah kerugian daya bahkan mampu membantu mendapatkan kerugian daya yang minimal

Loss Sensitivity Factor (LSF) digunakan untuk menentukan posisi OLTC Transformator yang optimal, dimana peletakan LSF berdasarkan potensi pengurangan Losses paling besar akibat OLTC Transformator

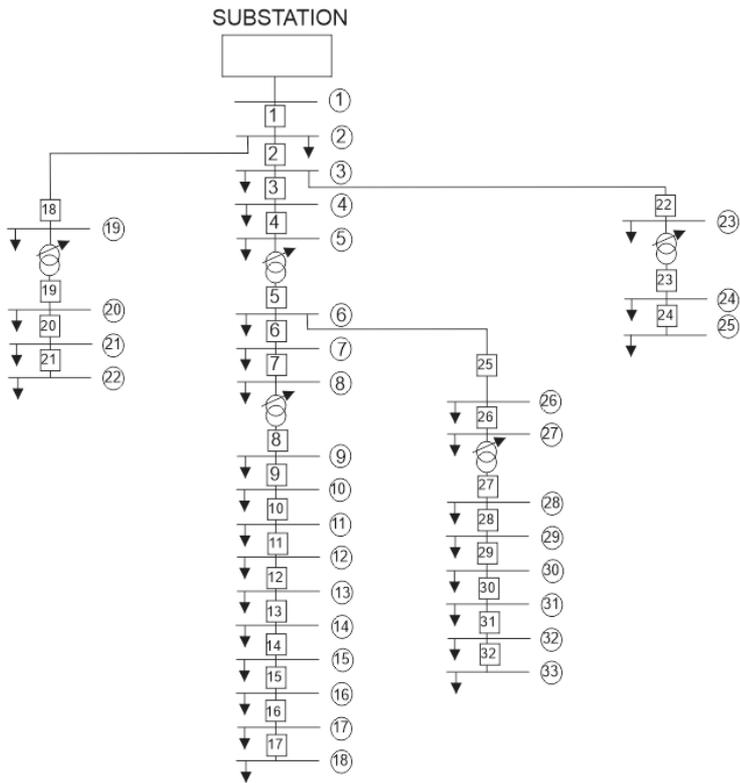
#### 4.3.1. Hasil Simulasi LSF BPSO untuk Koordinasi OLTC

Pada sub bab ini akan ditampilkan hasil simulasi LSF untuk menentukan lokasi OLTC dan dan BPSO untuk menentukan koordinasi OLTC yang optimal.

**Tabel 4. 8** Letak OLTC transformator pada jaringan IEEE 33 Bus

	Lokasi Saluran		Daya Trafo
	Bus Awal	Bus Akhir	
OLTC 1	5	6	2.5
OLTC 2	8	9	1.5
OLTC 3	19	20	0.63
OLTC 4	23	24	2
OLTC 5	27	28	2.5

LSF juga berpengaruh terhadap kapasitas Transformator yang digunakan, kapasitas ini mempengaruhi drop tegangan karena impedansi tiap Transformator berbeda tergantung daya dari Transformator. Gambaran posisi OLTC pada jaringan distribusi IEEE 33 Bus dapat dilihat pada gambar 4.11

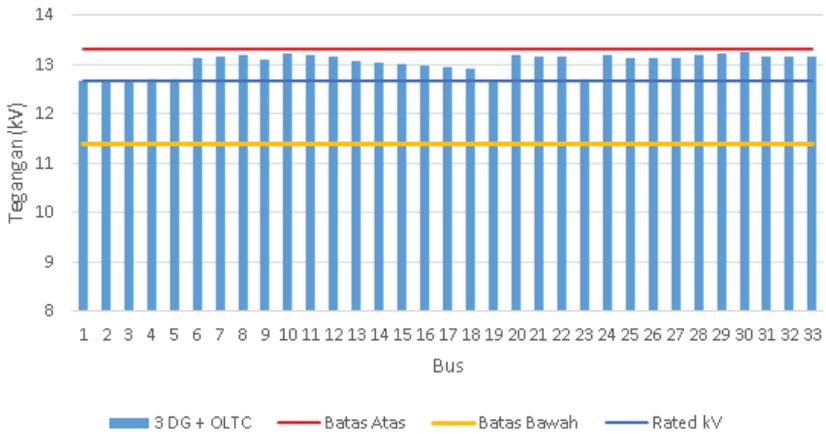


**Gambar 4. 11** Jaringan dengan OLTC Transformator

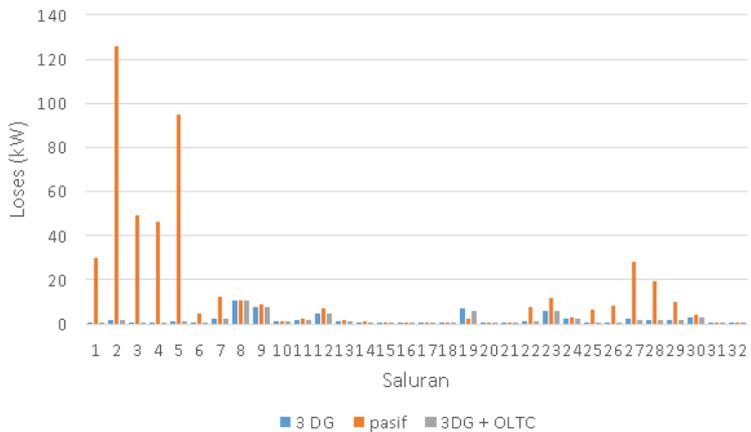
Keterangan :  Penomeran saluran  Penomeran bus  OLTC

**Tabel 4. 9** Hasil Koordinasi OLTC

OLTC	Level OLTC	Persentase Tap (%)
OLTC 1	2	+2.5
OLTC 2	-3	-3.75
OLTC 3	6	+7.5
OLTC 4	1	+1.25
OLTC 5	0	0



**Gambar 4. 12** Tegangan setiap bus setelah koordinasi OLTC

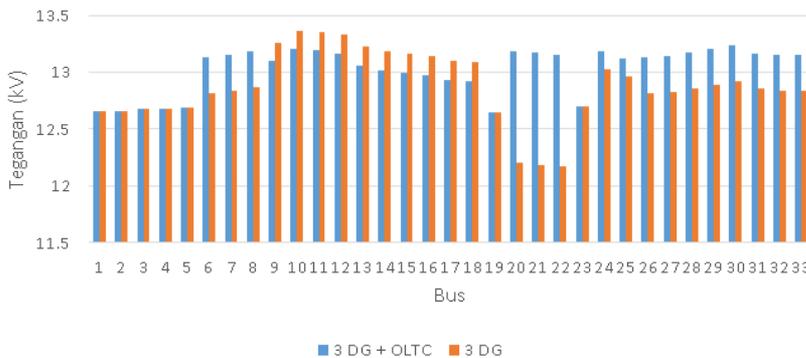


**Gambar 4. 13** Rugi daya (losses) pada saluran setelah koordinasi OLTC

Tegangan setiap bus dari hasil koordinasi OLTC mengalami perbaikan dibanding ketika tidak ada koordinasi OLTC. Profil tegangan pada kondisi ini sudah sesuai standart yaitu +5% dan -10% dan kerugian daya tidak lebih besar saat di beri *Distributed Generation* (DG) sesuai kasus A3

### 4.3.2. Analisa Hasil Koordinasi

Analisa Hasil Koordinasi Setelah mendapatkan lokasi 3 DG yang optimal di bus 10,24, dan 30



**Gambar 4. 14** Perbandingan tegangan setiap bus dengan koordinasi OLTC dan tidak

Dari data di atas di dapatkan bahwa dengan menggunakan DG akan mendapatkan kerugian yang minimal hanya saja jika tidak ada pengaturan sizing maka akan mengakibatkan overvoltage dan untuk mengatasi permasalahan tersebut koordinasi OLTC ini diperlukan dan dari gambar (4.14) terlihat rugi daya yang dihasilkan setelah penambahan DG dan Setting OLTC lebih rendah disbanding penambahan DG saja.

#### 4.4. Validasi Hasil Perhitungan MATLAB dengan ETAP

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

Validasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Validasi didapat dengan membandingkan selisih perhitungan dari kedua metode tersebut.

##### 4.4.1. Validasi Hasil Optimasi lokasi DG dan koordinasi OLTC

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

**Tabel 4. 10** Hasil validasi nilai total rugi daya setiap kasus pada sistem IEEE 33 bus

Kasus	P Loss MATLAB (kW)	P Loss ETAP (kW)	Error (%)
DG A1	219.842	219.8	0,02%
DG A2	93.455	93.4	0,06%
DG A3	60.9894	61	0,02%
DG A4	65.2669	65.3	0,05%
DG A3 + OLTC	59.8096	60.4	0.9%

Dari tabel hasil validasi didapatkan nilai error yg besar berada pada kasus DG A3+OLTC sebesar 0,9%.

#### 4.5. Perbandingan Metode untuk GA dan BPSO

Pada tugas akhir ini digunakan metode *Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)* di bandingkan oleh metode *Genetic Algorithm (GA)* [17] dengan sistem yang sama dan letak OLTC yang sama didapatkan hasil seperti pada table 4.11.:

**Tabel 4. 11** Hasil Perbandingan Metode GA dan PSO

Metode	Setting Tap	Losses (kW)	Iterasi
GA	0	11.02777	200
	0		
	1		
	0		
	0		
BPSO	2	10.0464	100
	0		
	1		
	0		
	0		

Dari tabel 4.11 didapatkan bahwa metode yang direkomendasikan mendapat nilai rugi jaringan yang minimal dan tegangan yang sesuai standart adalah dengan metode BPSO. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan metode BPSO mendapatkan rugi daya lebih sedikit sebesar 10.0464 kW disbanding metode GA yang mendapatkan rugi daya sebesar 11.02777. Perbandingan ini menggunakan plan yang sama yaitu Microgrid IEEE 34 Bus dengan rentang level tap sesuai dengan refrensi[17].

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan dan analisa, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi awal sistem distribusi listrik yang memiliki kondisi kerugian daya yang profil tegangan yang dibawah standart PLN yaitu untuk tegangan +5 % dan – 10%.dari tegangan awal sistem 12.66 dan untuk rugi daya tidak lebih dari 5-6% dari total daya konsumsi beban
2. Berdasarkan hasil simulasi optimasi lokasi *Distributed Generation* (DG) Setiap penambahan DG akan mengalami penurunan rugi daya hingga pada penambahan DG ketiga dengan kapasitas daya yang tetap yaitu P=1.7 MW dan Q=1.3MW dan rugi daya paling minimal berada pada kasus A3 dengan penambahan DG ke 3 mendapatkan rugi daya sebesar 60.989411 kW namun pada kasus ini peningkatan tegangan cenderung berlebihan sehingga mengakibatkan masalah yaitu overvoltage, untuk itu perlu adanya perbaikan lanjutan dengan koordinasi OLTC
3. Untuk peletakan menggunakan LSF dapat mempengaruhi besar sizing Transformator yang digunakan, dan sizing ini berpengaruh terhadap impedansi transformator yang jadi bahan pertimbangan dalam optimasi sistem ini.
4. Berdasarkan hasil simulasi optimasi koordinasi *on load tap changer* (OLTC) dengan adanya pengaturan level OLTC untuk pengaturan tegangan tidak akan menambah rugi daya bahkan dengan adanya optimasi ini turut membantu mengurangi rugi daya seminimal mungkin dengan profil tegangan yang masih sesuai dengan standart acuan yaitu PLN
5. Berdasarkan hasil koordinasi OLTC dan melihat besar sizing tranformator maka diperlukan modifikasi jenis transformator. Mengingat ketidak sediaan jenis transformator dengan spesifikasi sizing yang relatif tidak terlalu besar maksimal yaitu 2.5MW dan penggunaan OLTC hingga level 6 dengan presentase 1.25% untuk setiap kenaikannya. Hal ini perlu dilakukan agar optimasi ini berjalan optimal

## **5.2. Saran**

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

1. Perlu adanya pengembangan program agar bisa digunakan untuk jaring tiga fasa tidak seimbang.
2. Pemodelan DG lebih detail untuk mendekati kondisi sebenarnya.
3. Permodelan OLTC lebih detail untuk mendekati kondisi sebenarnya
4. Untuk penelitian selanjutnya, tidak hanya memadukan 2 cara (penambahan DG) dengan koordinasi Transformator mungkin dengan pertimbangan lain seperti rekonfigurasi jaringan penambahan kapasitor dll

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kashem M. Muttaqi, D. T. Le, Michael Negnevitsky, and Gerard Ledwich, "A Coordinated Voltage Control Approach for Coordination of OLTC, Voltage Regulator, and DG to Regulate Voltage in a Distribution Feeder," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. Volume 51, Apr. 2015.
- [2] PLN (persero), *Standart Perusahaan Listrik Negara*. 1995.
- [3] Christof Deckmyn, Tine L. Vandoorn, Bart Meersman, Louis Gevaert, and Lieven Vandevelde, "A coordinated voltage control strategy for on-load tap changing transformers with the utilisation of distributed generators," *Energy Conf. ENERGYCON 2016 IEEE Int.*, Apr. 2016.
- [4] Ahmed R. Abul'Wafa, "A network-topology-based load flow for radial distribution networks with composite and exponential load," *Elsevier*, May 2012.
- [5] Nizar Syamsudin, *Minimisasi rugi daya menggunakan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi Distributed Generation (DG) pada sistem distribusi dengan metode genetic algorithm*. Tugas akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015.
- [6] Ackermann Thomas, Andersson Goran, and Soder Lennart, "Distributed Generation : a definition," *Electr. Power Syst. Res.*, Desember 2000.
- [7] Muhammad Bagus Priambodo, *Optimasi Rekonfigurasi Jaringan Dan Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG) Menggunakan Metode Genetic Algorithm Untuk Meminimalkan Deviasi Tegangan Pada Jaringan Distribusi Radial Tiga Fasa*. Tugas akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015.
- [8] Prof. Krishna Vasudevan, Prof. G. Sridhara Rao, and Prof. P. Sasidhara Rao, *Electrical Machines I* .
- [9] Carlos Aparecido Ferreira and R.B. Prada, "Improved model for tap-changing transformer," *IET Gener. Transm. Distrib.*, Apr. 2012.
- [10] "Technical Specification for Power Transformers," *APDRP Scheme*, 2015.

- [11] Mojtaba Ahmadiéh Khanesar, Hassan Tavakoli, Mohammad Teshnehlab, and Mahdi Aliyari Shoorehdeli, "Novel Binary Particle Swarm Optimization," *IEEE Confrence Control Autom.*
- [12] "Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)," university technology malaysia (UTM).
- [13] "A Novel Binary Particle Swarm Optimization."
- [14] Junainah Sardi, N. Mithulananthan, and Duong Quoc Hung, "A Loss Sensitivity Factor Mehtod for Locating ES in a Distribution System with PV units," *IEEE PES Asia-Pac. Power Energy Eng. Confrence*, 2015.
- [15] S.A. ChithraDevi, L. Lakshminarasimman, and R. Balamuruga, "Stud Krill herd Algorithm for multiple DG placement and sizing in a radial distribution system," *Elsevier*, Oktober 2016.
- [16] Basuki Rachmad, *Kombinasi "Sequential Quadratic Programming" Dan "Trust Region" Untuk Penyelesaian Optimal Power Flow Pada Sistem Distribusi Radial Mempertimbangkan DG*. Tugas akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2016.
- [17] Ratih Maratus Sholihah, *Optimasi Konsumsi Daya Dengan Genetic Algorithm dan Conservation Voltage Reduction (GA-CVR) Pada Microgrid*. Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015.

## LAMPIRAN

**Tabel 1** Data Beban

Bus	Beban		Jenis Beban
	P (MW)	Q (MVAR)	
2	0.15	0.09	Konstan KVA
3	0.135	0.06	Konstan KVA
4	0.18	0.12	Konstan KVA
5	0.09	0.045	Konstan KVA
6	0.09	0.03	Konstan KVA
7	0.3	0.15	Konstan KVA
8	0.3	0.15	Konstan KVA
9	0.09	0.03	Konstan KVA
10	0.09	0.03	Konstan KVA
11	0.0675	0.045	Konstan KVA
12	0.09	0.0525	Konstan KVA
13	0.09	0.0525	Konstan KVA
14	0.18	0.12	Konstan KVA
15	0.09	0.015	Konstan KVA
16	0.09	0.03	Konstan KVA
17	0.09	0.03	Konstan KVA
18	0.135	0.075	Konstan KVA
19	0.135	0.075	Konstan KVA
20	0.135	0.075	Konstan KVA
21	0.135	0.075	Konstan KVA
22	0.135	0.075	Konstan KVA
23	0.135	0.075	Konstan KVA
24	0.63	0.3	Konstan KVA
25	0.63	0.3	Konstan KVA
26	0.09	0.0375	Konstan KVA
27	0.09	0.0375	Konstan KVA
28	0.09	0.03	Konstan KVA
29	0.18	0.105	Konstan KVA
30	0.3	0.9	Konstan KVA
31	0.225	0.105	Konstan KVA

**Tabel 1** Data Beban (lanjutan)

Bus	Beban		Jenis Beban
	P (MW)	Q (MVAR)	
32	0.315	0.15	Konstan KVA
33	0.09	0.06	Konstan KVA
2	0.15	0.09	Konstan KVA
Total	5.5725	3.525	

**Tabel 2** Data Saluran

Saluran		Impedansi		Transformator (OLTC)		
Bus 1	Bus 2	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	R (p.u)	X (p.u)	Kapasitas (MVA)
1	2	0.09	0.047	-	-	-
2	3	0.49	0.251	-	-	-
3	4	0.37	0.186	-	-	-
4	5	0.38	0.194	-	-	-
5	6	0.82	0.707	0.00513	0.05476	2.5
6	7	0.19	0.619	-	-	-
7	8	0.71	0.235	-	-	-
8	9	1.03	0.74	0.00767	0.05446	2
9	10	1.04	0.74	-	-	-
10	11	0.2	0.065	-	-	-
11	12	0.37	0.124	-	-	-
12	13	1.47	1.155	-	-	-
13	14	0.54	0.713	-	-	-
14	15	0.59	0.526	-	-	-
15	16	0.75	0.545	-	-	-
16	17	1.29	1.721	-	-	-
17	18	0.73	0.574	-	-	-
2	19	0.16	0.157	-	-	-
19	20	1.5	1.355	0.001347	0.05333	0.63
20	21	0.41	0.478	-	-	-
21	22	0.71	0.937	-	-	-
3	23	0.45	0.308	-	-	-

**Tabel 2** Data Saluran (lanjutan)

Saluran		Impedansi		Transformator (OLTC)		
Bus 1	Bus 2	R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	R (p.u)	X (p.u)	Kapasitas (MVA)
23	24	0.9	0.709	0.00513	0.05476	2
24	25	0.9	0.701	-	-	-
6	26	0.2	0.103	-	-	-
26	27	0.28	0.145	-	-	-
27	28	1.06	0.934	0.00767	0.05446	2.5
28	29	0.8	0.701	-	-	-
29	30	0.51	0.259	-	-	-
30	31	0.97	0.963	-	-	-
31	32	0.31	0.362	-	-	-
32	33	0.34	0.53	-	-	-
1	2	0.09	0.047	-	-	-

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Aji Istanto Rambono. Anak pertama dari dua bersaudara. Kelahiran Surabaya tanggal 27 Oktober 1994. Mengawali pendidikan di SDN 1 Gudang Kabupaten Situbondo pada tahun 2000-2006 kemudian melanjutkan pendidikan pada tingkat menengah pertama di SMPN 1 Situbondo pada tahun 2006-2009 setelah itu melanjutkan jenjang pendidikan di SMAN 1 Situbondo pada tahun 2009-2012 selanjutnya penulis melanjutkan ke jenjang diploma di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan D3 Teknik Elektro Industri pada tahun 2012-2015 dan kemudian melanjutkan ke jenjang sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi elektro Departemen Teknik Elektro program studi Teknik Sistem Tenaga 2015-hingga sekarang..

*Halaman ini sengaja dikosongkan*