



TESIS – TE142599

Alokasi Optimum Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Tidak Seimbang Dengan Mempertimbangkan Harmonisa Dan Indek Resonansi Menggunakan Algoritma PSO.

AYUSTA LUKITA WARDANI
2215201209

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

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS – TE142599

Alokasi Optimum Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Tidak Seimbang Dengan Mempertimbangkan Harmonisa Dan Indek Resonansi Menggunakan Algoritma PSO.

AYUSTA LUKITA WARDANI
2215201209

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

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Ayusta Lukita Wardani
NRP. 2214101206

Tanggal Ujian : 12 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP: 194907151974121001
2. Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T. (Pembimbing II)
NIP: 197411292000121001
3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. (Penguji)
NIP: 196404051990021001
4. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. (Penguji)
NIP: 197309271998031004
5. Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. (Penguji)
NIP: 198109052005011002



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“ALOKASI OPTIMUM KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA TIDAK SEIMBANG DENGAN MEMPERTIMBANGKAN HARMONISA DAN INDEK RESONANSI MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO”** 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, Mei 2017

Ayusta Lukita Wardani

2214201206

Halaman ini sengaja dikosongkan

Alokasi Optimum Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Tiga Fasa Tidak Seimbang Dengan Mempertimbangkan Harmonisa dan Indek Resonansi Menggunakan Algoritma PSO

Nama Mahasiswa : Ayusta Lukita Wardani
NRP : 2214201206
Pembimbing : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
: Dr. Rony Seto Wibowo, S.T, M.T.

ABSTRAK

Saluran distribusi menghubungkan antara sistem pembangkitan dan sistem transmisi dengan beban. Kualitas daya pada sistem distribusi mempengaruhi kelancaran distribusi listrik. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh faktor daya rendah, tegangan jatuh, rugi jaringan dan harmonisa.

Pemasangan kapasitor dapat mengatasi permasalahan kualitas daya bila penempatannya tepat. Pada sistem terdistorsi kehadiran kapasitor dapat memperbaiki level harmonisa dan menyebabkan resonansi baik parallel atau seri. Pada penelitian ini penempatan dan kapasitas kapasitor dibatasi oleh tegangan minimum, maksimal daya reaktif beban, THD dan indek resonansi. Indek resonansi berdasarkan batas pembebanan kapasitor sesuai standar IEEE. Skema ini diujikan pada sistem distribusi 25 bus tiga fasa tidak seimbang terdistorsi dan memiliki karakteristik *undervoltage*. Hasil simulasi menunjukkan pemasangan kapasitor menggunakan algoritma PSO dengan mempertimbangkan harmonisa dan indek resonansi mampu memenuhi standar THD yaitu 4,39 % dan penurunan rugi-rugi daya aktif sebesar 21,18 % dan tegangan minimal 0,95 pu.

Kata kunci : indek resonansi, kapasitor, PSO, rugi jaringan, THD

Halaman ini sengaja dikosongkan

Optimum Capacitor Allocation In Three Phase Unbalanced Radial Distribution Systems With Harmonic And Resonance Index Consideration Using Particle Swarm Optimization.

Student name : Ayusta Lukita Wardani
Student Identity Number : 2214201206
Supervisor : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
: Dr. Rony Seto Wibowo, S.T, M.T.

ABSTRACT

Distribution system connects between generation system and transmission system to the load. Power quality in distribution system can affect the flow of electric distribution. Decrease in power quality can be caused of low power factor, voltage drop, line losses and harmonic.

Installation of capacitors can overcome the power quality problems when placement is appropriate. In a distorted system the presence of a capacitor may aggravate the harmonic level and cause either parallel or series resonance. In this research, capacitor placement and capacities are limited by minimum voltage, maximum reactive power load, THD and resonance index. Resonance index based on limit of capacitor loading according to IEEE standard. This scheme is tested on a distorted three-phase unbalanced distribution system which is have undervoltage characteristics. The simulation result shows the installation of capacitor using PSO algorithm by considering harmonics and resonance index capable to fulfill standard of THD that is 4,39% and decrease of active power loss equal to 21,18 % and minimum voltage 0,95 pu.

Keyword: capacitor, line losses, resonance index, PSO, THD.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“ALOKASI OPTIMUM KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TIGA FASA TIDAK SEIMBANG DENGAN MEMPERTIMBANGKAN HARMONISA DAN INDEK RESONANSI MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO”**. Adapun tujuan dari penyusunan Tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar master teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan laporan Tesis ini, kami banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

Dalam penyusunan laporan Tesis ini, kami banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua Mama dan Papi atas doa, semangat dan dukungan. Mbak Ayu atas teladan untuk melanjutkan pendidikan lebih tinggi. Mas Ikhsan sebagai suami yang telah mendukung dan membesarkan hati, dan keluarga Pasuruan, Probolinggo dan Samarinda.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. dan Bapak Dimas Fajar Uman Putra, S.T, M.T. selaku dosen di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga yang telah memberikan sarannya.
4. Bapak Suyanto, S.T, M.T., yang telah memberikan banyak masukan dalam penyelesaian tesis ini.

5. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 Genap Yoakim, Rohmanita, Vicky, Nuha, Alif yang telah memberi banyak masukan dalam penyelesaian tesis ini, tetap semangat untuk kita semua.
6. Teman-teman pasca sarjana sistem tenaga Septi, Ciptian, Evin, Ari, Bang Mul, Dini, Niken, Lia, Yuli, Trisna, Khalil dan seluruh teman-teman angkatan 2013, 1014, 2015, 2016 atas dukungan yang telah diberikan.
7. Seluruh Asisten Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga yang telah memberi banyak masukan, dukungan, dan kerjasama selama ini.
8. Seluruh dosen dan administrasi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
9. Beasiswa LPDP yang telah membantu secara finansial kepada penulis selama masa perkuliahan program magister.
10. Semua pihak yang telah banyak membantu untuk menyelesaikan Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam Tesis ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik. Akhir kata semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Kontribusi	3
BAB 2 KAPASITOR UNTUK MENGURANGI RUGI JARINGAN	5
2.1 Beban pada Jaringan Distribusi	5
2.3 Harmonisa	9
2.4 Resonansi	11
2.4.1 Resonansi Paralel	11
2.4.2 Resonansi Seri.....	12
2.5 Algoritma <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	13
2.5.1 Dasar Algoritma <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	13
BAB 3	15
METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Data Penelitian	16
3.2 Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang.....	18
3.2.1 <i>Network Topology</i>	19
3.2.2 <i>Backward-Forward Sweep</i>	20
3.3 Index Resonansi	23
3.4 Penerapan Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i>	25
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS.....	27
4.1 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.	31

4.2	Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO.....	34
4.3	Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan THD.	38
4.4	Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan RI.....	42
4.5	Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan THD dan RI.....	46
BAB 5.....		51
PENUTUP		51
DAFTAR PUSTAKA.....		53
BIOGRAFI PENULIS.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Jenis Radial	5
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Jenis <i>Ring</i>	6
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Jenis <i>Mesh</i>	6
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Jenis <i>Spindle</i>	7
Gambar 2.5 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Distribusi 6 Bus	8
Gambar 2.6 Gelombang <i>Non linear</i> dengan Menambahkan Harmonisa Ketiga Frekuensi Fundamental [11].	10
Gambar 2.7 Frekuensi Fundamental, Kelipatan Kedua, dan Kelipatan Ketiga [11].	10
Gambar 2.8 Sistem Distribusi dengan Resonansi Paralel [4].	11
Gambar 2.9 Sistem Distribusi dengan Resonansi Seri [4].	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	16
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Sumber Harmonisa dan Kapasitor.	19
Gambar 3.4 Penerapan PSO	26
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang.....	27
Gambar 4.2 Profil Tegangan Fasa R Saat Kondisi Awal.....	30
Gambar 4.3 Profil Tegangan Fasa S Saat Kondisi Awal	30
Gambar 4.4 Profil Tegangan Fasa T Saat Kondisi Awal	30
Gambar 4.5 Profil THD Fasa R,S dan T Saat Kondisi Awal.....	33
Gambar 4.6 Grafik Konvergensi kasus 1.	37
Gambar 4.7 Grafik Konvergensi kasus 2.	41
Gambar 4.8 Grafik Konvergensi kasus 3.	45
Gambar 4.9 Grafik Konvergensi kasus 4.....	49

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	17
Tabel 3.2 Data Beban Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	17
Tabel 3.3 Data Beban Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	18
Tabel 3.4 Injeksi Harmonisa pada Beban	21
Tabel 3.5 IEEE STD 1036-1992 Pembebanan Kapasitor	24
Tabel 4.1 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.	28
Tabel 4.2 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	31
Tabel 4.3 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	34
Tabel 4.4 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	36
Tabel 4.6 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	38
Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	40
Tabel 4.8 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	42
Tabel 4.9 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang	46
Tabel 4.10 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	48
Tabel 4.11 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.....	49
Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Optimasi Kapasitor Sebelum Dan Sesudah Kapasitor	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi adalah komponen vital pada sistem penyaluran daya. *Radial distribution system* (RDS) paling banyak digunakan untuk sistem distribusi dikarenakan sistemnya yang simple dan biaya investasi yang murah. Kualitas daya pada sistem distribusi mempengaruhi kelancaran distribusi listrik. Penurunan kualitas daya dapat disebabkan oleh faktor daya rendah, *drop* tegangan, rugi jaringan dan harmonisa. Rugi jaringan pada sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh panjang saluran dan pembebanan. Sedangkan sumber harmonisa pada system distribusi dari peralatan elektronika daya konsumen. Harmonisa dapat menyebabkan pemanasan lebih transformer, munculnya arus netral, rugi-rugi penghantar dan mengurangi umur penghantar [4]. Apabila harmonisa melebihi dari standar IEEE 519-1992 dapat menyebabkan kerusakan permanen dari peralatan listrik.

Pemasangan kapasitor dapat mengurangi rugi jaringan, meningkatkan profil tegangan, kapasitas jaringan distribusi dan faktor daya. Pemasangan kapasitor yang tidak tepat dapat mengakibatkan resonansi seri maupun paralel [11]. Pemasangan kapasitor meliputi penentuan jumlah, tipe, lokasi dan nilai kapasitor sehingga dapat mengurangi rugi daya reaktif. Pemasangan kapasitor juga harus mempertimbangkan harmonisa agar nilai THD tidak naik [5].

Untuk menganalisa efek dari gangguan harmonisa maka THD digunakan sebagai acuan dan dibatasi maksimal sebesar 5%. *Radial Distribution Power Flow Algorithm* (RDPF) digunakan untuk menentukan profil tegangan pada setiap bus. Sedangkan *Harmonics Power Flow Algorithm* (HPF) digunakan untuk menentukan profil tegangan dengan distorsi harmonisa pada setiap bus. Gabungan algoritma tersebut untuk menentukan besarnya THD pada tiap bus. *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan untuk menentukan peletakan kapasitas kompensator daya reaktif berupa kapasitor dengan mempertimbangkan harmonisa [5]. Penelitian ini menggunakan indek Resonansi (RI) untuk membatasi level resonansi antara

kapasitor dengan sistem. Nilai RI didapatkan dari standar pembebanan kapasitor shunt pada IEEE std.1036-1992. Diharapkan setelah menggunakan PSO dapat mengurangi rugi daya aktif pada jaringan dengan batasan THD kurang dari 5%.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Dimanakah letak dan berapa nilai kapasitor yang akan dipasang pada sistem distribusi radial tiga fasa tidak seimbang
2. Berapakah THD pada system distribusi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor.
3. Bagaimanakah pengaruh RI pada pemasangan kapasitor pada sistem distribusi tiga fasa tidak seimbang.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Mengurangi rugi-rugi jaringan pada sistem distribusi radial tiga fasa tidak seimbang dan dapat memenuhi standart THD 519-1992 IEEE *Standard of Harmonics Distortion*.
2. Mencegah terjadinya resonansi antara kapasitor dan sistem distribusi.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada beberapa hal:

- 1 Simulasi penelitian ini hanya dilakukan secara off line dengan menggunakan simulasi matlab.
- 2 Orde harmonisa yang digunakan untuk mengatur RI adalah 5, 7, 11 dan 13.

1.5 **Kontribusi**

Rugi-rugi jaringan pada sistem radial tiga fasa tidak seimbang dapat diminimalkan dan dapat memenuhi standar THD IEEE dengan metode yang dirancang. Pengembangan penelitian ini adalah penambahan indeks resonansi dengan parameter yang dikontrol sesuai dengan IEEE *Guide for application of shunt power capacitor IEEE std.1036-1992*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

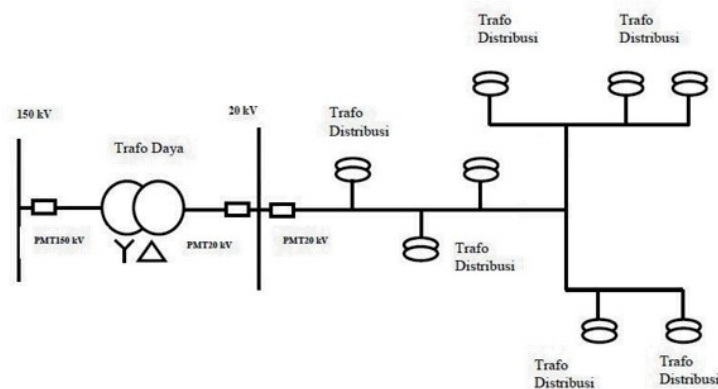
KAPASITOR UNTUK MENGURANGI RUGI JARINGAN

2.1 Beban pada Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik terbagi menjadi tiga bagian penting yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi [4]. Daya listrik yang dihasilkan dari pembangkit disalurkan melalui jaringan transmisi dan distribusi sehingga sampai ke beban. Sistem jaringan distribusi digunakan untuk menyalurkan energi listrik berdaya besar menuju ke konsumen atau pemakai energi listrik. Beberapa jenis rangkian yang digunakan untuk sistem distribusi adalah radial, *ring*, *mesh* dan *spidle*.

2.1.1 Jaringan Radial

Jaringan radial merupakan jaringan sistem distribusi yang sederhana dan murah biaya investasinya. Pada jaringan ini arus yang paling besar adalah yang paling dekat dengan gardu induk. Namun dalam penyaluran daya listrik kurang handal karena bila terjadi gangguan pada penyulang maka akan menyebabkan pemadaman pada penyulang karena hanya memiliki satu jalur suplay.

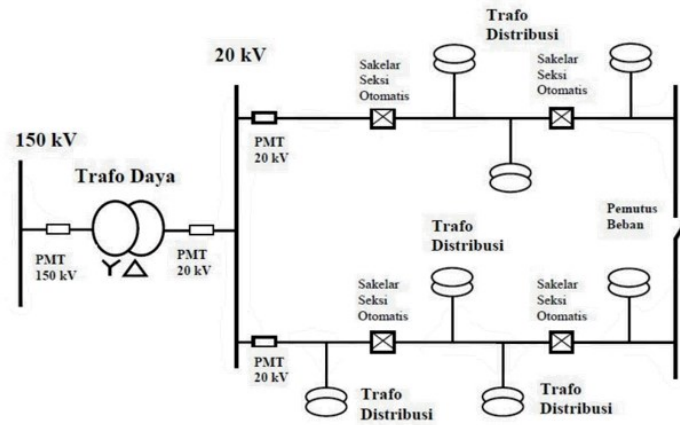


Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Jenis Radial

2.1.2 Jaringan Ring

Jaringan *ring* merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja sebagai radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat

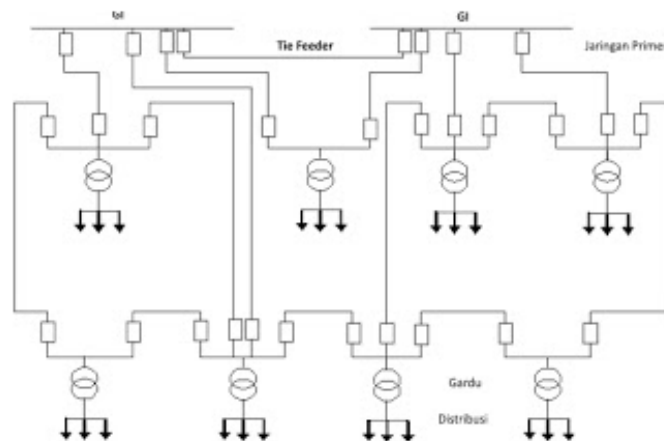
dioperasikan sehingga gangguan dapat terisolir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran daya listrik dibandingkan dengan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Jenis *Ring*

2.1.3 Jaringan Mesh

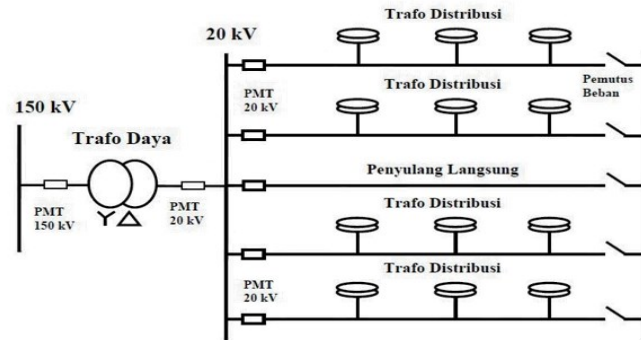
Struktur jaringan distribusi mesh dibentuk dari beberapa Gardu Induk yang saling dihubungkan sehingga daya beban disuplai oleh lebih dari satu gardu induk dibandingkan dengan dua tipe sebelumnya, tipe ini lebih handal dan biaya investasi lebih mahal.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Jenis *Mesh*

2.1.4 Jaringan *Spindle*

Jaringan distribusi *spindle* merupakan jaringan distribusi primer gabungan dari struktur radial yang ujung-ujungnya dapat disatukan pada gardu hubung dan terdapat penyulang ekspres. Penyulang ekspres ini harus selalu dalam keadaan bertegangan dan siap terus menerus untuk menjamin bekerjanya sistem dalam menyalurkan energy listrik pada saat terjadi gangguan atau pemeliharaan.



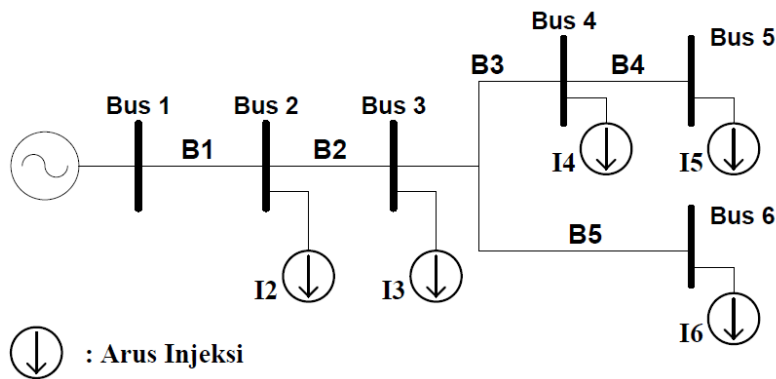
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Jenis *Spindle*

2.2 Analisis Aliran Daya Radial

Metode *Gauss Seidel*, *Fast Decoupled* dan *Newton Rpson* merupakan metode yang akurat untuk menghitung aliran daya pada sistem transmisi, namun tidak dapat digunakan pada sistem distribusi radial. Sehingga digunakan Salah satu metode untuk menghitung aliran daya pada sistem distribusi radial adalah metode *Bus Injection to Branch Current–Branch Current to Bus Voltage* (BIBC-BCBV). Metode yang mampu menemukan solusi aliran daya dengan memanfaatkan karakter topologi jaring distribusi akan digunakan pada penelitian ini.

Metode tersebut menghindari penggunaan matriks Jacobian atau matriks admitansi Y yang harus digunakan pada metode konvensional sehingga lebih menghemat waktu perhitungan. Matrik BIBC dan BCBV digunakan untuk menghitung *drop* tegangan pada sistem distribusi.

Salah satu contoh membentuk persamaan aliran daya adalah sebagai berikut



Gambar 2.5 *Single Line Diagram* Sistem Distribusi 6 Bus

Gambar 2.5 menunjukkan sebuah sistem distribusi sederhana dengan model rangkaian radial murni disuplai dari satu sumber untuk menyuplai beban yang tersebar dengan jalur tertentu. Maka didapatkan persamaan sederhana sebagai berikut:

$$B_5 = I_6 \quad (2.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.5)$$

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

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

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.6)$$

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

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.7)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.8)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.9)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.10)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36} \quad (2.11)$$

Maka *drop* tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut:

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (2.12)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \quad (2.13)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \quad (2.14)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \quad (2.15)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_5 \cdot Z_{36} \quad (2.16)$$

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

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

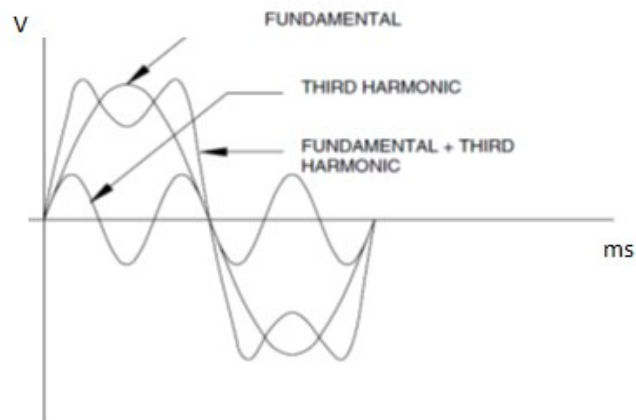
$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (2.18)$$

2.3 Harmonisa

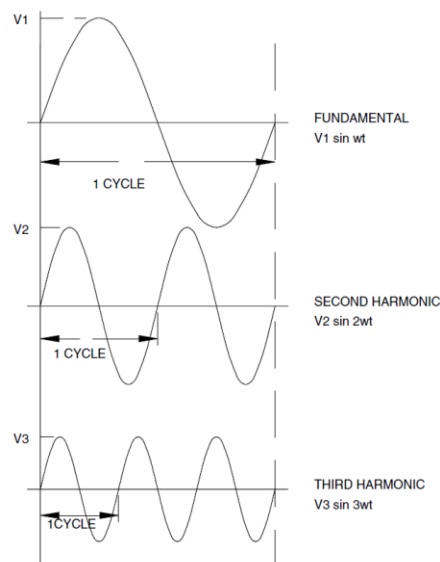
Harmonik adalah penjumlahan gelombang dengan berbagai frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Misal, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua adalah frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya.

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban *linear* dan beban *non linear*. Beban *linear* merupakan beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang *linear* karena arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban *non linear* menghasilkan

arus yang tidak sinusoidal meskipun sumber tegangan yang dipakai pada saat itu adalah gelombang sinus yang murni. Distorsi gelombang sinus ini terjadi karena gelombang-gelombang harmonisa menumpang pada gelombang frekuensi dasar, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dan gelombang harmonisanya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Beban *non linear* pada peralatan listrik yaitu seperti *inverter*, *converter*, lampu *fluorencent* yang menggunakan *electronic ballast* dan sebagainya.



Gambar 2.6 Gelombang *Non linear* dengan Menambahkan Harmonisa Ketiga Frekuensi Fundamental [11].

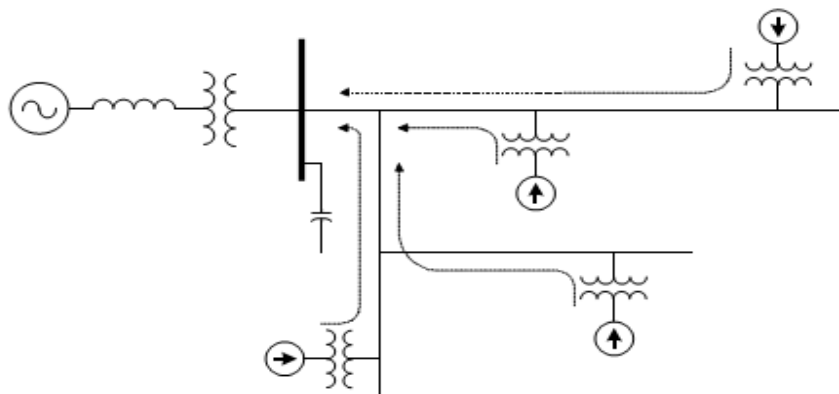


Gambar 2.7 Frekuensi Fundamental, Kelipatan Kedua, dan Kelipatan Ketiga [11].

2.4 Resonansi

Hampir semua rangkaian maupun peralatan terdiri dari kapasitansi dan induktansi. Resonansi terjadi ketika nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif ($X_L=X_C$). Jika nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif maka rangkaian akan bersifat resistif yaitu arus sefase dengan tegangan. Resonansi akan mengakibatkan tegangan dan arus yang sangat besar. Resonansi dapat terbagi menjadi resonansi paralel dan resonansi seri.

2.4.1 Resonansi Paralel



Gambar 2.8 Sistem Distribusi dengan Resonansi Paralel [4].

Dari gambar 2.8 menunjukkan sistem distribusi yang mengalami resonansi paralel dimana kapasitor shunt diparalel dengan induktansi ekivalen sistem (sumber dan transformator) saat frekuensi harmonisa. Pada saat frekuensi resonansi paralel, impedansi dari kapasitor dan inductor adalah

$$Z_p = \frac{X_c(X_{leq}+R)}{X_c+X_{leq}+R} = \frac{X_c(X_{leq}+R)}{R} = \frac{X_{leq}^2}{R} = \frac{X_c^2}{R} = QX_{leq} = QX_c \quad (2.19)$$

Dimana Q adalah $\frac{X_c}{R} = \frac{X_L}{R}$ Ini menandakan bahwa impedansi rangkaian sangat tinggi bahkan pada kondisi ideal impedansi rangkaian memiliki nilai yang tak terhingga.

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_s}{S_c}} \quad (2.20)$$

Dimana

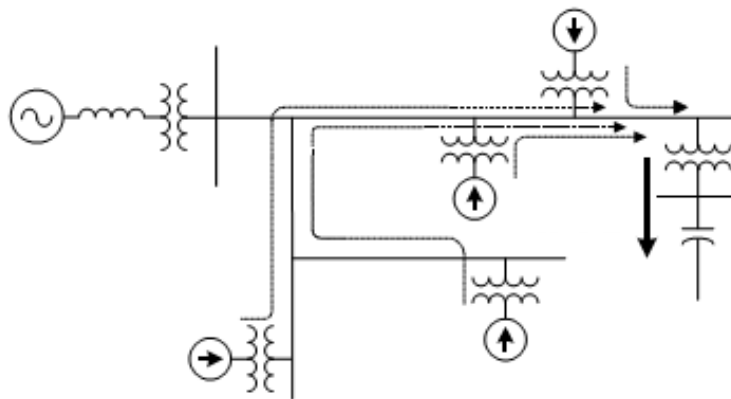
f = frekuensi fundamental (Hz)

f_p = frekuensi resonansi fundamental (Hz)

S_s = rating hubung singkat sumber (VAR)

S_c = rating kapasitor (VAR)

2.4.2 Resonansi Seri



Gambar 2.9 Sistem Distribusi dengan Resonansi Seri [4].

Dari gambar 2.9 shunt kapasitor dipasang seri dengan sumber harmonisa dan transformator. Kombinasi seri dari induktansi transformator dan shunt kapasitor menyebabkan impedansi sangat kecil mendekati nol dan hanya dibatasi oleh resistansi sehingga arus menjadi sangat tinggi.

$$f_s = f \sqrt{\frac{S_t}{S_c Z_t} - \frac{S_l^2}{S_c^2}} \quad (2.21)$$

Dimana f = frekuensi fundamental (Hz)

f_p = frekuensi resonansi fundamental (Hz)

S_t = rating transformator

S_c = rating kapasitor (VAR)

S_l = rating beban (VA)

Z_t = impedansi transformator (pu)

2.5 Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

Metode *Particle Swarm Optimization* ini didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga seperti semut, rayap, lebah atau burung [12].

Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan misalnya burung dalam suatu kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya sendiri juga dipengaruhi oleh perilaku kelompok kolektifnya. Jika satu partikel menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain akan mengikuti.

Tiap partikel terus mencari solusi terbaik untuk fungsi obyektif terkait dengan solusi terbaik (*fitness*) yang telah dicapai sejauh ini. Nilai dari *fitness* ini kemudian disimpan. Nilai inilah yang disebut *pbest*. Ketika sebuah partikel mengambil seluruh populasi sebagai topologi tetangganya maka nilai terbaik (*best value*) yang dicapai disebut *gbest*.

Konsep PSO terdiri dari langkah tiap iterasi dan perubahan *velocity* (akselerasi) pada tiap partikel menuju lokasi *pbest* dan *gbest*. Nilai akselerasi didapat dari sebuah proses dengan membangkitkan nilai acak untuk akselerasi menuju lokasi *pbest* dan *gbest*.

2.5.1 Dasar Algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*

PSO sebagai metode optimisasi mempunyai beberapa langkah untuk menjalankan algoritmanya. Algoritma tersebut dapat kita bagi menjadi beberapa poin sebagai berikut :

1. Inisialisasi populasi agen (partikel) yang terdistribusi uniform pada suatu bidang pencarian
2. Evaluasi tiap-tiap posisi dari partikel terhadap fungsi obyektif
3. Jika posisi partikel saat ini lebih baik daripada posisi *best* sebelumnya maka update posisi *best*
4. Tentukan *best* partikel menurut *best* posisi dari partikel tersebut
5. Update *velocity* dari tiap partikel menurut persamaan :

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 \text{rand}_1 x (Pbest_i^k - X_i^k) + c_2 \text{rand}_2 x (Gbest^k - X_i^k) \quad (2.22)$$

dengan:

V_i^k = *velocity* individu i pada iterasi k

w = parameter *weight*

c_1, c_2 = koefisien akselerasi

$\text{rand}_1, \text{rand}_2$ = jumlah random antara 0 dan 1

X_i^k = posisi individu i pada iterasi k

$Pbest_i^k$ = *Pbest* individu i sampai iterasi k

$Gbest_i^k$ = *Gbest* kelompok sampai iterasi k

6. Pindahkan partikel pada posisi barunya menurut persamaan :

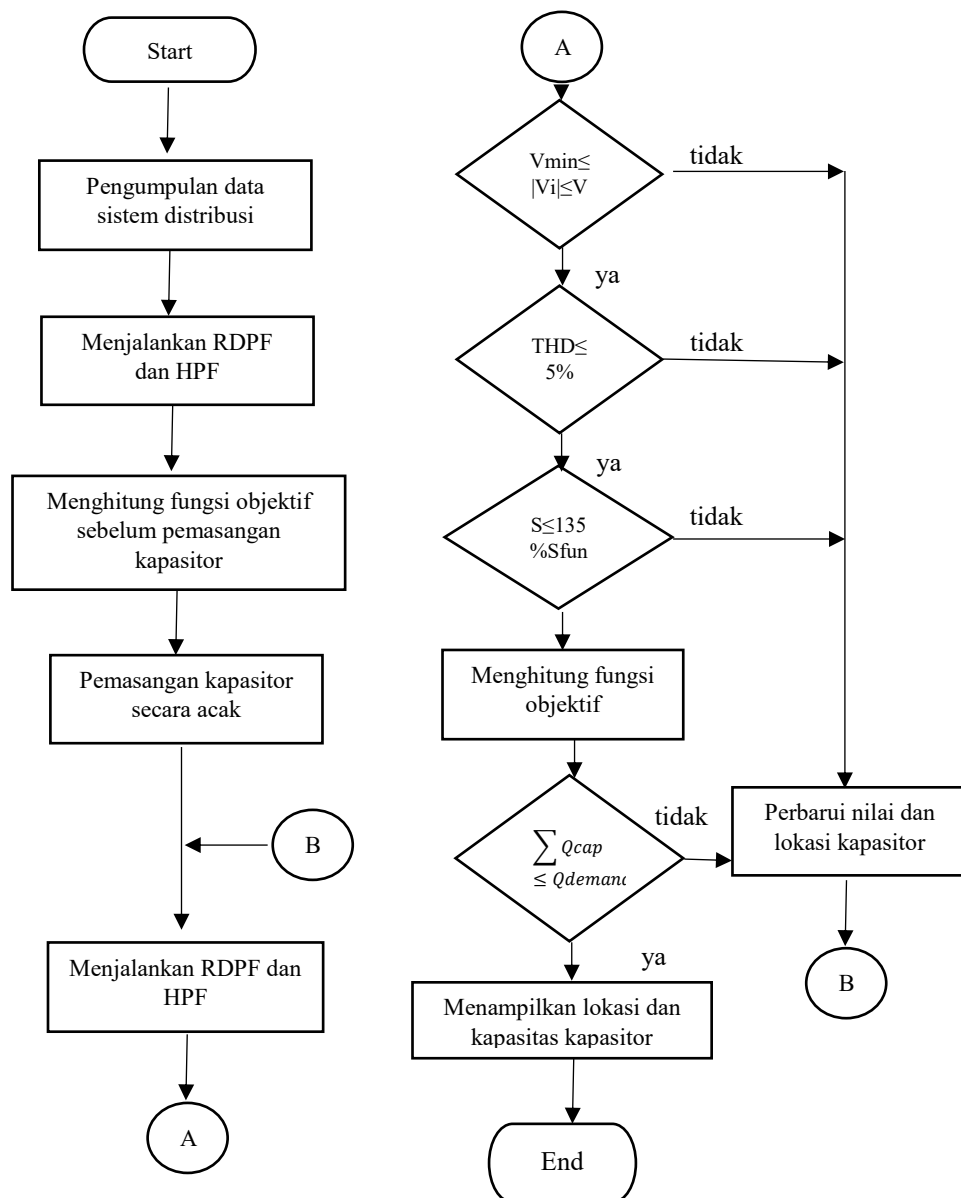
$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (2.23)$$

7. Ulangi algoritma pada langkah kedua sampai kriteria yang ingin dicapai terpenuhi.

Dalam hal ini tujuh langkah algoritma diatas diulang terus sampai fungsi obyektif yang dievaluasi memperoleh hasil yang optimal (minimal).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metoda penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat dengan diagram alir seperti pada gambar 3.1 diketahui penelitian dimulai dengan melakukan pemodelan sistem distribusi tiga fasa tidak seimbang sampai dengan menampilkan hasil simulasi.

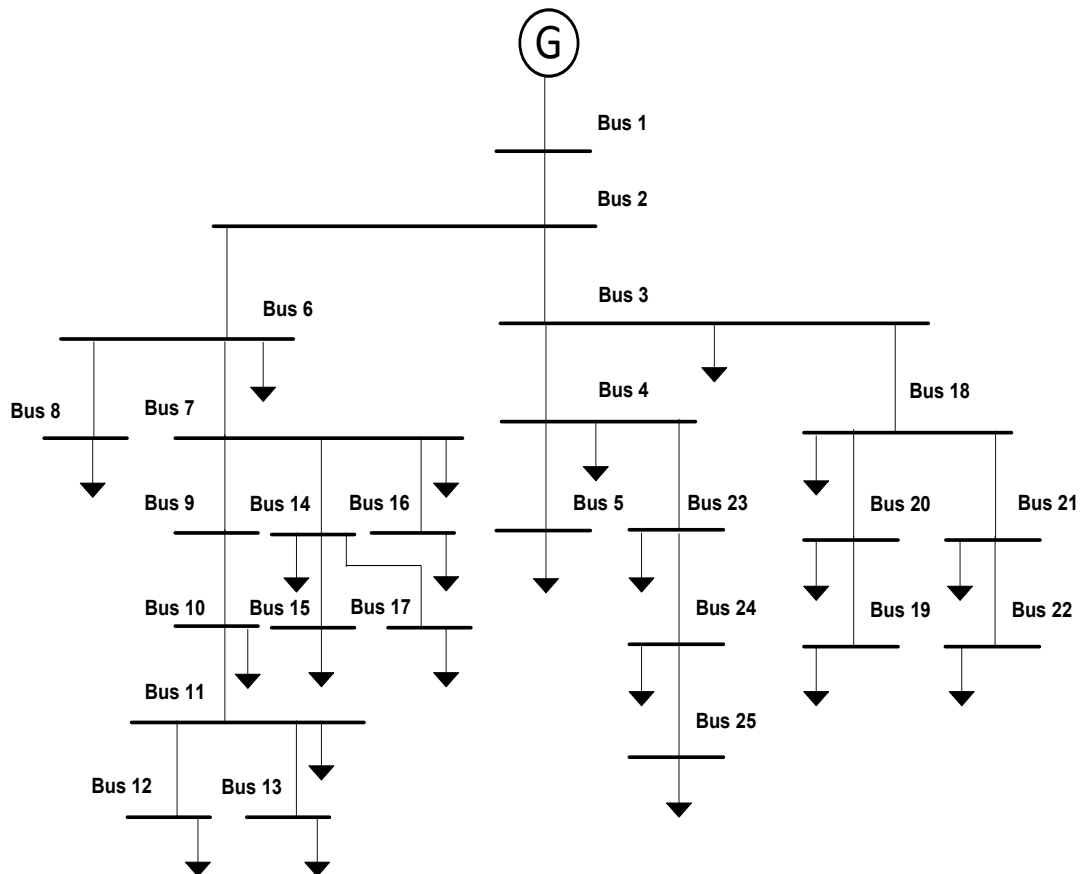


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pemodelan sistem distribusi yang digunakan adalah sistem 25 bus *unbalanced*. Tahapan setelah mendapatkan pemodelan sistem distribusi adalah menjalankan aliran daya tiga fasa tidak seimbang dan aliran daya harmonisa tiga fasa tidak seimbang kemudian menghitung fungsi objektif untuk kemudian menempatkan lokasi berdasarkan pada jumlah bus pada sistem distribusi. Nilai kapasitas kapasitor dibatasi oleh daya beban reaktif pada jaringan distribusi. Nilai kapasitas kapasitor dipilih berdasarkan standart harmonisa dan indek resonansi.

3.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sistem distribusi 25 bus *unbalanced* terdiri dari fasa R, S dan T. Gambar 3.2 menunjukkan konfigurasi sistem distribusi 25 bus.



Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Tabel 3.1 Data Saluran Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

No Cabang	Saluran		Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Dari	Ke	R (ohm)	X (ohm)	R (ohm)	X (ohm)	R (ohm)	X (ohm)
1	1	2	0,0698	0,1298	0,0712	0,1272	0,0705	0,1284
2	2	3	0,0349	0,0649	0,0356	0,0636	0,0353	0,0642
3	3	4	0,0349	0,0649	0,0356	0,0636	0,0353	0,0642
4	4	5	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
5	2	6	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
6	6	7	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
7	6	8	0,1851	0,1651	0,1864	0,1639	0,1858	0,1638
8	7	9	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
9	9	10	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
10	10	11	0,0555	0,0495	0,0559	0,0492	0,0557	0,0491
11	11	12	0,0730	0,0538	0,0731	0,0538	0,0732	0,0539
12	11	13	0,0730	0,0538	0,0731	0,0538	0,0732	0,0539
13	7	14	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
14	14	15	0,0555	0,0495	0,0559	0,0492	0,0557	0,0491
15	7	16	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
16	14	17	0,1095	0,0806	0,1097	0,0808	0,1099	0,0809
17	3	18	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
18	18	20	0,0926	0,0825	0,0932	0,0820	0,0929	0,0819
19	18	21	0,1461	0,1075	0,1463	0,1077	0,1465	0,1078
20	20	19	0,1461	0,1075	0,1463	0,1077	0,1465	0,1078
21	21	22	0,1461	0,1075	0,1463	0,1077	0,1465	0,1078
22	4	23	0,0741	0,0660	0,0746	0,0656	0,0743	0,0655
23	23	24	0,0741	0,0660	0,0746	0,0656	0,0743	0,0655
24	24	25	0,1461	0,1075	0,1463	0,1077	0,1465	0,1078

Sistem 25 Bus tiga fasa tidak seimbang memiliki impedansi yang berbeda-beda tiap fasanya.

Tabel 3.2 Data Beban Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.

Bus	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	P (mW)	Q (mVAR)	P (mW)	Q (mVAR)	P (mW)	Q (mVAR)
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,035	0,025	0,040	0,003	0,045	0,045
4	0,040	0,030	0,045	0,032	0,035	0,035
5	0,050	0,040	0,060	0,045	0,050	0,050
6	0,040	0,030	0,040	0,030	0,040	0,040

Tabel 3.2 Data Beban Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.

Bus	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	P (mW)	Q (mVAR)	P (mW)	Q (mVAR)	P (mW)	Q (mVAR)
7	0,040	0,030	0,040	0,030	0,040	0,040
8	0,060	0,045	0,050	0,040	0,050	0,050
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,040	0,030	0,040	0,030	0,040	0,040
11	0,060	0,045	0,050	0,040	0,050	0,050
12	0,050	0,035	0,050	0,040	0,060	0,060
13	0,040	0,030	0,040	0,030	0,040	0,040
14	0,035	0,025	0,040	0,030	0,045	0,045
15	0,045	0,032	0,035	0,025	0,040	0,040
16	0,050	0,035	0,060	0,045	0,050	0,050
17	0,035	0,025	0,045	0,032	0,040	0,040
18	0,133	0,100	0,133	0,100	0,133	0,133
20	0,035	0,025	0,040	0,030	0,045	0,045
21	0,040	0,030	0,035	0,025	0,045	0,045
19	0,040	0,030	0,035	0,025	0,045	0,045
22	0,060	0,045	0,050	0,035	0,050	0,050
23	0,050	0,035	0,060	0,045	0,050	0,050
24	0,035	0,025	0,045	0,032	0,040	0,040
25	0,060	0,045	0,050	0,030	0,050	0,050

Tabel 3.2 merupakan data beban pada sistem distribusi 25 bus tiga fasa tidak seimbang dengan data beban yang berbeda-beda. Terdapat dua bus yang tidak memiliki beban yaitu bus 2 dan 7. Beban terbesar berada pada bus 15 dengan nilai beban pada fasa R, S dan T yang identik.

3.2 Aliran Daya Tiga Fasa Tidak Seimbang.

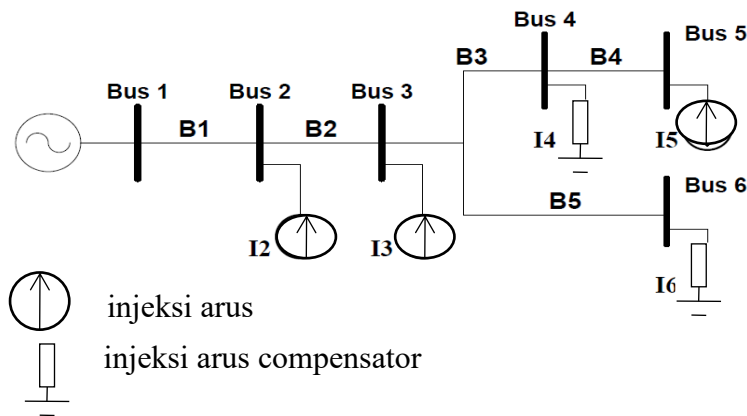
Perhitungan analisa aliran daya tiga fasa tidak seimbang mempunyai dua tahapan sebagai berikut:

1. Analisa aliran daya tiga fasa tidak seimbang menggunakan metode *Network Topology* untuk perhitungan tegangan, arus dan rugi-rugi fundamental.

- Analisa aliran daya harmonisa tidak seimbang menggunakan metode *Backward-Forward Sweep* yang diproses berdasarkan data analisa aliran daya tiga fasa tidak seimbang.

3.2.1 Network Topology.

Analisa aliran daya ini dapat menentukan model dari jaringan menggunakan K-Matrik. K-Matrik adalah matrik bujur sangkar dengan ukuran (ncabang x nbus-1). Ncabang adalah nomer dari cabang dan nbus adalah nomer dari bus. Komponen baris pada K-Matrik menyatakan cabang dari sistem dan komponen kolom menyatakan referensi bus. K-Matrik mewakili rute dari bus ke bus referensi (bus 1). Sehingga kolom K-Matrik dimulai dari bus 2. Nilai K-Matrik akan menjadi +1 bila cabang pada path dari bus ke referensi pada arah sama. Nilai K-Matrik akan menjadi -1 bila cabang pada path dari bus ke referensi berlawanan arah.



Gambar 3.3 *Single Line Diagram* Sumber Harmonisa dan Kapasitor.

$$\begin{matrix}
 \text{(Bus)} & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\
 \text{K - Matrik} = & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} & \text{(cabang)} & (3.1)
 \end{matrix}$$

Setelah membuat K-Matrik maka langkah selanjutnya membuat matrik BIBC, BCBV, *Full Body Matrix* (FBM) dan *Distributed Load Flow* (DLF). FBM adalah

matrik yang berukuran sama dengan K-Matrik namun terdiri dari element impedansi tiap saluran.

$$\begin{array}{c}
 \text{(Bus)} \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \\
 \\
 \text{BIBC} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix}
 \end{array} \quad (3.2)$$

$$\text{BCBV} = \text{BIBC}' \times \text{FBM} \quad (3.3)$$

$$\text{DLF} = \text{BIBC} \times \text{BCBV} \quad (3.4)$$

$$I_{\text{bus}(n\text{bus})}^{(k)} = \left(\frac{P_{(n\text{bus})}^{\text{sh}} + jQ_{(n\text{bus})}^{\text{sh}}}{V_{\text{bus}(n\text{bus})}^k} \right) \quad (3.5)$$

$$\Delta V_{\text{bus}}^{(k)} = \text{DLF} \times I_{\text{bus}}^k \quad (3.6)$$

$$V_{\text{Bus}}^{(k+1)} = V_{\text{bus}_{\text{noload}}} - \Delta V_{\text{Bus}}^{(k)} \quad (3.7)$$

dengan:

$P_{(n\text{bus})}^{\text{sh}}$ = daya aktif pada sistem

$Q_{(n\text{bus})}^{\text{sh}}$ = daya reaktif pada sistem

$\Delta V_{\text{bus}}^{(k)}$ = delta bus tegangan pada iterasi k

$I_{\text{bus}(n\text{bus})}^{(k)}$ = arus bus pada iterasi k

$V_{\text{bus}_{\text{noload}}}$ = tegangan awal

k = nomer iterasi

n_{bus} = nomer bus

Untuk menghitung rugi-rugi jaringan dibutuhkan data arus jaringan. Sehingga dari hubungan BIBC dan arus injeksi bus dapat ditentukan nilai arus jaringan.

$$I_{\text{line}} = \text{BIBC} * I_{\text{bus}} \quad (3.8)$$

3.2.2 Backward-Forward Sweep.

Setelah perhitungan distribusi aliran daya, hasil tersebut akan digunakan untuk menganalisa pengaruh dari harmonisa. Sumber harmonisa dibagi dua yaitu arus harmonisa dari beban non *linear* dan arus harmonisa dari kapasitor.

Aliran daya harmonisa digunakan untuk membuat HA-Matrik untuk mendeteksi keberadaan sumber harmonisa, membedakan antara tipe beban non *linear* dan tipe kompensator daya reaktif. Perubahan arus injeksi harmonisa akan berpengaruh pada tegangan distorsi harmonisa pada setiap bus. Tegangan distorsi harmonisa akan menentukan nilai THD pada setiap bus.

Tabel 3.3 Injeksi Harmonisa pada Beban

Orde	Magnitude (%)	Sudut
5	23,520	111
7	6,080	109
11	4,570	-158
13	4,200	-178

Tahapan perhitungan analisa aliran daya harmonisa sebagai berikut:

1. Menghiung arus injeksi dari beban non *linear* yang diperoleh dari persamaan berikut :

$$Ih_i^{(h)} = \frac{V_i^{(h)}}{Z_i^{(h)}} \quad (3.9)$$

dengan :

$Ih_i^{(h)}$ = arus injeksi beban non *linear* pada bus *i* pada harmonisa orde h

$V_i^{(h)}$ = tegangan harmonisa pada bus *i* harmonisa orde h

$Z_i^{(h)}$ = impedansi ekivalen dari beban *linear* pada bus *i* harmonisa ke h

Pada penelitian ini menggunakan orde 5, 7, 11 dan 13 dengan data ditunjukkan oleh table 3.3. Injeksi harmonisa pada beban didapatkan dari perkalian arus fundamental dengan arus terdistorsi pada tiap bus.

$$[I^5] = \begin{bmatrix} I_{h1fund} \times 0,2352 \angle 111 \\ I_{h2fund} \times 0,2352 \angle 111 \\ I_{h3fund} \times 0,2352 \angle 111 \\ I_{h4fund} \times 0,2352 \angle 111 \\ I_{h5fund} \times 0,2352 \angle 111 \end{bmatrix}$$

2. Menentukan matrik A yang berfungsi sebagai koefisien vector untuk mengetahui apakah arus harmonisa melewati saluran. Matrik A akan bernilai 1 apabila dilewati oleh arus harmonisa dan bernilai 0 bila tidak dilewati.
3. Membentuk matrik HA berdasarkan hubungan antara tegangan bus dengan arus harmonisa yang mengalir. Matrik HA dibentuk dari matrik BCBV dengan matrik A.

$$HA = \left[\begin{pmatrix} 1 & \cdots & H_{n_H} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{branch} & \cdots & \end{pmatrix} \vdots \begin{pmatrix} 1 & \cdots & S_{n_S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{branch} & \cdots & \end{pmatrix} \right] \quad (3.10)$$

dengan:

S_{n_S} impedansi dari kapasitor shunt

H_{n_H} = impedansi beban non *linear*

HA=

$$\begin{bmatrix} Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{24}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{24}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{24}^{(h)} + Z_{45}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} + Z_{24}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} \\ Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} + Z_{23}^{(h)} & Z_{12}^{(h)} \end{bmatrix}$$

H1
H2
S1
S2

(3.11)

Tegangan terdistorsi harmonisa dapat dihitung melalui hubungan antara HA-Matrix dan arus injeksi harmonisa. Perhitungan dari tegangan terdistorsi harmonisa dapat dihitung dari persamaan berikut

$$\left[Vn_{bus}^{(h)} \right] = [HA] x \left[In_{bus}^{(h)} \right] \quad (3.12)$$

dengan:

$Vn_{bus}^{(h)}$ = tegangan terdistorsi harmonisa dari orde ke h pada nbus

$In_{bus}^{(h)}$ = arus harmonisa dari orde ke h pada nbus

$$THD_{nbus}(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=h_0}^{hmax} |V_{nbus}^{(h)}|^2}}{|V_{nbus}^{(1)}|^2} \quad (3.13)$$

dengan:

THD_{nbus} = total distorsi harmonisa pada nbus (100%)

$V_{nbus}^{(1)}$ = nbus besarnya bus tegangan dari frekuensi fundamental

$|V_{nbus}^{(h)}|$ = nbus besarnya tegangan dari frekuensi harmonisa

h_0 = minimum orde harmonisa

$hmax$ = maksimum orde harmonisa

3.3 Index Resonansi

Metode yang umum digunakan untuk menentukan apakah kapasitor beresonansi dengan sistem suplai adalah metode yang direkomendasikan oleh IEEE std.519-1992. Metode ini menghitung rasio dari level hubung singkat sistem dengan ukuran kapasitor dengan rumusan sebagai berikut

$$h_r = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVA_{Cap}}} = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} \quad (3.14)$$

dengan:

h_r = frekuensi resonansi

MVA_{SC} = daya semu *short circuit*

MVA_{Cap} = daya semu kapasitor

X_c = reaktansi kapasitor

X_{sc} = reaktansi short circuit pada frekuensi fundamental

Metode ini sederhana dan dapat mengestimasi frekuensi resonansi pada beberapa lokasi namun memiliki kelemahan yaitu

1. Berdasarkan asumsi bahwa reaktansi harmonisa pada sistem proporsional dengan frekuensi fundamental yang ditentukan dari level hubung

singkat. Tidak ada jaminan bahwa metode ini cocok dengan praktek sistem tenaga yang terkoneksi.

2. Dari metode ini dapat dapat menghitung resonansi harmonisa namun tidak dapat menentukan tingkat resonansi pada sistem.

Pada penelitian ini menggunakan level pembebanan kapasitor sebagai acuan untuk menentukan kuantitas resonansi. Level pembebanan kapasitor sesuai dengan IEEE std 1036-1992 telah diberikan.

Tabel 3.4 IEEE STD 1036-1992 Pembebanan Kapasitor

Indeks	keterangan	Batasan
S	Daya semu kapasitor ($I_{rms} * V_{rms}$)	135%
V_{rms}	Tegangan rms kapasitor	110%
V_{peak}	Tegangan puncak kapasitor	120%
I_{rms}	Arus rms kapasitor	180%

Komponen fundamental dari arus dan tegangan kapasitor adalah

$$I_{C1} = E_1 Y_1, V_{C1} = \frac{I_{C1}}{\omega C} = \frac{E_1 Y_1}{\omega C} \quad (3.15)$$

Komponen harmonisa orde lebih dari 1 dari arus dan tegangan kapasitor adalah

$$I_{Cn} = E_n Y_n, V_{Cn} = \frac{I_{Cn}}{n\omega C} = \frac{E_n Y_n}{n\omega C} \quad (3.16)$$

Berikut adalah rumus untuk mendapatkan komponen harmonisa

$$I_{rms} = \sqrt{I_{C1}^2 + \sum_n I_{Cn}^2} = \sqrt{(E_1 Y_1)^2 + \sum_n (E_n Y_n)^2} \quad (3.17)$$

$$V_{rms} = \sqrt{V_{C1}^2 + \sum_n V_{Cn}^2} = \frac{1}{\omega C} \sqrt{(E_1 Y_1)^2 + \sum_n (E_n Y_n)^2} \quad (3.18)$$

$$S = V_{rms} I_{rms} \quad (3.19)$$

$$S = \frac{1}{\omega C} \sqrt{(E_1 Y_1)^2 + \sum_n (E_n Y_n)^2} * \sqrt{(E_1 Y_1)^2 + \sum_n (E_n Y_n)^2} \quad (3.20)$$

$$V_{peak} = \sqrt{2} V_{C1} + \sum_n \sqrt{2} V_{Cn} = \frac{\sqrt{2}}{\omega C} \left(E_1 Y_1 + \sum_n \left(\frac{E_n Y_n}{n} \right) \right) \quad (3.21)$$

Berdasarkan dari tabel parameter-parameter yang harus dipenuhi untuk pemasangan kapasitor adalah

$$S \leq 135\% S_{fundamental} \quad (3.22)$$

$$V_{rms} \leq 110\% V_{rms, fundamental} \quad (3.23)$$

$$V_{peak} \leq 120\% V_{peak,fundamental} \quad (3.24)$$

$$I_{rms} \leq 180\% I_{rms,fundamental} \quad (3.25)$$

Dengan nilai-nilai kapasitor fundamental dapat diperoleh dari

$$S_{fundamental} = V_{C1} I_{C1} = \frac{(E_1 Y_1)^2}{(\omega C)} \quad (3.26)$$

$$V_{rms,fundamental} = V_{C1} = \frac{(E_1 Y_1)}{(\omega C)} \quad (3.37)$$

$$V_{peak,fundamental} = \sqrt{2} V_{C1} = \frac{\sqrt{2}(E_1 Y_1)}{(\omega C)} \quad (3.38)$$

$$I_{rms,fundamental} = I_{C1} = E_1 Y_1 \quad (3.39)$$

3.4 Penerapan Algoritma Particle Swarm Optimization

Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi tiga fasa tidak seimbang merupakan permasalahan non interger dengan batasan variable discrete sehingga membutuhkan sebuah algoritma untuk mengoptimalkannya. Dengan fungsi objektif sebagai berikut,

$$F = \sum_{i=1}^{nb} Ploss_i^{(1)} + \sum_{i=1}^{nb} \sum_{h=h_0}^{hmax} Ploss_1^{(h)} \quad (3.41)$$

dengan:

P_{loss} = total rugi-rugi daya (kw)

nb = nomer cabang

ho = orde harmonisa ke 1

hmax = maximum orde harmonisa

Dan batasan yang digunakan adalah batasan *equality* dan *inequality*. Batasan *equality* adalah batasan yang digunakan perhitungan aliran daya yang tidak *linear* sedangkan batasan *inequality* digunakan untuk membatasi tegangan bus, besarnya THD dan besarnya daya reaktif yang dikompensasi. Berikut batasan-batasan yang harus dipenuhi,

1. Tegangan Bus

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (3.42)$$

Dimana batas bawah tegangan adalah 0,95 pu dan batas atas tegangan adalah 1.05 pu sehingga masih dalam range 5% dari tegangan nominal.

2. Level THD

$$THD \leq 5\% \quad (3.43)$$

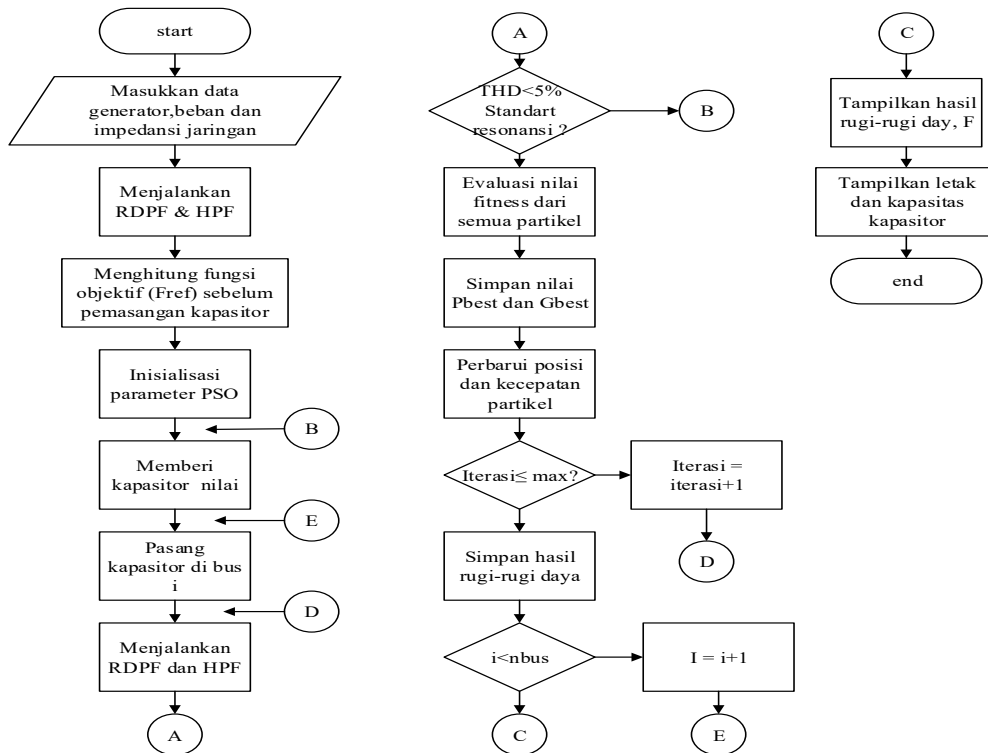
Batas THD untuk tegangan bus dibawah 69kV adalah 5%

3. Daya reaktif

$$n_{cap} * Q_{cap} \leq Q_{demand} \quad (3.44)$$

Maksimal daya reaktif yang dikompensasi dengan menggunakan kapasitor dibatasi oleh total permintaan daya reaktif beban.

Pada penelitian ini menggunakan PSO yang digunakan untuk meminimalkan rugi daya aktif dengan mempertimbangkan harmonisa dan indeks resonansi. Berikut desain perancangan program PSO di matlab:

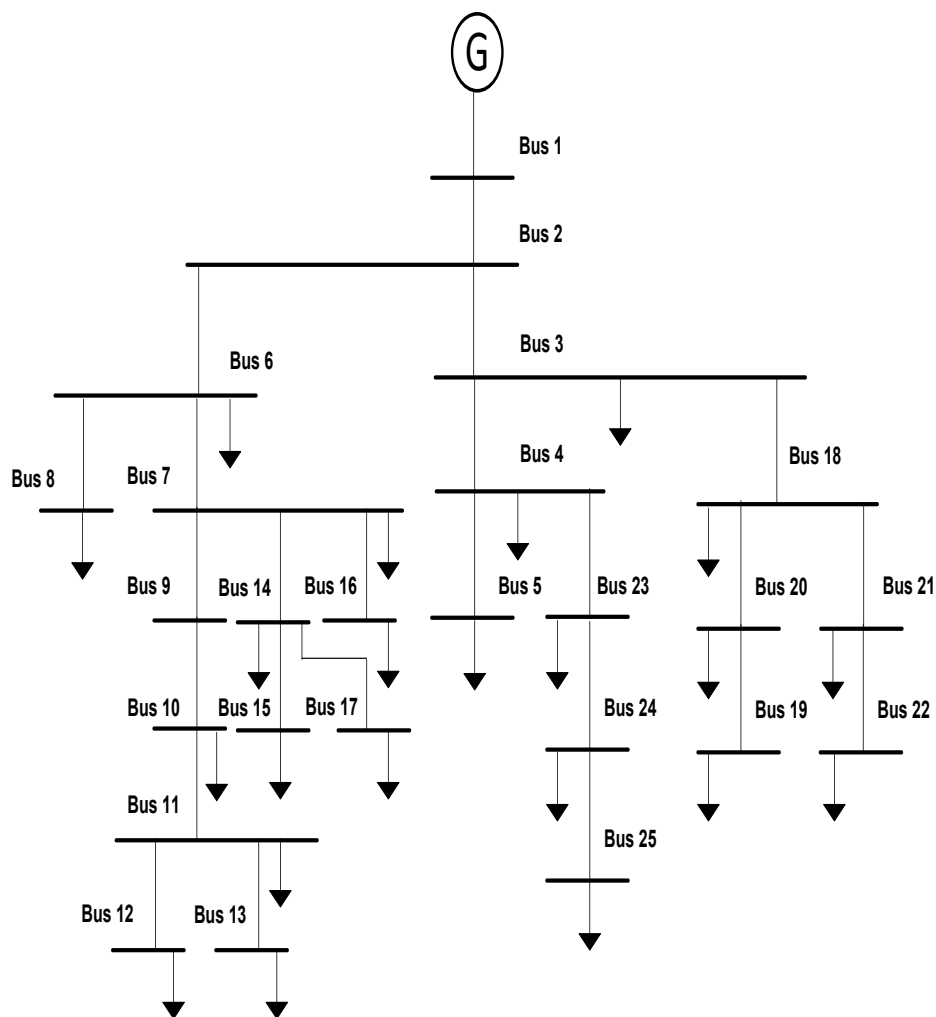


Gambar 3.4 Penerapan PSO

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan hasil simulasi yang menggunakan algoritma pemrograman seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Pada penelitian ini disimulasikan dengan memodelkan sistem distribusi kedalam 3 fasa tidak seimbang dimana data impedansi dan bebannya tidak seimbang. Analisa pada penelitian ini dilakukan bertahap pertama saat beban tanpa sumber harmonisa kedua beban dengan sumber harmonisa.



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang

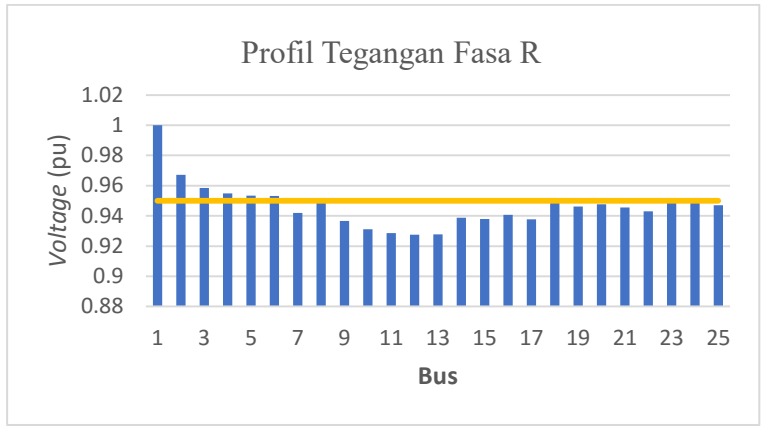
Tabel 4.1 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
1	4,16	1	2	588,2362	24,152
1	4,16	1	2	594,1577	25,1349
1	4,16	1	2	594,2391	24,8946
2	4,0235	2	3	315,9303	3,4834
2	4,0225	2	3	320,8479	3,6647
2	4,0224	2	3	320,3161	3,6218
3	3,9869	3	4	128,2753	0,5743
3	3,9857	3	4	139,4831	0,6926
3	3,9854	3	4	122,1392	0,5266
4	3,9721	4	5	27,9635	0,0724
4	3,9698	4	5	32,7807	0,1001
4	3,9714	4	5	26,6566	0,066
5	3,9661	2	6	272,3144	6,8666
5	3,9628	2	6	273,3383	6,9632
5	3,9657	2	6	273,923	6,9705
6	3,9653	6	7	217,6007	4,3845
6	3,9639	6	7	223,4361	4,6528
6	3,9638	6	7	225,3406	4,7172
7	3,9187	6	8	32,8772	0,2001
7	3,916	6	8	28,064	0,1468
7	3,9156	6	8	26,7461	0,1329
8	3,9512	7	9	105,8145	1,0368
8	3,9519	7	9	102,2695	0,9748
8	3,9524	7	9	105,915	1,0421
9	3,8961	9	10	105,8145	1,0368
9	3,8941	9	10	102,2695	0,9748
9	3,893	9	10	105,915	1,0421
10	3,8735	10	11	83,4575	0,3866
10	3,8721	10	11	79,9083	0,3569
10	3,8704	10	11	83,5402	0,3887
11	3,8628	11	12	27,3974	0,0548
11	3,8618	11	12	28,752	0,0604
11	3,8597	11	12	33,703	0,0831
12	3,8585	11	13	22,4403	0,0368
12	3,8573	11	13	22,4458	0,0368
12	3,8544	11	13	22,4583	0,0369
13	3,8592	7	14	62,6831	0,3638

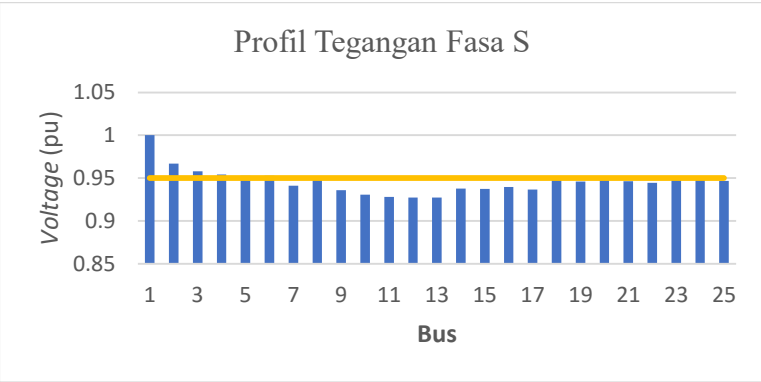
13	3,8583	7	14	65,8426	0,404
13	3,8561	7	14	68,9596	0,4418

Tabel 4.1 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.

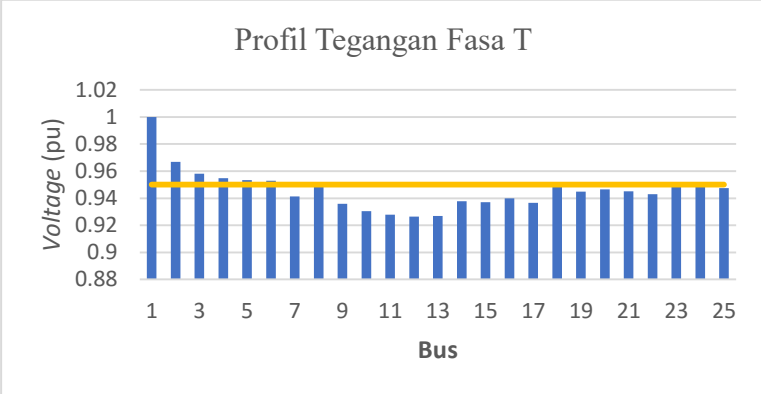
Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
14	3,9019	14	15	19,1047	0,0204
14	3,9009	14	15	22,2168	0,0275
15	3,9022	7	16	27,0158	0,0676
15	3,8995	7	16	33,2329	0,1029
15	3,8981	7	16	28,3677	0,0748
16	3,9130	14	17	19,098	0,0399
16	3,9089	14	17	24,5474	0,0661
16	3,9096	14	17	22,2305	0,0543
17	3,9009	3	18	168,9735	2,6439
17	3,8961	3	18	159,6489	2,3754
17	3,8957	3	18	174,1844	2,8186
18	3,9507	20	19	40,8936	0,1549
18	3,9516	20	19	40,8955	0,1559
18	3,9482	20	19	48,6223	0,2196
19	3,9361	18	20	55,1302	0,4440
19	3,9359	18	20	45,8293	0,3073
19	3,9302	18	20	52,5773	0,4050
20	3,9420	18	21	18,9271	0,0523
20	3,9428	18	21	22,0034	0,0708
20	3,9378	18	21	24,3348	0,0868
21	3,9334	21	22	33,1132	0,1602
21	3,9371	21	22	26,9078	0,1059
21	3,9316	21	22	28,2724	0,1171
22	3,9230	4	23	78,5324	0,4570
22	3,9287	4	23	82,6285	0,5093
22	3,9227	4	23	76,7364	0,4375
23	3,9586	23	24	51,8336	0,1991
23	3,9557	23	24	49,8307	0,1852
23	3,9583	23	24	48,739	0,1765
24	3,9498	24	25	32,9754	0,1589
24	3,9472	24	25	25,6385	0,0962
24	3,9499	24	25	26,8203	0,1054
25	3,9394	Total Losses			143,6723
25	3,9392				
25	3,9415				



Gambar 4.2 Profil Tegangan Fasa R Saat Kondisi Awal



Gambar 4.3 Profil Tegangan Fasa S Saat Kondisi Awal



Gambar 4.4 Profil Tegangan Fasa T Saat Kondisi Awal

Tabel 4.1 dan gambar 4.2 hingga 4.4 menunjukkan hasil analisa aliran daya menggunakan metode *network topology*. Dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada fasa R, S dan T cenderung dibawah standar yang ditetapkan IEEE. Tegangan yang

berada dibawah 0,95 pu ada sebanyak 30 bus. Tegangan terkecil sebesar 0,93 pu terdapat pada bus 12 fasa T karena bus 12 merupakan bus yang memiliki jarak paling jauh dari sumber. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem distribusi mengalami undervoltage. Undervoltage dapat disebabkan oleh adanya rugi jaringan. Total nilai rugi jaringan pada kondisi awal sebesar 143,6723 kW.

4.1 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang.

Pada penelitian ini terdapat enam sumber harmonisa tipe ASD dengan orde harmonisa yang digunakan adalah orde 5, 7, 11 dan 13. Beban harmonisa tersebut berada pada bus 11 fasa R, S, T, bus 15 fasa T dan bus 16 fasa R dan S.

Tabel 4.2 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Orde 5	Orde 7	Orde 11	Orde 13	THD V%
1	1,8355	0,6641	0,7843	0,8519	2,2696
1	1,8271	0,6611	0,7807	0,8480	2,2592
1	1,9903	0,7201	0,8505	0,9237	2,4610
2	1,8355	0,6641	0,7843	0,8519	2,2696
2	1,8271	0,6611	0,7807	0,8480	2,2592
2	1,9903	0,7201	0,8505	0,9237	2,4610
3	1,8523	0,6702	0,7915	0,8597	2,2904
3	1,8440	0,6672	0,7879	0,8558	2,2800
3	2,0087	0,7268	0,8584	0,9323	2,4838
4	1,8593	0,6727	0,7945	0,8629	2,2990
4	1,8514	0,6699	0,7911	0,8592	2,2892
4	2,0159	0,7294	0,8614	0,9356	2,4926
5	1,8621	0,6737	0,7957	0,8642	2,3024
5	1,8546	0,6711	0,7925	0,8607	2,2932
5	2,0187	0,7304	0,8626	0,9369	2,4962
6	2,0001	0,7235	0,8544	0,9279	2,4729
6	1,9907	0,7201	0,8503	0,9235	2,4612
6	2,1681	0,7843	0,9261	1,0058	2,6805
7	2,1635	0,7824	0,9237	1,0032	2,6744
7	2,1536	0,7788	0,9195	0,9986	2,6622
7	2,3454	0,8482	1,0014	1,0875	2,8992
8	2,1457	0,7760	0,9161	0,9950	2,6525
8	2,1341	0,7717	0,9111	0,9895	2,6380
8	2,3236	0,8403	0,9920	1,0774	2,8723
9	2,2608	0,8174	0,9650	1,0480	2,7944
9	2,2373	0,8090	0,9550	1,0372	2,7655
9	2,4277	0,8778	1,0362	1,1254	3,0008

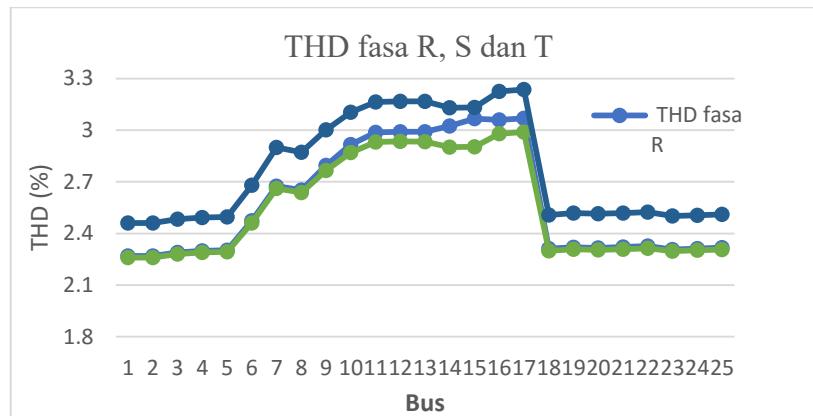
Tabel 4.2 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Orde 5	Orde 7	Orde 11	Orde 13	THD V%
10	2,3592	0,8529	1,0067	1,0933	2,9158
10	2,3220	0,8395	0,9910	1,0763	2,8700
10	2,5111	0,9078	1,0715	1,1637	3,1036
11	2,4171	0,8737	1,0312	1,1199	2,9872
11	2,3716	0,8574	1,0121	1,0991	2,9312
11	2,5596	0,9253	1,0921	1,186	3,1634
12	2,4198	0,8747	1,0324	1,1211	2,9905
12	2,3743	0,8584	1,0132	1,1004	2,9346
12	2,5632	0,9266	1,0936	1,1876	3,1678
13	2,4193	0,8745	1,0322	1,1209	2,9899
13	2,3737	0,8582	1,0130	1,1001	2,9338
13	2,562	0,9261	1,0931	1,1871	3,1663
14	2,4467	0,8843	1,0436	1,1333	3,0236
14	2,3472	0,8486	1,0017	1,0878	2,9010
14	2,5326	0,9155	1,0806	1,1735	3,1300
15	2,4823	0,8971	1,0587	1,1497	3,0674
15	2,3487	0,8491	1,0023	1,0885	2,9029
15	2,5344	0,9162	1,0813	1,1743	3,1323
16	2,4755	0,8946	1,0558	1,1465	3,0590
16	2,4109	0,8714	1,0285	1,1169	2,9794
16	2,6097	0,9432	1,1132	1,2089	3,2251
17	2,4832	0,8974	1,0590	1,1501	3,0685
17	2,4188	0,8743	1,0319	1,1206	2,9892
17	2,6191	0,9466	1,1172	1,2132	3,2366
18	1,8693	0,6764	0,7988	0,8676	2,3114
18	1,8599	0,673	0,7948	0,8632	2,2998
18	2,0277	0,7337	0,8665	0,9411	2,5072
19	1,8763	0,6789	0,8018	0,8708	2,3200
19	1,8673	0,6756	0,7979	0,8666	2,3089
19	2,0370	0,737	0,8704	0,9454	2,5187
20	1,8735	0,6779	0,8005	0,8695	2,3165
20	1,8641	0,6745	0,7965	0,8651	2,3049
20	2,0330	0,7356	0,8687	0,9435	2,5138
21	1,8775	0,6793	0,8023	0,8714	2,3216
21	1,8667	0,6754	0,7977	0,8664	2,3082
21	2,0362	0,7368	0,8701	0,945	2,5178
22	1,8825	0,6811	0,8044	0,8737	2,3277
22	1,8708	0,6769	0,7994	0,8682	2,3132
22	2,0408	0,7384	0,8721	0,9472	2,5235

Tabel 4.2 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Orde 5	Orde 7	Orde 11	Orde 13	THD V %
23	1,8656	0,6750	0,7972	0,8658	2,3068
23	1,8580	0,6723	0,7939	0,8623	2,2974
23	2,0225	0,7318	0,8643	0,9387	2,5008
24	1,8698	0,6765	0,7990	0,8678	2,3119
24	1,8620	0,6737	0,7956	0,8641	2,3023
24	2,0268	0,7333	0,8661	0,9406	2,5061
25	1,8747	0,6783	0,8011	0,8701	2,3180
25	1,8658	0,6751	0,7973	0,8659	2,3070
25	2,0311	0,7349	0,8679	0,9427	2,5115

Tabel 4.2 menunjukkan hasil analisa aliran daya harmonisa menggunakan metode *backward forward sweep*. Diperoleh *Individual Harmonic Distortion* (IHD) dan *Total Harmonic Distortion* (THD) dengan orde harmonisa 5, 7, 11 dan 13.



Gambar 4.5 Profil THD Fasa R,S dan T Saat Kondisi Awal

Dari gambar 4.5 didapatkan bahwa THD terbesar pada bus 16 fasa R sebesar 3,2366 % dan THD terkecil sebesar 2,2592 %. Dengan menggunakan rumus rugi-rugi daya aktif harmonisa sebesar 0,0658 kW. Sehingga total rugi-rugi daya aktif adalah 143,7716 kW.

4.2 Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO.

Tahap ini dilakukan pemasangan kapasitor pada 25 bus tidak seimbang yang bertujuan untuk meminimalkan rugi jaringan. Pengoptimalan kapasitor dilakukan dengan menggunakan PSO untuk lokasi dan kapasitas kapasitor. Pada kasus 1 pemilihan lokasi dan kapasitas kapasitor hanya didasari oleh pemasangan kapasitor yang dapat memberikan penurunan rugi jaringan yang paling besar, memenuhi batas minimal tegangan dan batas maksimal daya reaktif yang dikompensasi.

Dengan membatasi jumlah kapasitor sebanyak 6 buah program PSO menunjukkan bahwa lokasi dan kapasitas yang terbaik berada pada bus 11 R 600 kVAR, bus 11 T 350kVAR, 12 S 450 kVAR , 14 S 350 kVAR dan 15 T 150 kVAR, 15 T 450 kVAR.

Tabel 4.3 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
1	4,1600	1	2	524,9874	19,2375
1	4,1600	1	2	527,0789	19,7801
1	4,1600	1	2	527,2216	19,5962
2	4,0488	2	3	524,9874	3,4383
2	4,0491	2	3	527,0789	3,6151
2	4,0491	2	3	527,2216	3,5723
3	4,0125	3	4	313,8765	0,5668
3	4,0125	3	4	318,6687	0,6833
3	4,0125	3	4	318,1186	0,5194
4	3,9978	4	5	127,4443	0,0715
4	3,9967	4	5	138,5377	0,0988
4	3,9985	4	5	121,3048	0,0651
5	3,9918	2	6	27,7833	4,5644
5	3,9897	2	6	32,5594	4,4771
5	3,9928	2	6	26,4753	4,5357
6	4,0069	6	7	222,0187	2,7982
6	4,0077	6	7	219,1767	2,8823
6	4,0078	6	7	220,9623	2,9479
7	3,9767	6	8	173,8344	0,1959
7	3,9771	6	8	175,8583	0,1436
7	3,9769	6	8	178,135	0,13
8	3,9930	7	9	32,5331	0,7063

Tabel 4.3 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
8	3,9958	7	9	27,7554	0,5845
8	3,9966	7	9	26,4507	0,6582
9	3,9669	9	10	87,3348	0,7063
9	3,9649	9	10	79,1927	0,5845
9	3,9620	9	10	84,1744	0,6582
10	3,9573	10	11	87,3348	0,326
10	3,9527	10	11	79,1927	0,2286
10	3,9471	10	11	84,1744	0,2429
11	3,9543	11	12	76,6398	0,0523
11	3,9482	11	12	63,9544	0,2052
11	3,9409	11	12	66,0394	0,0797
12	3,9501	11	13	26,7617	0,0351
12	3,9499	11	13	52,9842	0,0352
12	3,9357	11	13	33,0062	0,0354
13	3,9509	7	14	21,9199	0,2519
13	3,9448	7	14	21,9537	0,2713
13	3,9375	7	14	21,9945	0,3361
14	3,9666	14	15	52,1562	0,0249
14	3,9705	14	15	53,9525	0,0197
14	3,9717	14	15	60,1478	0,1693
15	3,9654	7	16	21,1698	0,0656
15	3,9681	7	16	18,7745	0,0998
15	3,9745	7	16	55,1242	0,0725
16	3,971	14	17	26,6210	0,0387
16	3,9701	14	17	32,7206	0,0638
16	3,9709	14	17	27,9292	0,0524
17	3,9622	3	18	18,8024	2,6095
17	3,9648	3	18	24,1224	2,3431
17	3,9665	3	18	21,8332	2,7798
18	3,9766	20	19	167,8699	0,1528
18	3,9786	20	19	158,5600	0,1537
18	3,9755	20	19	172,9830	0,2166
19	3,9620	18	20	40,6264	0,4382
19	3,9630	18	20	40,6160	0,3031
19	3,9576	18	20	48,2863	0,3994
20	3,9679	18	21	54,7678	0,0517
20	3,9699	18	21	45,5150	0,0699
20	3,9652	18	21	52,2126	0,0856
21	3,9594	21	22	18,8033	0,1581

Tabel 4.3 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
21	3,9642	21	22	21,8528	0,1045
21	3,9590	21	22	24,1664	0,1155
22	3,9490	4	23	32,8950	0,4511
22	3,9558	4	23	26,7230	0,5024
22	3,9502	4	23	28,0759	0,4315
23	3,9844	23	24	78,0216	0,1965
23	3,9855	23	24	76,2103	0,1741
23	3,9855	23	24	76,2103	0,1741
24	3,9756	24	25	51,4956	0,1568
24	3,9743	24	25	49,4909	0,0949
24	3,9772	24	25	48,4041	0,1039
25	3,9653	Total Losses			112,7993
25	3,9663				
25	3,9688				

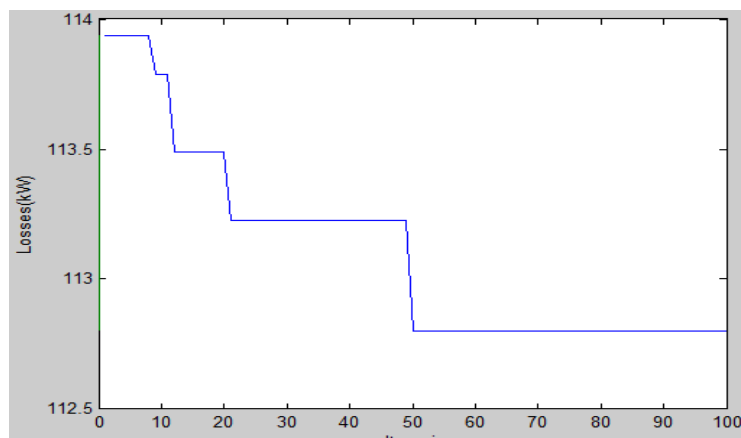
Tabel 4.4 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
1	9,1598	2,7085	3,1069
2	9,1598	2,7085	3,1069
3	9,2428	2,7332	3,1353
4	9,2768	2,7440	3,1462
5	9,2907	2,7488	3,1507
6	9,9374	2,9375	3,3689
7	10,7006	3,1631	3,6271
8	10,6569	3,1483	3,6093
9	11,2003	3,2878	3,8171
10	11,7026	3,4134	4,0109
11	11,9966	3,4866	4,1258
12	12,0094	3,4851	4,1767
13	12,0071	3,4897	4,1749
14	12,1760	3,4753	4,1556
15	12,2746	3,4824	4,1629
16	12,2573	3,5611	4,2015
17	12,2846	3,5659	4,2061
18	9,32630	2,7565	3,1644
19	9,36060	2,7674	3,1788

Tabel 4.4 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
20	9,3467	2,7626	3,1727
21	9,3668	2,7665	3,1776
22	9,3913	2,7724	3,1847
23	9,3079	2,7537	3,1565
24	9,3285	2,7595	3,1631
25	9,3528	2,7651	3,1698

Dari analisa aliran daya didapatkan bahwa ada penurunan rugi jaringan dan adanya kenaikan tegangan dari minimal 0,93 pu menjadi 0,95 pu, Tabel 4.4 menjelaskan perubahan THD setelah dipasang kapasitor terjadi kenaikan dari THD maksimal 3,2366 % meningkat menjadi 12,2746 %. Kenaikan THD tersebut dapat diakibatkan adanya resonansi antara kapasitor terhadap sistem. Hasil program tersebut tidak dapat digunakan karena melewati batas yang telah ditentukan oleh standar IEEE.



Gambar 4.6 Grafik Konvergensi kasus 1.

Konvergensi pada kasus 1 terjadi pada saat iterasi mencapai nilai diatas 50. Konvergensi ini terjadi ketika nilai *losses* sudah mencapai nilai yang paling minimal sehingga alokasi kapasitor telah optimum dengan memenuhi semua batasan yang ada.

4.3 Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan THD.

Tahap ke dua ini dilakukan pemasangan kapasitor pada 25 bus tidak seimbang yang bertujuan untuk meminimalkan rugi jaringan dan memenuhi standar THD IEEE. Pengoptimalan kapasitor dilakukan dengan menggunakan PSO untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor. Pada kasus 2 pemilihan lokasi dan kapasitas kapasitor didasari oleh pemasangan kapasitor yang dapat memberikan penurunan rugi jaringan yang paling besar, memenuhi batas minimal tegangan dan batas maksimal daya reaktif yang dikompensasi dan THD dibawah 5 %.

Dengan membatasi jumlah kapasitor sebanyak 6 buah program PSO menunjukkan bahwa lokasi dan kapasitas yang terbaik berada pada bus 9 fasa T 600 kVAR, 10 fasa R 350 kVAR, 12 fasa S 350 kVAR, 13 fasa T 150 kVAR, 17 fasa R 450 kVAR dan 17 fasa S 350 kVAR.

Tabel 4.5 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
1	4,1600	1	2	521,6770	18,9957
1	4,1600	1	2	534,2342	20,3207
1	4,1600	1	2	530,9258	19,8725
2	4,0505	2	3	521,6770	3,4354
2	4,0458	2	3	534,2342	3,6212
2	4,0475	2	3	530,9258	3,5754
3	4,0141	3	4	313,7476	0,5664
3	4,0093	3	4	318,9335	0,6844
3	4,0108	3	4	318,2555	0,5199
4	3,9994	4	5	127,3922	0,0714
4	3,9934	4	5	138,6526	0,0990
4	3,9968	4	5	121,3567	0,0652
5	3,9934	2	6	27,7719	4,5022
5	3,9865	2	6	32,5863	4,6390
5	3,9911	2	6	26,4866	4,6152
6	4,0095	6	7	220,4997	2,7799
6	4,0024	6	7	223,1031	2,9576
6	4,0051	6	7	222,8895	2,9856
7	3,9803	6	8	173,2656	0,1957

Tabel 4.5 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
7	3,9696	6	8	178,1412	0,144
7	3,9731	6	8	179,2713	0,1302
8	3,9956	7	9	32,5117	0,6557
8	3,9905	7	9	27,7927	0,5957
8	3,9938	7	9	26,4690	0,8579
9	3,9654	9	10	84,1505	0,6557
9	3,9553	9	10	79,9471	0,5957
9	3,9663	9	10	96,0972	0,7943
10	3,9505	10	11	84,1505	0,3715
10	3,9411	10	11	79,9471	0,2132
10	3,9473	10	11	92,4679	0,2816
11	3,9400	11	12	81,8196	0,0527
11	3,9353	11	12	61,7533	0,1186
11	3,9387	11	12	71,1021	0,0798
12	3,9358	11	13	26,8592	0,0353
12	3,9357	11	13	40,2815	0,0355
12	3,9335	11	13	33,0254	0,0283
13	3,9365	7	14	21,9996	0,3144
13	3,9319	7	14	22,0258	0,2728
13	3,9372	7	14	19,6736	0,4290
14	3,9764	14	15	58,2732	0,0322
14	3,9630	14	15	54,0993	0,0198
14	3,9586	14	15	67,9542	0,0267
15	3,9734	7	16	24,0703	0,0655
15	3,9606	7	16	18,8100	0,1002
15	3,9557	7	16	21,8929	0,0726
16	3,9746	14	17	26,5966	0,3492
16	3,9626	14	17	32,7823	0,1925
16	3,9671	14	17	27,9564	0,0527
17	3,9811	3	18	56,4748	2,6073
17	3,9644	3	18	41,8910	2,3471
17	3,9534	3	18	21,9060	2,7822
18	3,9782	20	19	167,8006	0,1527
18	3,9753	20	19	158,6923	0,1540
18	3,9738	20	19	173,0578	0,2168
19	3,9636	18	20	40,6096	0,4379
19	3,9597	18	20	40,6500	0,3036
19	3,9558	18	20	48,3072	0,3997
20	3,9695	18	21	54,7450	0,0516

Tabel 4.5 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
20	3,9666	18	21	45,5532	0,0700
20	3,9635	18	21	52,2353	0,0856
21	3,9610	21	22	18,7955	0,1580
21	3,9609	21	22	21,8711	0,1047
21	3,9573	21	22	24,1768	0,1156
22	3,9507	4	23	32,8813	0,4507
22	3,9525	4	23	26,7454	0,5033
22	3,9485	4	23	28,0882	0,4319
23	3,9861	23	24	77,9896	0,1963
23	3,9794	23	24	82,1347	0,1830
23	3,9838	23	24	76,2431	0,1742
24	3,9772	24	25	51,4744	0,1567
24	3,9710	24	25	49,5321	0,0950
24	3,9755	24	25	48,4249	0,1040
25	3,9670	Total Losses			114,3576
25	3,9630				
25	3,9671				

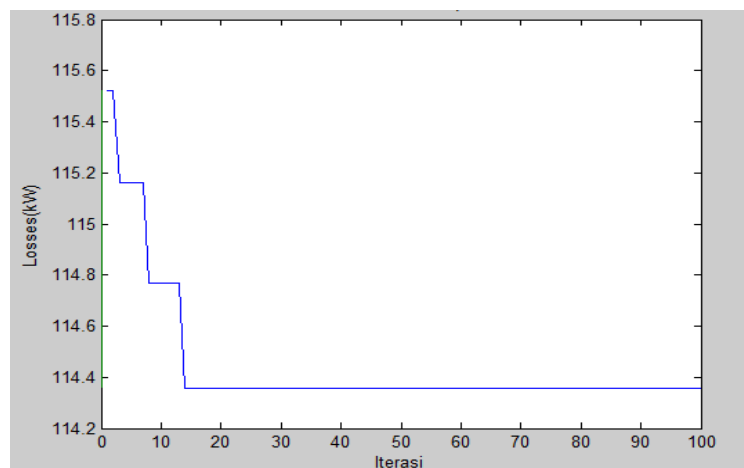
Tabel 4.6 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
1	3,5628	3,0652	3,2010
2	3,5628	3,0652	3,2010
3	3,5759	3,0774	3,2122
4	3,5812	3,0828	3,2167
5	3,5628	3,0652	3,2010
6	3,8297	3,2960	3,4405
7	4,1228	3,5510	3,7054
8	4,1070	3,5324	3,6862
9	4,3406	3,6787	3,8228
10	4,4618	3,8074	3,9530
11	4,5368	3,8636	4,0287
12	4,5417	3,8633	4,0545
13	4,5461	3,8670	4,0506
14	4,5646	3,8705	4,0576
15	4,6066	3,8729	4,0605

Tabel 4.6 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
16	4,6052	3,9508	4,1469
17	4,5976	3,9825	4,1899
18	3,5949	3,0914	3,2308
19	3,6082	3,1036	3,2454
20	3,6028	3,0982	3,2392
21	3,6105	3,1026	3,2442
22	3,6200	3,1092	3,2515
23	3,5879	3,0882	3,2227
24	3,5958	3,0948	3,2294
25	3,6051	3,1010	3,2363
25	3,5600	3,7600	2,2800

Dari analisa aliran daya yang ditunjukkan oleh table 4.5 didapatkan bahwa ada penurunan rugi jaringan walaupun tidak sebesar kasus pertama dan adanya kenikan tegangan dari minimal 0,93 pu menjadi 0,95 pu. Tabel 4.6 menjelaskan perubahan THD setelah dipasang kapasitor dengan mempertimbangkan THD sebagai batasan terjadi kenaikan dari THD maksimal 3,2366 % menjadi 4,6052 %. Kenaikan THD tersebut dapat diredam dengan mempertahankan maksimal THD tidak melebihi dari ketentuan IEEE sehingga program PSO tersebut dapat digunakan pada 25 bus tidak seimbang.



Gambar 4.7 Grafik Konvergensi kasus 2.

4.4 Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan RI.

Tahap ke tiga ini dilakukan pemasangan kapasitor pada 25 bus tidak seimbang yang bertujuan untuk meminimalkan rugi jaringan dan memenuhi standar pembebanan dari kapasitor agar sesuai dengan ketentuan IEEE sehingga mencegah dari adanya resonansi. Pengoptimalan kapasitor dilakukan dengan menggunakan PSO untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor. Pada kasus 3 pemilihan lokasi dan kapasitas kapasitor didasari oleh pemasangan kapasitor yang dapat memberikan penurunan rugi jaringan yang paling besar, memenuhi batas minimal tegangan dan batas maksimal daya reaktif yang dikompensasi dan daya semu kapasitor tidak melebihi 135 % dari standar daya semu kapasitor. Dari hasil simulasi dipasang kapasitor di lokasi bus 9 fasa R 150 kVAR, fasa T 600 kVAR, 10 fasa S 350 kVAR, T 150 kVAR, 13 fasa R 600 kVAR, 16 fasa S 450 kVAR.

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
1	4,1600	1	2	525,3611	19,2649
1	4,1600	1	2	527,2404	19,7922
1	4,1600	1	2	530,9854	19,877
2	4,0488	2	3	525,3611	3,4384
2	4,0490	2	3	527,2404	3,6152
2	4,0475	2	3	530,9854	3,5754
3	4,0124	3	4	313,8838	0,5669
3	4,0125	3	4	318,6720	0,6833
3	4,0107	3	4	318,2567	0,5199
4	3,9977	4	5	127,4472	0,0715
4	3,9967	4	5	138,5392	0,0988
4	3,9968	4	5	121,3572	0,0652
5	3,9917	2	6	27,7839	4,5784
5	3,9897	2	6	32,5597	4,4829
5	3,9911	2	6	26,4867	4,6174
6	4,0067	6	7	222,3575	2,8083
6	4,0077	6	7	219,3189	2,8866
6	4,0051	6	7	222,9432	2,9873
7	3,9764	6	8	174,1489	0,1959

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
7	3,9770	6	8	175,9887	0,1436
8	3,9730	7	9	179,3217	0,1302
8	3,9928	7	9	32,5345	0,8549
8	3,9957	7	9	27,7559	0,5940
9	3,9938	9	10	26,4692	0,8583
9	3,9697	9	10	96,0860	0,7073
9	3,9627	9	10	79,8316	0,5940
10	3,9663	10	11	96,1177	0,7953
10	3,9600	10	11	87,3992	0,3262
10	3,9484	10	11	79,8316	0,3432
11	3,9472	11	12	92,5251	0,3736
11	3,9571	11	12	76,6686	0,0522
11	3,9384	11	12	78,3535	0,0581
12	3,9367	11	13	81,9029	0,0799
12	3,9529	11	13	26,7431	0,4256
12	3,9339	11	13	28,192	0,0354
13	3,9315	7	14	33,0417	0,0355
13	3,9618	7	14	76,3523	0,3533
13	3,9349	7	14	22,0089	0,3916
14	3,9332	14	15	22,0181	0,4290
14	3,9632	14	15	61,7664	0,0324
14	3,9631	14	15	64,8243	0,0198
15	3,9585	7	16	67,9549	0,0267
15	3,9601	7	16	24,1507	0,0656
15	3,9607	7	16	18,8093	0,2582
16	3,9557	14	17	21,8931	0,0726
16	3,9707	14	17	26,6227	0,0388
16	3,9793	14	17	52,6388	0,0641
17	3,9670	3	18	27,9567	0,0527
17	3,9588	3	18	18,8184	2,6096
17	3,9574	3	18	24,1672	2,3432
18	3,9533	20	19	21,9062	2,7823
18	3,9765	20	19	167,8738	0,1528
18	3,9785	20	19	158,5617	0,1538
19	3,9738	18	20	173,0584	0,2168
19	3,9619	18	20	40,6273	0,4382
19	3,96300	18	20	40,6165	0,3031

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
20	3,9558	18	21	48,3074	0,3997
20	3,9678	18	21	54,7691	0,0517
20	3,9698	18	21	45,5155	0,0699
21	3,9635	21	22	52,2355	0,0856
21	3,9593	21	22	18,8037	0,1581
21	3,9642	21	22	21,853	0,1045
22	3,9573	4	23	24,1769	0,1156
22	3,9489	4	23	32,8958	0,4511
22	3,9558	4	23	26,7233	0,5024
23	3,9485	23	24	28,0883	0,4319
23	3,9843	23	24	78,0234	0,1965
23	3,9827	23	24	82,0673	0,1827
24	3,9837	24	25	76,2434	0,1742
24	3,9755	24	25	51,4968	0,1568
24	3,9742	24	25	49,4914	0,1043
25	3,9755	Total Losses			114,6168
25	3,9652				
25	3,9663				

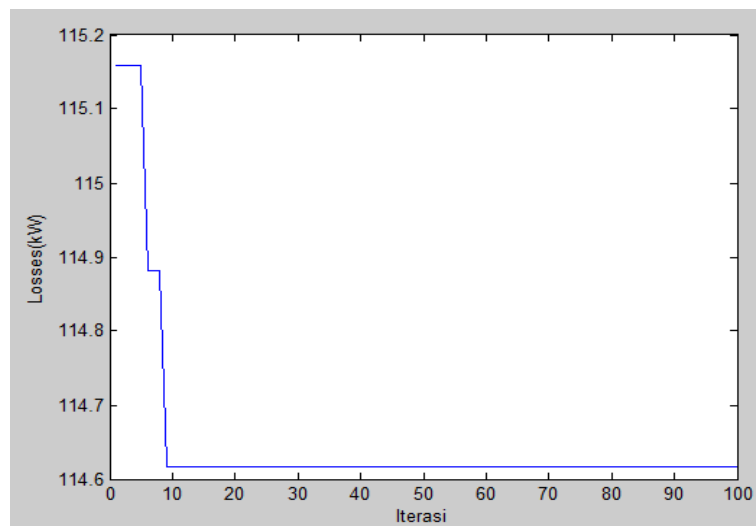
Tabel 4.8 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
1	2,4596	4,3642	3,1909
2	2,4819	4,4039	3,2201
3	2,4911	4,4213	3,2314
4	2,4948	4,4291	3,2359
5	2,6688	4,7327	3,4610
6	2,8742	5,0955	3,7274
7	2,8624	5,0716	3,7081
8	2,9979	5,3673	3,7624
9	3,1129	5,5549	3,8124
10	3,1754	5,6704	3,8370
11	3,1787	5,6768	3,8420
12	3,1716	5,7351	3,8403
13	3,2373	5,6943	3,8158
14	3,2800	5,6978	3,8185
15	3,2713	5,7451	4,0148
16	3,2812	5,7768	4,0288

Tabel 4.8 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
17	2,5043	4,4415	3,2501
18	5,3651	4,4843	3,3703
19	5,4155	4,5392	3,3739
20	2,5136	4,4590	3,2648
21	2,5098	4,4512	3,2585
22	2,5152	4,4576	3,2636
23	2,5218	4,4670	3,2709
24	2,4994	4,4369	3,2419
25	2,5049	4,4463	3,2487

Dari tabel 4,7 menunjukkan hasil analisa tersebut bahwa ada penurunan rugi jaringan dan nilai tegangan minimum sebesar 0,95 pu. Tabel 4.8 menunjukkan hasil analisa THD oleh *harmonic power flow* yang tidak memenuhi THD yang ditetapkan oleh IEEE karena THD maksimal sebesar 5,7768% namun memenuhi indek resonansi sebesar 126,3195 %. Sehingga tidak bisa langsung digunakan untuk 25 bus tidak seimbang.



Gambar 4.8 Garfik Konvergensi kasus 3.

4.5 Hasil Simulasi Sistem Distribusi 25 Bus Tiga Fasa Tidak Seimbang Setelah Pemasangan Kapasitor Menggunakan Algoritma PSO Dengan Mempertimbangkan THD dan RI.

Tahap ke empat ini dilakukan pemasangan kapasitor pada 25 bus tidak seimbang yang bertujuan untuk meminimalkan rugi jaringan dan memenuhi standar THD dan pembebanan dari kapasitor agar sesuai dengan ketentuan IEEE sehingga mencegah dari adanya resonansi. Pengoptimalan kapasitor dilakukan dengan menggunakan PSO untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor. Pada kasus 4 pemilihan lokasi dan kapasitas kapasitor didasari oleh pemasangan kapasitor yang dapat memberikan penurunan rugi jaringan yang paling besar, memenuhi batas minimal tegangan dan batas maksimal daya reaktif yang dikompensasi, THD dibawah 5% dan daya semu kapasitor tidak melebihi 135 % dari standar daya semu kapasitor

Dari hasil simulasi dipasang kapasitor di lokasi 7 R 150 kVAR, 7 S 450 kVAR, 11 S 350 kVAR, 12 T 450 kVAR, 13 R 600 kVAR dan 14T 350 kVAR.

Tabel 4.5 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
1	4,1600	1	2	525,2753	19,2586
1	4,1600	1	2	527,0679	19,7792
1	4,1600	1	2	527,1786	19,593
2	4,0488	2	3	525,2753	3,4384
2	4,0491	2	3	527,0679	3,6151
2	4,0492	2	3	527,1786	3,5723
3	4,0124	3	4	313,8820	0,5669
3	4,0125	3	4	318,6686	0,6833
3	4,0125	3	4	318,1177	0,5194
4	3,9977	4	5	127,4465	0,0715
4	3,9967	4	5	138,5377	0,0988
4	3,9985	4	5	121,3044	0,0651
5	3,9917	2	6	27,7837	4,5752
5	3,9898	2	6	32,5594	4,4767
5	3,9929	2	6	26,4752	4,5342
6	4,0068	6	7	222,2808	2,806
6	4,0077	6	7	219,1651	2,8819

Tabel 4.9 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
6	4,0079	6	7	220,9258	2,9468
7	3,9765	6	8	174,0784	0,1959
7	3,9771	6	8	175,8467	0,1436
7	3,9770	6	8	178,1018	0,1300
8	3,9928	7	9	32,5341	0,7084
8	3,9958	7	9	27,7553	0,5930
8	3,9966	7	9	26,4505	0,6495
9	3,9667	9	10	87,4671	0,7084
9	3,9628	9	10	79,7649	0,5930
9	3,9641	9	10	83,6137	0,6495
10	3,9570	10	11	87,4671	0,3267
10	3,9486	10	11	79,7649	0,2122
10	3,9512	10	11	83,6137	0,2592
11	3,9540	11	12	76,7281	0,0523
11	3,9429	11	12	61,6092	0,0580
11	3,9463	11	12	68,2184	0,2061
12	3,9498	11	13	26,7639	0,4262
12	3,9385	11	13	28,1596	0,0353
12	3,9473	11	13	53,0653	0,0353
13	3,9587	7	14	76,4113	0,3533
13	3,9394	7	14	21,9835	0,3916
13	3,9429	7	14	21,9644	0,2874
14	3,9633	14	15	61,7655	0,0324
14	3,9632	14	15	64,8224	0,0198
14	3,9697	14	15	55,6202	0,0265
15	3,9602	7	16	24,1503	0,0656
15	3,9608	7	16	18,8088	0,0998
15	3,9669	7	16	21,8313	0,0725
16	3,9708	14	17	26,6223	0,0388
16	3,9701	14	17	32,7205	0,0641
16	3,9710	14	17	27,929	0,0524
17	3,9589	3	18	18,8181	2,6096
17	3,9575	3	18	24,1665	2,3431
17	3,9645	3	18	21,8443	2,7798
18	3,9765	20	19	167,8729	0,1528
18	3,9786	20	19	158,56	0,1537
18	3,9755	20	19	172,9825	0,2166
19	3,9619	18	20	40,6271	0,4382

Tabel 4.9 Hasil Aliran Daya Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	Tegangan (kV)	Saluran		Arus (A)	Losses (kW)
		Dari Bus	Ke Bus		
19	3,9630	18	20	40,6160	0,3031
19	3,9576	18	20	48,2862	0,3994
20	3,9678	18	21	54,7688	0,0517
20	3,9699	18	21	45,5150	0,0699
20	3,9652	18	21	52,2124	0,0856
21	3,9593	21	22	18,8036	0,1581
21	3,9643	21	22	21,8528	0,1045
21	3,9590	21	22	24,1663	0,1155
22	3,9490	4	23	32,8956	0,4511
22	3,9558	4	23	26,7230	0,5024
22	3,9502	4	23	28,0758	0,4315
23	3,9844	23	24	78,0230	0,1965
23	3,9827	23	24	82,0664	0,1827
23	3,9855	23	24	76,2101	0,1741
24	3,9755	24	25	51,4965	0,1568
24	3,9743	24	25	49,4908	0,0949
24	3,9772	24	25	48,4039	0,1039
25	3,9652	Total Losses			113,2447
25	3,9663				
25	3,9688				

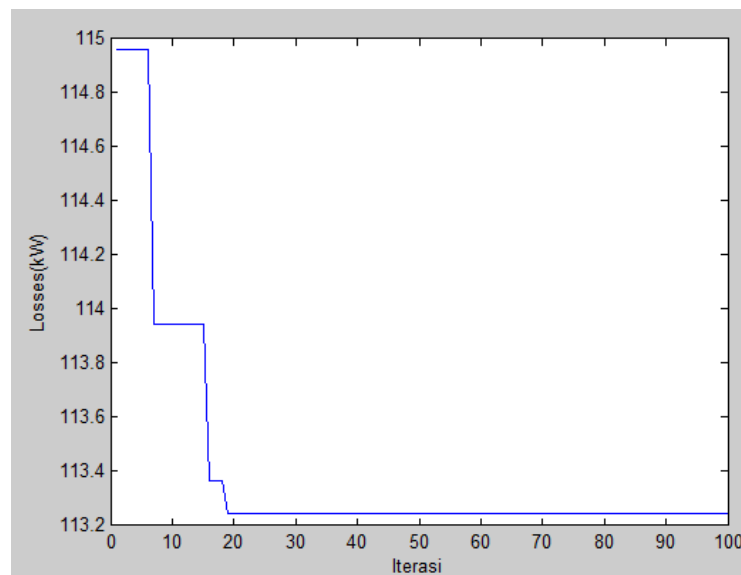
Tabel 4.6 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
1	2,8080	3,3136	3,1533
2	2,8080	3,3136	3,1533
3	2,8334	3,3438	3,1821
4	2,8439	3,3570	3,1932
5	2,8481	3,3629	3,1977
6	3,0467	3,5935	3,4193
7	3,2810	3,8690	3,6815
8	3,2675	3,8509	3,6634
9	3,4232	4,0437	3,8037
10	3,5661	4,2198	3,9267
11	3,6496	4,3231	3,9980
12	3,6766	4,328	3,9970
13	3,6683	4,3677	4,0015

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Harmonisa Sistem Distribusi 25 Bus Tidak Seimbang

Bus	THD fasa R	THD fasa S	THD fasa T
14	2,8334	3,3438	3,1821
15	2,8439	3,3570	3,1932
16	2,8481	3,3629	3,1977
17	3,0467	3,5935	3,4193
18	3,2810	3,8690	3,6815
19	3,2675	3,8509	3,6634
20	3,4232	4,0437	3,8037
21	3,5661	4,2198	3,9267
22	3,6496	4,3231	3,9980
23	3,6766	4,328	3,9970
24	3,6683	4,3677	4,0015
25	3,7301	4,3415	4,0030

Dari hasil kasus 4 didapatkan bahwa pada tabel 4.9 terjadi penurunan rugi jaringan dan adanya perbaikan minimal tegangan sehingga menjadi sebesar 0.95 pu. Dan memenuhi 2 standar IEEE yaitu standar THD dan pembebanan kapasitor karena THD yang didapatkan sebesar 4,3867% dan kurang dari 135% dari daya semu standar kapasitor yaitu maksimal sebesar 126,2 %. Sehingga kasus no 4 dapat digunakan untuk 25 bus tidak seimbang.



Gambar 4.9 Grafik Konvergensi kasus 4.

Dari semua tahap yang dikerjakan semua tahap memenuhi persyaratan minimum tegangan dan besarnya kapasitas kapasitor yang akan dipasang. Dengan kasus 1 yaitu hanya mempertimbangkan batas tegangan dan batas kompensasi daya reaktif, kasus 2 mempertimbangkan batas tegangan, kompensasi daya reaktif dan THD, kasus 3 mempertimbangkan batas tegangan, kompensasi daya reaktif dan RI, kasus 4 mempertimbangkan batas batas tegangan, kompensasi daya reaktif, THD dan RI. Kemudian pada kasus 4 dibandingkan dengan algoritma lain yaitu firefly untuk melihat ke efektifan program PSO yang telah dibuat.

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Optimasi Kapasitor Sebelum Dan Sesudah Kapasitor

Parameter	Kondisi awal	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4 (PSO)	Kasus 4 (FA)
<i>Losses</i> (kW)	143,67	112,80	114,36	114,62	113,24	113,7714
Maksimal THD	3,24	12,27	4,61	5,78	4,39	4,6083
RI (%)	-	1064,00	147,55	126,3195	126,2102	126,68
Total Reduksi Ploss	-	21,49	20,40	20,22	21,18	20,81
Total Kapasitor (kVAR)	-	2350,00	2250,00	2300,00	2350,00	2300,00

Sistem distribusi 25 bus tidak seimbang ini mengalami undervoltage yang pada 30 bus sehingga untuk meminimalkan rugi-rugi daya aktif cukup rumit. Namun dengan pemasangan kapasitor yang mempertimbangkan harmonisa dan RI mampu memenuhi batas kualitas yang ditetapkan oleh IEEE karena masih dapat dibawah standar THD 5% dan dapat mengurangi *losses* sebesar 21,18 %.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada sistem distribusi 25 bus tiga fasa tidak seimbang didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem distribusi 25 bus tiga fasa tidak seimbang memiliki karakteristik tegangan *undervoltage* yang cukup besar hampir 40 %. Dan tegangan maksimal sebesar 0,97 pu.
2. Tanpa mempertimbangkan THD dan index resonansi terbukti dapat menyebabkan THD yang melewati batas yaitu 12,27% meskipun dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 21,49 %
3. Index Resonansi tidak dapat berdiri sendiri karena akan menyebabkan sistem tidak efektif sehingga perlu ditambahkan mempertimbangkan THD terbukti dengan pencapaian THD maksimal sebesar 4,39 % dan dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 21,18 %.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digabungkan dengan *distributed generator* mengingat karakteristik dari sistem 25 bus tiga fasa tidak seimbang memiliki kondisi awal tegangan *undervoltage* yang cukup besar hampir 40%.
2. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah variasi fungsi objektif dengan memasukkan harga dari kapasitor dan umur dari kapasitor.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saadat, Hadi, (2004), "Power System Analysis (Second Edition)", *McGraw-Hill Education (Asia)*, Singapura, hal. 189-240.
- [2] Cheng T-H., dan Yang N-C, (2009), "Three-Phase Power-Flow by Direct Zbr Method for Unbalanced Radial Distribution Systems", *IET Gener.Transm.Distrib.*, Vol3, Iss.10, hal. 903-910.
- [3] Teng, J H dan Chang, C, (2007), "Backward/Forward Sweep-Based Harmonic Analysis Method For Distribution Systems", *IEEE Trans.PowerDel*, Vol. 22, No. 3, pp. 1665–1672.
- [4] Dugan, C R, Mcgranaghan, M F, Santoso, S dan Beaty, H W, (2004), *Electrical Power Systems Quality* ,2nd edition, The Macgraw-Hill Companies.
- [5] Eajal, A.A dan El-Harawary, M.E, (2010), " Optimal Capacitor Placement And Sizing In Unbalanced Distribution System With Harmonic Consideration Using Particle Swarm Optimization", *IEEE Transaction On Power Delivery*,Vol.25, No.3,pp. 1734-1741.
- [6] Huang, Z dan Xu, W, (2003), " A Practical Harmonic Resonance Guideline For Shunt Capacitor Application". *IEEE Transaction On Power Delivery*,Vol.18, No.4,pp. 0885-8977.
- [7] IEEE Standart 1036-1992, (1992), *IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors*.
- [8] IEEE Standart 519-1992, (1992), *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*.
- [9] Kennedy, J dan Eberhart, R, (1995), "Particle Swarm Optimization," in *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, Piscataway, NJ, pp.1942–1948.
- [10] Segura, S, Da Silva, L.C.P, Romero R dan Salles, D, (2012) " Strategic Capacitor Placement In Distribution Systems By Minimisation Of Harmonic Amplification Because Of Resonance". *IET Generation, Transmission & Distribution*.vol.6.Iss.7,pp.646-656.
- [11] Sangkaran,C ,(2002), *Power Quality*, CRC Press LLC, Florida .
- [12] H. Yoshida, K. Kawata, Y. Fukuyama (2000), "A particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment," *IEEE Trans Power Syst*, vol.15. no.4, pp.1232-9,.

- [13] K. Prakash, M. Sydulu (2007), "Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems," *IEEE power engineering society general meeting*, C1-C5, pp.24-8,.
- [14] J.B.V. Subrahmanyam (2005-2009), "Optimal Capacitor Placement in unbalanced radial distribution network." *Journal of theoretical and Applied Information Technology*.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Ayusta Lukita Wardani. Lahir di Pasuruan pada tanggal 23 Januari 1989. Penulis mengawali pendidikan di SDN Sedati Gede 1 pada tahun 1995-2001, kemudian melanjutkan ke SMP 2 Waru pada tahun 2001-2004. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Waru pada tahun 2007, penulis melanjutkan pendidikan Diploma 4 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), Jurusan Teknik Elektro Industri, dan lulus tahun 2011. Pada tahun yang sama penulis bekerja pada PT.HM.Sampoerna sebagai Quality Assurance selama 4 tahun. Kemudian Penulis mendapatkan beasiswa LPDP dengan nomer PK 26. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti organisasi, seminar dan pelatihan. Penulis merupakan salah satu member di Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga (B.103) ITS. Penulis dapat dihubungi di alamat *email* : ayustawardani@gmail.com