



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS DG UNTUK  
MEMINIMALISASI RUGI DAYA DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN KESTABILAN TEGANGAN  
MENGUNAKAN METODE CRAZINESS BASED PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION (CRPSO)**

Brilian Adi Saputra  
NRP 2213100057

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

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



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**OPTIMIZATION OF DG PLACEMENT AND SIZING TO  
MINIMIZE POWER LOSS CONSIDERING VOLTAGE  
STABILITY USING CRAZINESS BASED PARTICLE SWARM  
OPTIMIZATION (CRPSO) METHOD**

Brilian Adi Saputra  
NRP 2213100057

Advisor

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.  
Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

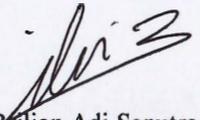
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Optimasi Penempatan dan Kapasitas DG untuk Meminimalisasi Rugi Daya dengan Mempertimbangkan Kestabilan Tegangan Menggunakan Metode Crazyness based Particle Swarm Optimization (CRPSO)**” 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, 25 Juli 2017



Bilian Adi Saputra  
2213100057

**OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS DG UNTUK  
MEMINIMALISASI RUGI DAYA DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN KESTABILAN TEGANGAN  
MENGUNAKAN METODE *CRAZINESS BASED PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION*.(CRPSO)**

**TUGAS AKHIR**

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Dr. Rony Seto Wibowo, ST., M.T.  
NIP. 197411292000121001



# **Optimasi Penempatan dan Kapasitas DG untuk Meminimalisasi Rugi Daya dengan Mempertimbangkan Kestabilan Tegangan Menggunakan Metode *Craziness based Particle Swarm Optimization* (CRPSO)**

Nama : Brilian Adi Saputra  
NRP : 2213100057  
Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
NIP : 194907151974121001  
Pembimbing 2 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., M.T.  
NIP : 197411292000121001

## **ABSTRAK**

Pembangkitan terdistribusi atau distributed generation (DG) akhir-akhir ini menjadi perhatian khusus bagi para peneliti (akademisi) di bidang ketenagalistrikan. Hal ini dikarenakan DG dapat berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem dan memperbaiki kualitas daya dari suatu jaringan distribusi. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari pemasangan DG, maka diperlukan optimasi penempatan lokasi dan kapasitas DG. Metode optimasi yang digunakan di dalam tugas akhir ini yaitu *Craziness based Particle Swarm Optimization* (CRPSO). Metode tersebut digunakan untuk mengoptimasi lokasi penempatan 1 DG dan 3 DG. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan rugi daya minimum dengan konstrain batas tegangan pada jaringan distribusi radial IEEE 69 bus. Dari hasil optimasi, pemasangan 1 DG menghasilkan penurunan rugi daya aktif sistem sebesar 64,6%, sedangkan pada pemasangan 3 DG menghasilkan penurunan rugi daya aktif sistem sebesar 70,7%. Metode CRPSO lebih unggul dan konsisten dalam mendapatkan nilai yang optimal dibandingkan dengan metode PSO.

**Kata Kunci** : optimasi, DG, distribusi, CRPSO



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***Optimization of DG Placement and Sizing to Minimize Power Loss Considering Voltage Stability Using Craziness based Particle Swarm Optimization (CRPSO) Method***

*Name* : Brilian Adi Saputra  
*NRP* : 2213100057  
*Advisor 1* : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
*NIP* : 194907151974121001  
*Advisor 2* : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., M.T.  
*NIP* : 197411292000121001

## **ABSTRACT**

*Distributed generation (DG) has recently become a particular concern for researchers or academics in the field of electricity because DG can enhance system reliability and the power quality of distribution network. To get the optimal DG installation, placement and capacity of DG needs to be optimized. The optimization method that used in this final project is Craziness based Particle Swarm Optimization (CRPSO). This method used to optimize 1 DG and 3 DG's installation. Optimization is done to obtain minimum power loss with voltage limit constraint in IEEE 69 bus radial distribution network. The result of the optimization is power loss of the system decreased 64.6% with 1 DG installed to the network, and the power loss of the system decreased 70.7% with 3 DG installed to the network. CRPSO is superior and more consistent than PSO to obtain optimal values.*

**Keyword** : optimization, DG, Distribution, CRPSO



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul:

### **Optimasi Penempatan dan Kapasitas DG untuk Meminimalisasi Rugi Daya dengan Mempertimbangkan Kestabilan Tegangan Menggunakan Metode Craziness based Particle Swarm Optimization (CRPSO)**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga di Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama proses menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan kasih-Nya kepada penulis sehingga dapat menjalani proses pengerjaan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orangtua tercinta, Bapak Agustinus Kuswartiman dan Ibu Sri Irawatiningsih, serta kakak, Dimas Arry Novenanda yang sudah memberikan dukungan, doa, dan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis selama penulis melaksanakan kegiatan perkuliahan di ITS.
3. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., M.T. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan segala ilmu dan waktu kepada penulis, khususnya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman anggota Lab. PSSL yang sudah banyak membantu penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Teman-teman pejuang Tugas Akhir, Togi, Renato, Pius, dan Erwin, yang sudah memberikan saran, bantuan, dan pembelajaran selama penulis berkuliah, khususnya di saat mengerjakan Tugas Akhir.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari adanya keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap segala bentuk kritik dan saran untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat menjadi sumber informasi dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Departemen Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga pada khususnya. Selain itu, semoga Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberi kontribusi terhadap perkembangan keilmuan, khususnya di bidang sistem tenaga listrik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR KEASLIAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

### **BAB 2 DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK**

2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Pembangkit.....	5
2.1.2 Saluran Transmisi.....	6
2.1.3 Saluran Distribusi.....	7
2.1.3.1 <i>Konfigurasi Radial</i> .....	7
2.1.3.2 <i>Konfigurasi Ring</i> .....	8
2.1.3.3 <i>Konfigurasi Spindel</i> .....	8
2.1.3.4 <i>Konfigurasi Mesh</i> .....	9
2.2 <i>Microgrid</i> .....	9
2.2.1 <i>Distributed Generation (DG)</i> .....	10
2.2.2 Sistem Distribusi Aktif.....	10
2.3 Analisis Aliran Daya .....	10
2.3.1 Metode <i>Backward-Forward Sweep</i> .....	11

### **BAB 3 ANALISIS ALIRAN DAYA DAN OPTIMASI PEMASANGAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL IEEE 69 BUS**

3.1	Karakteristik Sistem Distribusi .....	15
3.2	Pemodelan DG .....	15
3.2.1	DG sebagai <i>Negative PQ Load</i> .....	15
3.2.2	DG sebagai <i>PV Model</i> .....	16
3.3	Perancangan Pemrograman Metode <i>Backward-Forward Sweep</i> .....	17
3.3.1	Topologi Jaringan .....	17
3.3.2	<i>Flowchart</i> Metode <i>Backward-Forward Sweep</i> ....	31
3.4	Particle Swarm Optimization (PSO) .....	23
3.5	Craziness based Particle Swarm Optimization (CRPSO) ..	25
3.6	Perancangan Pemrograman <i>Craziness based Particle Swarm Optimization</i> .....	26
3.6.1	<i>Flowchart</i> Metode <i>Craziness based Particle Swarm Optimization</i> .....	27
3.7	Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus .....	29
3.8	Optimasi Lokasi dan Kapasitas DG pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus dengan Metode <i>Craziness based Particle Swarm Optimization</i> .....	32
3.8.1	<i>Flowchart</i> Optimasi Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG .....	33

### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS**

4.1	Analisis Aliran Daya pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus Tanpa DG .....	37
4.2	Hasil Optimasi Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG .....	40

### **BAB 5 PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	45

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	47
-----------------------------	----

<b>BIODATA PENULIS</b> .....	49
------------------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram sederhana sistem tenaga listrik.....	5
Gambar 2.2	Konfigurasi jaringan distribusi radial.....	7
Gambar 2.3	Konfigurasi jaringan distribusi ring.....	8
Gambar 2.4	Konfigurasi jaringan distribusi spindel.....	8
Gambar 2.5	Konfigurasi jaringan distribusi mesh.....	9
Gambar 2.6	Contoh rangkaian listrik.....	12
Gambar 3.1	Pemodelan DG sebagai <i>negative PQ load</i> .....	16
Gambar 3.2	SLD sistem distribusi radial.....	18
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> analisis aliran daya dengan metode <i>Backward-Forward Sweep</i> .....	21
Gambar 3.4	Pergerakan partikel.....	23
Gambar 3.5	Ruang pencarian solusi.....	26
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i> optimasi dengan metode CRPSO.....	27
Gambar 3.7	SLD sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	29
Gambar 3.8	<i>Flowchart</i> optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG.....	33
Gambar 4.1	Grafik profil tegangan (p.u.) sistem IEEE 69 bus tanpa DG.....	39
Gambar 4.2	Perbandingan tegangan sistem ketika tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG.....	42



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data saluran dan beban sistem distribusi radial IEEE 69 bus.....	29
Tabel 4.1	Profil tegangan sistem distribusi IEEE 69 bus sebelum dipasang DG.....	37
Tabel 4.2	Hasil optimasi pemasangan 1 DG.....	40
Tabel 4.3	Hasil uji konsistensi kedua metode optimasi untuk pemasangan 3 DG pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus .....	41
Tabel 4.4	Hasil optimasi pemasangan 3 DG.....	41
Tabel 4.5	Tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus saat tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG.....	42



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan akan energi listrik turut meningkat dikarenakan di era modern saat ini setiap rumah tangga memiliki peralatan elektronik yang membutuhkan daya listrik untuk menghidupkannya. Begitu pula dengan perkembangan pembangunan gedung-gedung komersil di perkotaan dan juga perkembangan industri. Jika peningkatan kebutuhan daya listrik tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas pembangkitan, maka akan mengakibatkan penurunan keandalan sistem. Namun, solusi penambahan kapasitas pembangkitan pada pembangkit terpusat (seperti PLTU) memiliki beberapa kelemahan, yaitu memerlukan biaya yang besar untuk peralatan pembangkit, transmisi, dan distribusi, menguras sumber daya konvensional (batubara), dan meningkatkan permasalahan lingkungan (polusi).

Pembangkitan tersebar (*distributed generation* / DG) menjadi solusi dari permasalahan yang ada pada pembangunan pembangkitan terpusat. DG lebih memprioritaskan energi baru terbarukan (EBT) sebagai sumber energinya, seperti energi sinar matahari, mikrohidro, dan angin. Selain itu, DG terpasang langsung di jaringan distribusi atau di bus beban, sehingga dapat berfungsi untuk meningkatkan kualitas daya dan keandalan sistem. Penempatan lokasi dan kapasitas DG pada jaringan distribusi perlu dilakukan optimasi agar didapatkan hasil yang maksimal.

Pengoptimalan penempatan dan kapasitas DG memerlukan suatu metode yang dinamakan metode optimasi. Salah satu metode optimasi yang populer dan telah digunakan dalam berbagai studi optimasi adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Namun di dalam metode PSO, pencarian solusi hanya berfokus pada pencarian lokal (*local search*), dengan demikian di dalam tugas akhir ini akan digunakan metode optimasi modifikasi dari PSO yaitu *Craziness based Particle Swarm Optimization* (CRPSO) yang memaksimalkan pencarian global (*global search*) sehingga CRPSO memiliki keunggulan dalam hal pencarian solusi dibandingkan PSO.

### 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Meminimalisasi rugi daya sistem dengan fungsi objektif total rugi daya aktif :

$$P_L = \sum_{i=1}^N I_i^2 \cdot R_i \quad (1.1)$$

2. Menentukan lokasi dan kapasitas DG yang optimal pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.
3. Tegangan tidak boleh melebihi batas toleransi tegangan

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. DG dimodelkan sebagai *negative PQ load*, yaitu DG menginjeksi daya aktif dan daya reaktif tetap.
2. Analisis dilakukan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.
3. Jumlah DG yang dioptimalkan adalah 1 DG dan 3 DG.
4. Hasil optimasi dibandingkan dengan PSO.

### 1.4 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menerangkan penerapan metode CRPSO dalam mengoptimalkan lokasi penempatan dan kapasitas DG dalam suatu jaringan distribusi radial.
2. Mendapatkan lokasi dan kapasitas DG yang optimal untuk mencapai rugi daya minimum pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.
3. Memperbaiki profil tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus dengan pemasangan 1 DG dan 3 DG yang dioptimasi lokasi dan kapasitasnya.

### 1.5 Metodologi

Metode penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Mempelajari studi analisa aliran daya jaringan distribusi radial yaitu metode *backward-forward sweep* dan beberapa metode optimasi yaitu algoritma *Craziness based Particle Swarm Optimization* (CRPSO) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), serta mempelajari perancangan program atau pengkodean untuk

- mengimplementasikan algoritma CRPSO dan PSO pada *software* MATLAB.
2. Pengumpulan Data  
Data pendukung (beban di masing-masing bus, rugi daya di setiap saluran, dll) dikumpulkan untuk menunjang analisa aliran daya pada sistem yang akan digunakan.
  3. Pembuatan Program  
Dilakukan pemodelan perhitungan aliran daya dan algoritma optimasi dalam bentuk program untuk mendapatkan hasil secara cepat dan mempermudah analisa.
  4. Simulasi  
Menggunakan *software* MATLAB. Simulasi dilakukan secara simultan untuk mendapatkan rugi daya minimum, nilai tegangan, lokasi dan kapasitas DG.
  5. Analisa Data  
Hasil simulasi akan dibandingkan kemudian dilakukan analisa untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.
  6. Penulisan Buku  
Hasil penelitian yang telah dilakukan akan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper.

## **1.6 Sistematika**

Sistematika penulisan dalam penelitian tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

**BAB 1 : Pendahuluan**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

**BAB 2 : Dasar Sistem Tenaga Listrik**

Bahasan yang dijelaskan di dalam bab ini adalah besaran energi listrik, sistem tenaga listrik, mikrogrid, dan analisis aliran daya.

**BAB 3 : Analisis Aliran Daya dan Optimasi Pemasangan DG pada Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus**

Bab ini menjelaskan karakteristik sistem distribusi, pemodelan DG, perancangan pemrograman metode *Backward-Forward Sweep*, metode optimasi PSO dan CRPSO, data sistem distribusi radial IEEE 69 bus, serta cara mengoptimalkan lokasi dan kapasitas DG.

**BAB 4** : Simulasi dan Analisis

Bab ini berisi hasil optimasi penempatan dan kapasitas 1 DG dan 3 DG di dalam sistem distribusi radial IEEE 69 bus, serta membandingkan kedua metode optimasi, yaitu CRPSO dan PSO.

**BAB 5** : Penutup

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

### **1.7 Relevansi**

Tugas Akhir ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai berikut :

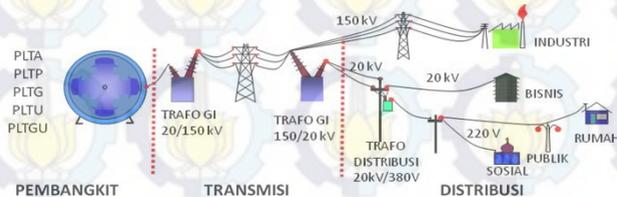
1. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem distribusi di Indonesia dengan metode yang diajukan di dalam laporan tugas akhir ini.
2. Menjadi referensi bagi akademisi yang melakukan penelitian yang berhubungan dengan penelitian di dalam laporan tugas akhir ini.

## BAB 2

# DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan komponen-komponen tenaga listrik yang saling terhubung dalam rangka penyediaan tenaga listrik ke pusat beban. Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga sub-sistem, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Karena pada umumnya lokasi pembangkit jauh dari pusat beban, maka untuk menghubungkannya diperlukan saluran transmisi. Kemudian dari pusat beban, tenaga listrik disalurkan ke pelanggan atau konsumen (industri, perumahan, bangunan komersil, dan lain-lain) melalui saluran yang disebut saluran distribusi.



**Gambar 2.1** Diagram sederhana sistem tenaga listrik

#### 2.1.1 Pembangkit

Pembangkit berfungsi untuk membangkitkan energi listrik melalui proses konversi energi. Salah satu contohnya yaitu komponen generator listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Contoh pembangkit listrik lainnya adalah sebagai berikut :

- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)  
Bahan bakar, seperti batubara, digunakan sebagai bahan pembakaran untuk memanaskan air sehingga menjadi uap untuk menggerakkan turbin uap.
- Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)  
Gas alam digunakan untuk menggerakkan turbin gas.
- Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)  
Neutron yang ditumbukkan dengan uranium akan menghasilkan reaksi fisi yang mengeluarkan energi panas. Panas tersebut digunakan

untuk memanaskan air sehingga menjadi uap untuk memutar turbin uap.

d. **Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

Tenaga angin akan memutar baling-baling yang terhubung dengan turbin.

e. **Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Sel surya terdiri dari semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dipisahkan oleh p-n junction. Semikonduktor tipe-n memiliki kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Sinar matahari memiliki partikel kecil yang disebut foton. Ketika sinar matahari mengenai sel surya, foton akan mendorong elektron bergerak menjauh dari semikonduktor tipe-n, begitu pun hole akan bergerak menjauh dari semikonduktor tipe-p. Pergerakan tersebut menghasilkan arus listrik.

### **2.1.2 Saluran Transmisi**

Saluran transmisi merupakan suatu saluran berupa konduktor panjang yang dialiri listrik bertegangan tinggi dan berfungsi menyalurkan daya listrik dari pembangkit ke pusat beban. Tujuan tegangan listrik ditinggikan pada saluran transmisi yaitu untuk memperkecil rugi-rugi energi listrik berupa panas pada saluran tersebut. Tegangan dinaikkan dengan menggunakan peralatan yang disebut trafo penaik tegangan (*step-up transformer*).

Berikut adalah klasifikasi saluran transmisi berdasarkan tegangannya :

a. **Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)**

= Tegangan kerja : 200 - 500 kV

b. **Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)**

= Tegangan kerja : 30 – 150 kV

c. **Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)**

= Tegangan kerja : 6 – 30 kV

d. **Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dan Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)**

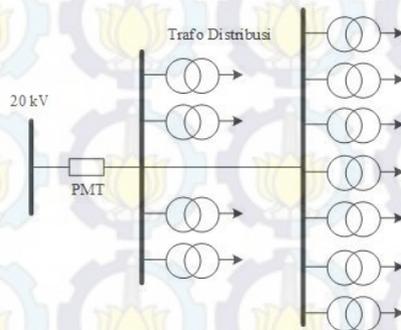
= Tegangan kerja : 40 – 1000 V

### 2.1.3 Saluran Distribusi

Saluran distribusi berfungsi untuk mendistribusikan daya listrik hingga ke konsumen atau pelanggan (industri, bangunan komersial, perumahan dan sebagainya). Menurut PT. PLN [1], secara umum terdapat dua konsep konfigurasi jaringan tenaga listrik, yaitu jaringan radial dan jaringan bentuk tertutup. Jaringan radial merupakan jaringan yang hanya memiliki satu sumber tenaga listrik, sehingga jika terjadi gangguan akan mengakibatkan *black-out* (pemadaman) pada bagian yang tidak dapat dipasok. Sedangkan jaringan bentuk tertutup merupakan jaringan yang mempunyai alternatif sumber tenaga listrik jika terjadi gangguan, sehingga bagian yang mengalami pemadaman dapat dikurangi atau dihindari. Berdasarkan kedua konsep di atas, konfigurasi jaringan yang umum digunakan di dalam sistem distribusi adalah konfigurasi radial, ring, spindel, dan jala-jala (*mesh*).

#### 2.1.3.1 Konfigurasi Radial

Konfigurasi radial memiliki bentuk jaringan yang sederhana seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Selain bentuknya yang sederhana, konfigurasi ini memiliki ciri investasinya yang murah. Namun keandalan pada konfigurasi radial lebih rendah dibanding konfigurasi lainnya. Hal ini dikarenakan hanya terdapat satu jalur utama untuk memasok tenaga



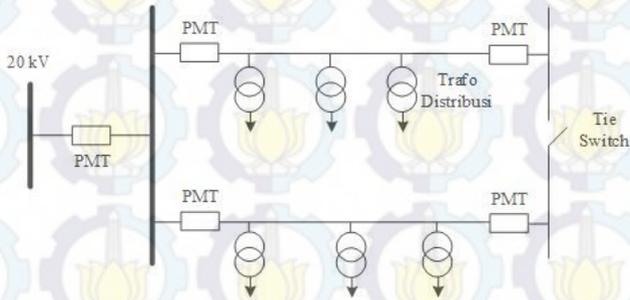
**Gambar 2.2** Konfigurasi jaringan distribusi radial

listrik ke gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan padam. Kekurangan lainnya adalah kualitas tegangan pada beban yang paling ujung sangatlah buruk,

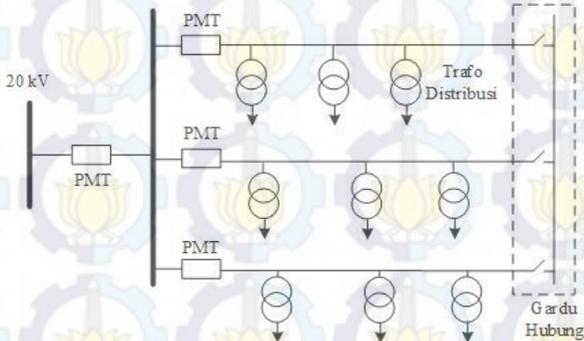
dikarenakan pada ujung saluran terdapat tegangan jatuh yang paling besar.

### 2.1.3.2 Konfigurasi Ring

Konfigurasi ring memiliki dua penyulang yang terhubung ke sumber tenaga listrik (Gambar 2.3). Konfigurasi ini memiliki keandalan yang lebih baik dibandingkan konfigurasi radial, dikarenakan di setiap ujung penyulang terdapat PMT (Pemutus Tenaga/*Circuit Breaker*) yang berfungsi memutuskan aliran listrik ketika terjadi gangguan sehingga gangguan dapat terlokalisasi. Beban yang terdapat pada jalur yang terkena gangguan dapat dipasok dari jalur lainnya. Namun kekurangan konfigurasi ring adalah investasinya yang lebih mahal.



Gambar 2.3 Konfigurasi jaringan distribusi ring



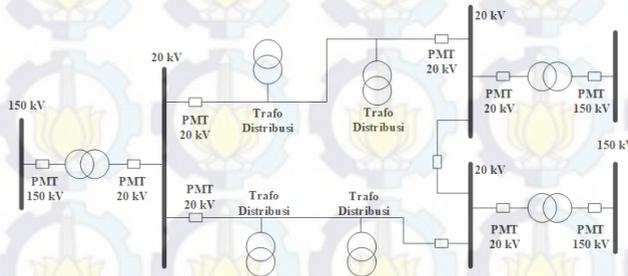
Gambar 2.4 Konfigurasi jaringan distribusi spindle

### 2.1.3.3 Konfigurasi Spindel

Pada konfigurasi spindel terdapat dua penyulang yaitu penyulang cadangan (*express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*) seperti pada Gambar 2.4. Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai pemasok cadangan jika terjadi gangguan pada penyulang operasi sehingga keandalan sistem tetap terjaga.

### 2.1.3.4 Konfigurasi Mesh

Konfigurasi mesh memiliki lebih dari satu gardu induk yang memasok beban di dalam jaringan tersebut (seperti pada Gambar 2.5), sehingga konfigurasi ini lebih handal dan investasinya lebih mahal. Pada umumnya konfigurasi mesh diterapkan pada daerah padat beban tinggi.



Gambar 2.5 Konfigurasi jaringan distribusi mesh

## 2.2 Microgrid

Seiring berkembangnya teknologi, jaringan kelistrikan mikro, atau biasa disebut *microgrid*, menjadi sorotan khusus oleh para ilmuwan dan akademisi dalam upaya meningkatkan kestabilan dan keandalan sistem kelistrikan di pusat beban, dibandingkan sistem kelistrikan makro. Hal ini dikarenakan pada sistem kelistrikan makro (Gambar 2.1) memiliki beberapa permasalahan yaitu sumber energi primer yang semakin berkurang, penggunaan energi yang tidak efisien, dan meningkatkan polusi terhadap lingkungan [2].

Menurut CIGRE [3], *microgrid* adalah sistem distribusi tenaga listrik yang di dalamnya terdapat beban dan sumber energi tersebar (*distributed energy resources/DER*) seperti pembangkit tersebar

(*distributed generation/DG*), perangkat penyimpanan (*storage devices*), atau beban terkendali (*controllable loads*) yang dapat dikendalikan baik saat terhubung dengan jaringan utama maupun saat *islanded* (terputus dari jaringan utama).

### **2.2.1 Distributed Generation (DG)**

*Distributed Generation* (DG) atau pembangkitan tersebar merupakan pembangkit skala kecil yang memiliki karakteristik sebagai berikut [4]:

- a. Tidak dibangun secara terpusat
- b. Terhubung langsung pada saluran distribusi
- c. Daya pembangkitan berkisar 50-100 MW

DG telah menjadi perhatian khusus para peneliti dan akademisi terutama di negara maju dikarenakan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) sebagai sumber energinya, seperti Photovoltaic (sel surya), Fuel Cell, PLTMH (mikrohidro), dan PLTB skala kecil. Walaupun daya yang dibangkitkan DG cukup kecil dibandingkan pembangkit konvensional, namun DG memiliki beberapa keuntungan bagi sistem saluran distribusi, yaitu meminimalkan rugi daya dan meningkatkan profil tegangan, serta keandalan sistem [5].

### **2.2.2 Sistem Distribusi Aktif**

Pada awal perkembangan sistem tenaga listrik, sistem distribusi yang ada pada saat itu umumnya merupakan sistem distribusi pasif, dikarenakan di dalam sistem distribusi arus hanya mengalir secara satu arah (*unidirectional*) dari sumber tenaga listrik menuju ke beban. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, pemasangan dan integrasi DG ke dalam jaringan distribusi menjadikan sistem distribusi menjadi sistem aktif. Sistem distribusi aktif merupakan sistem distribusi yang di dalamnya arus mengalir secara dua arah (*bidirectional*).

### **2.3 Analisis Aliran Daya**

Studi aliran daya merupakan studi yang mempelajari perhitungan aliran daya untuk mengetahui nilai tegangan dan sudut fasa di setiap bus, serta arus dan daya yang mengalir di setiap saluran pada suatu sistem kelistrikan. Dengan besaran-besaran yang didapatkan di atas, maka besaran lain seperti rugi-rugi di setiap saluran, daya aktif, daya reaktif juga dapat dihitung dan diketahui. Tujuan perhitungan besaran-besaran

tersebut pada umumnya digunakan untuk perencanaan, pengembangan sistem, monitoring sistem, dan sebagainya.

Terdapat beberapa metode yang umum digunakan untuk perhitungan aliran daya, yaitu metode Newton-Raphson (NR), metode Gauss-Siedel (GS), dan metode Fast Decoupled (FD). Dalam rangka mencapai hasil perhitungan yang akurat, para peneliti melakukan penelitian terhadap metode-metode aliran daya untuk diaplikasikan ke berbagai permasalahan aliran daya pada sistem kelistrikan. Salah satu peneliti, yaitu M. H. Haque [6] mengembangkan metode perhitungan aliran daya yang kini disebut metode *Backward-Forward Sweep* (BFS). Dari hasil penelitiannya, didapatkan bahwa metode konvensional (NR dan FD) memiliki kelemahan untuk analisa sistem distribusi dengan rasio R/X yang tinggi. Kelemahannya adalah tidak mampu mencapai konvergensi dengan cepat di dalam perhitungannya, sehingga membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan dengan metode BFS, mampu mencapai konvergensi dengan cepat dan tepat. Hal ini dikarenakan sistem distribusi memiliki karakteristik rasio R/X yang tinggi dibandingkan sistem saluran transmisi.

Ada tiga macam bus di dalam analisis aliran daya :

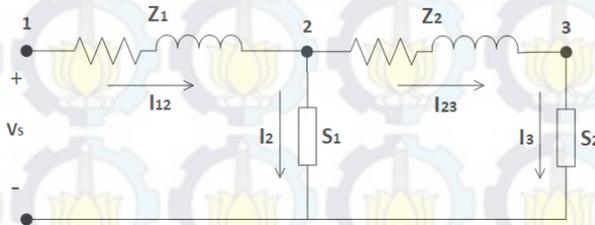
- a. *Slack/swing* bus (bus referensi)  
Bus dengan nilai tegangan (V) dan sudut fasa ( $\theta$ ) yang tetap dan telah ditentukan. Bus ini umumnya dipilih dari salah satu PV bus.
- b. PQ bus (bus beban)  
Bus dengan nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang telah ditentukan.
- c. PV bus (bus pembangkit)  
Bus dengan nilai tegangan (V) dan daya aktif (P) yang telah ditentukan

### **2.3.1 Metode *Backward-Forward Sweep***

Pada dasarnya metode *Backward-Forward Sweep* (BFS) merupakan metode analisis aliran daya yang menerapkan prinsip Hukum Kirchoff. Metode BFS memiliki dua tahap perhitungan, yaitu *Backward* dan *Forward*. *Backward* merupakan tahapan untuk menghitung arus yang mengalir pada setiap cabang. Perhitungan arus dimulai dari beban paling ujung hingga menuju bus referensi (dari hilir ke hulu). Setelah mendapatkan arus di setiap cabang, maka langkah selanjutnya adalah menghitung drop tegangan di setiap saluran dan tegangan di masing-

masing bus. Langkah ini disebut Forward. Perhitungan dimulai dari bus yang paling dekat dengan bus referensi hingga ke bus paling ujung (hilir).

Untuk mempermudah pemahaman akan metode BFS, berikut adalah contoh sederhana perhitungan aliran daya menggunakan metode BFS.



**Gambar 2.6** Contoh rangkaian listrik

Diketahui besar tegangan sumber, daya beban, dan impedansi saluran sebagai berikut :

$$V_s = 11 \text{ kV} \angle 0^\circ \quad (2.1)$$

$$Z_1 = 0,3 + j0,7 \ \Omega \quad (2.2)$$

$$Z_2 = 0,7 + j0,25 \ \Omega \quad (2.3)$$

$$S_1 = (384,7 + j274,5) \text{ kVA} \quad (2.4)$$

$$S_2 = (145 + j104) \text{ kVA} \quad (2.5)$$

Tahap I (*Backward*) :

Untuk perhitungan awal, besar tegangan di setiap bus diasumsikan sama dengan tegangan sumber, sehingga didapatkan nilai arus di setiap cabang sebagai berikut

$$I_3 = \text{conj} \left( \frac{S_2}{V_s} \right) \quad (2.6)$$

$$I_3 = \text{conj} \left( \frac{145 + j104}{11 \angle 0^\circ} \right) \quad (2.7)$$

$$I_3 = \text{conj} \left( \frac{178,44 \angle 35,65^\circ}{11 \angle 0^\circ} \right) \quad (2.8)$$

$$I_3 = \text{conj} (16,22 \angle 35,65^\circ) \quad (2.9)$$

$$I_3 = 16,22 \angle -35,65^\circ \text{ A} \quad (2.10)$$

Karena  $Z_2$  terhubung seri dengan  $S_2$ , maka

$$I_{23} = I_3 = 16,22 \angle -35,65^\circ \text{ A} \quad (2.11)$$

Selanjutnya menghitung arus  $I_2$

$$I_2 = \text{conj} \left( \frac{S_1}{V_S} \right) \quad (2.12)$$

$$I_2 = \text{conj} \left( \frac{384,7 + j274,5}{11 \angle 0^\circ} \right) \quad (2.13)$$

$$I_2 = \text{conj} \left( \frac{472,59 \angle 35,51^\circ}{11 \angle 0^\circ} \right) \quad (2.14)$$

$$I_2 = \text{conj} ( 42,96 \angle 35,51^\circ ) \quad (2.15)$$

$$I_2 = 42,96 \angle - 35,51^\circ \text{ A} \quad (2.16)$$

Arus  $I_{12}$  dapat diketahui dengan mengikuti Hukum Kirchoff, yaitu total arus yang masuk ke titik percabangan sama dengan total arus yang keluar dari titik percabangan tersebut, maka

$$I_{12} = I_2 + I_{23} \quad (2.17)$$

$$I_{12} = ( 42,96 \angle - 35,51^\circ ) + ( 16,22 \angle - 35,65^\circ ) \quad (2.18)$$

$$I_{12} = ( 34,97 - j24,95 ) + ( 13,18 - j9,45 ) \quad (2.19)$$

$$I_{12} = 48,15 - j34,4 \quad (2.20)$$

$$I_{12} = 59,18 \angle - 35,54^\circ \text{ A} \quad (2.21)$$

Setelah didapatkan arus di setiap cabang, maka dilanjutkan ke tahap 2 untuk menghitung besar tegangan dan sudut fasa di setiap bus.

Tahap II (*Forward*) :

Perhitungan tegangan dimulai dari  $V_2$  hingga  $V_3$ .  $V_S$  tidak dihitung karena merupakan bus referensi (sumber).

$$V_2 = V_S - Z_1 \cdot I_{12} \quad (2.22)$$

$$V_2 = ( 11000 \angle 0^\circ ) - ( 0,3 + j0,7 ) \cdot ( 59,18 \angle - 35,54^\circ ) \quad (2.23)$$

$$V_2 = 11000 \angle 0^\circ - ( 0,76 \angle 66,8^\circ ) \cdot ( 59,18 \angle - 35,54^\circ ) \quad (2.24)$$

$$V_2 = 11000 \angle 0^\circ - ( 44,98 \angle 31,26^\circ ) \quad (2.25)$$

$$V_2 = 11000 + j0 - 38,45 - j23,34 \quad (2.26)$$

$$V_2 = 10961,55 - j23,34 \quad (2.27)$$

$$V_2 = 10961,57 \angle - 0,12^\circ \text{ V} \quad (2.28)$$

$$V_3 = V_2 - Z_2 \cdot I_{23} \quad (2.29)$$

$$V_3 = ( 10961,57 \angle - 0,12^\circ ) - ( 0,7 + j0,25 ) \cdot ( 16,22 \angle - 35,65^\circ ) \quad (2.30)$$

$$V_3 = 10961,57 \angle - 0,12^\circ - ( 0,74 \angle 19,65^\circ ) \cdot ( 16,22 \angle - 35,65^\circ ) \quad (2.31)$$

$$V_3 = 10961,57 \angle - 0,12^\circ - ( 43,79 \angle - 15,89^\circ ) \quad (2.32)$$

$$V_3 = 10961,55 - j23,34 - 42,12 + j11,99 \quad (2.33)$$

$$V_3 = 10919,43 - j11,35 \quad (2.34)$$

$$V_3 = 10919,44 \angle - 0,06^\circ \text{ V} \quad (2.35)$$

Setelah melalui kedua tahap diatas, langkah selanjutnya adalah melakukan cek konvergensi dengan perhitungan *error*. Perhitungan *error* merupakan nilai absolut dari selisih antara magnitud tegangan bus di iterasi saat ini ( $k$ ) dengan iterasi sebelumnya ( $k - 1$ ).

$$Error = \left[ \left| |V_i^k| - |V_i^{k-1}| \right| \right] \quad (2.36)$$

$$Error = \left[ \left| |V_2^k| - |V_2^{k-1}| \right| \right] \quad (2.37)$$

$$Error = \left[ \left| |V_3^k| - |V_3^{k-1}| \right| \right] \quad (2.38)$$

$$Error = \left[ \begin{array}{l} |10961,57 - 11000| \\ |10919,44 - 11000| \\ |38,43| \\ |80,56| \end{array} \right] \quad (2.39)$$

Indeks  $i$  pada perhitungan di atas merepresentasikan bus ke- $i$ . Pada umumnya batas toleransi *error* adalah 0,00001. Setelah perhitungan di atas dilakukan, proses perhitungan diulang kembali dari tahap *Backward* hingga *error* kurang dari nilai toleransi. Pada iterasi selanjutnya, tegangan yang digunakan di dalam tahap *Backward* merupakan hasil dari perhitungan *Forward* (tidak lagi menggunakan  $V_s$ ).

## BAB 3

# ANALISIS ALIRAN DAYA DAN OPTIMASI PEMASANGAN DG PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL IEEE 69 BUS

### 3.1 Karakteristik Sistem Distribusi

Sistem distribusi memiliki karakteristik khusus yang tidak terdapat pada sistem transmisi yaitu rasio R/X yang tinggi. Hal ini menyebabkan analisis aliran daya sistem distribusi tidak dapat menggunakan metode konvensional seperti Newton-Raphson, Gauss-Siedel, dan Fast Decoupled yang biasanya digunakan untuk analisis aliran daya sistem transmisi. Untuk menganalisis sistem distribusi dengan rasio R/X yang tinggi, ketiga metode di atas tidak dapat mencapai hasil yang konvergen sehingga hasil yang diberikan terkadang kurang tepat. Kalaupun hasilnya konvergen, waktu yang dibutuhkan cukup lama. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah metode analisis aliran daya yang dapat memberikan hasil yang valid dan cepat. Metode tersebut adalah *Backward-Forward Sweep*, yang akan digunakan di dalam tugas akhir ini.

### 3.2 Pemodelan DG

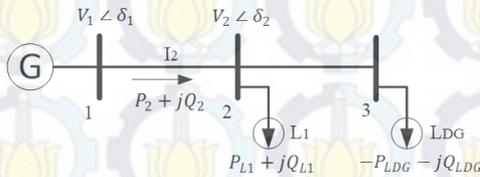
Akhir-akhir ini peneliti menaruh perhatian khusus terhadap DG dikarenakan fungsinya yang dapat meningkatkan keandalan sistem dan pemanfaatannya dalam penggunaan energi baru terbarukan sebagai sumber energi. Namun dengan kehadiran DG di dalam sistem distribusi menyebabkan analisis sistem distribusi menjadi lebih kompleks, sehingga diperlukan pemodelan untuk merepresentasikan DG di dalam analisis sistem distribusi. Pemodelan yang digunakan adalah pemodelan DG sebagai negative PQ load dan DG sebagai PV model.

#### 3.2.1 DG sebagai *Negative PQ Load*

Pada sistem distribusi aktif, arus dan daya tidak hanya mengalir satu arah saja (dari *feeder* menuju beban), melainkan dua arah dikarenakan kehadiran DG yang juga memberikan injeksi arus dan daya ke dalam sistem distribusi. Untuk menganalisis aliran daya sistem tersebut, DG dapat dimodelkan sebagai *negative PQ load*, yang artinya DG direpresentasikan sebagai beban dengan nilai daya aktif (P) dan reaktif (Q) yang diberi tanda negatif. Tanda negatif mengindikasikan bahwa beban tersebut menginjeksikan daya ke bus yang terhubung,

sehingga dari tanda negatif tersebut dapat diketahui bahwa beban merupakan generator/DG. Namun, jika DG dimodelkan sebagai *negative PQ load*, maka DG tidak memiliki kemampuan meregulasi output daya reaktif sehingga tidak dapat mempertahankan tegangan pada suatu nilai tertentu [7].

Gambar 3.1 menunjukkan pada bus 3 terdapat DG yang dimodelkan sebagai beban  $L_{DG}$  dengan nilai PQ yang diberi tanda negatif sebesar  $-P_{DG}$  dan  $-Q_{DG}$ , artinya terdapat daya injeksi sebesar  $P_{DG}$  dan  $Q_{DG}$  pada bus 3. Pada bus 2 terdapat beban  $L_1$  sebesar  $P_{L1}$  dan  $Q_{L1}$ . Dari keterangan di atas, didapatkan total daya pada bus 2 ( $P_2 + jQ_2$ ) adalah  $(P_{L1} + (-P_{DG})) + j(Q_{L1} + (-Q_{DG}))$ .



**Gambar 3.1** Pemodelan DG sebagai *negative PQ load*

### 3.2.2 DG sebagai PV Model

Di dalam pemodelan DG sebagai PV *model*, DG dapat menentukan tegangan pada bus yang terhubung karena di dalam pemodelan ini nilai daya reaktif DG akan diregulasikan untuk mencapai nilai tegangan yang diinginkan pada bus tersebut.

Jika pada Gambar 3.1 DG dihubungkan pada bus 2, maka besar daya reaktif yang harus diinjeksikan oleh DG adalah sebagai berikut.

Daya total bus 2 :

$$P_2 + jQ_2 = V_2 \cdot I_2^* \quad (3.1)$$

$$I_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2^*} \quad (3.2)$$

dengan,

$$I_2 = \frac{|V_1| \angle \delta_1 - |V_2| \angle \delta_2}{R + jX} \quad (3.3)$$

Jika persamaan 3.3 disubstitusikan ke persamaan 3.2, maka

$$P_2 - jQ_2 = \frac{(|V_2| \angle -\delta_2) \cdot (|V_1| \angle \delta_1 - |V_2| \angle \delta_2)}{R + jX} \quad (3.4)$$

$$P_2 - jQ_2 = \frac{|V_1||V_2|\angle(\delta_1 - \delta_2) - |V_2||V_2|\angle(\delta_2 - \delta_2)}{\sqrt{R^2 + X^2} \angle \theta} \quad (3.5)$$

Karena Q merupakan komponen imajiner, maka perhitungan yang diperlukan hanya komponen imajiner pada persamaan 3.5

$$Q_2 = \frac{|V_1||V_2| \cdot \sin(\theta - \delta_1 + \delta_2) - |V_2||V_2| \cdot \sin(\theta)}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (3.6)$$

Dari persamaan 3.6 didapatkan  $Q_2$  merupakan daya reaktif total pada bus 2. Daya reaktif yang harus dibangkitkan DG adalah

$$Q_{gen} = Q_{bus} - Q_{total} \quad (3.7)$$

keterangan ;

$Q_{gen}$  = Daya reaktif yang harus dibangkitkan

$Q_{bus}$  = Daya total pada bus yang terhubung DG

$Q_{total}$  = Daya total saluran yang terhubung pada bus

Pada kasus ini  $Q_{bus}$  adalah  $Q_2$  dan  $Q_{total}$  adalah daya reaktif pada saluran C2.

### 3.3 Perancangan Pemrograman Metode *Backward-Forward Sweep*

Di dalam metode *Backward-Forward Sweep* diperlukan suatu matriks yang mendefinisikan hubungan antara satu node dengan node lainnya. Matriks ini dibentuk menggunakan metode topologi jaringan. Matriks topologi jaringan ini kemudian digunakan untuk membentuk matriks BIBC dan matriks BCBV. Keseluruhan matriks yang telah didapat selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan aliran daya dengan metode BFS.

#### 3.3.1 Topologi Jaringan

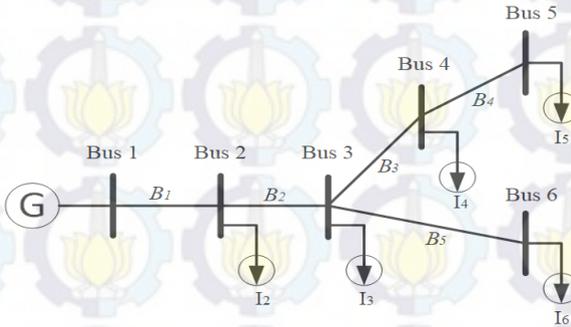
Metode topologi jaringan digunakan untuk mendapatkan persamaan aliran daya yang merepresentasikan hubungan antar node di dalam jaringan. Matriks pertama yang dibentuk dengan metode ini adalah matriks BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Berikut adalah contoh sistem distribusi radial yang akan ditinjau.

Dari *single line diagram* (SLD) Gambar 3.2, didapatkan persamaan total arus ( $I$ ) di setiap cabang ( $B$ ) dengan menerapkan KCL (*Kirchoff Current Law*), yaitu :

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$\begin{aligned} B_3 &= I_4 + I_5 \\ B_4 &= I_5 \\ B_5 &= I_6 \end{aligned} \quad (3.8)$$



**Gambar 3.2** SLD sistem distribusi radial

Persamaan 3.8 di atas jika dibentuk ke dalam matriks menjadi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Di dalam persamaan 3.9 terdapat matriks yang hanya bernilai 1 dan 0. Matriks ini disebut sebagai matriks BIBC. Angka “1” menyatakan adanya hubungan antara arus injeksi dengan suatu saluran. Angka “0” menyatakan ketidakadaan hubungan antara keduanya. Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut :

$$[B] = [BIBC] \times [I] \quad (3.10)$$

Berikut adalah prosedur untuk membangun matriks BIBC sesuai dengan persamaan di atas :

1. Untuk sistem distribusi dengan sejumlah  $m$  saluran dan  $n$  bus, maka dimensi matriks BIBC adalah  $m \times (n-1)$ .

2. Jika saluran  $B_i$ , berada di antara bus  $i$  dan bus  $j$ , salin kolom ke- $i$  ke kolom ke- $j$  dan isi baris ke- $j$  dengan nilai 1.
3. Ulangi langkah 2 hingga semua saluran masuk ke dalam matriks BIBC.

Di dalam matriks BIBC juga didapatkan hubungan antara saluran dengan bus yaitu sebagai berikut :

$$\begin{array}{l}
 B_1 \\
 B_2 \\
 B_3 \\
 B_4 \\
 B_5
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 bus2 \\
 bus3 \\
 bus4 \\
 bus5 \\
 bus6
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left[ \begin{array}{cccccc}
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \quad (3.11)$$

Keterangan :

- a. Bernilai "1", jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi
- b. Bernilai "0", jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi

Setelah persamaan injeksi arus melalui matriks BIBC didapatkan, selanjutnya matriks yang akan dibentuk adalah BCBV (*Bus Current to Branch Voltage*). Matriks BCBV didapatkan dari persamaan drop tegangan. Berikut adalah persamaan tegangan di setiap bus dengan menerapkan KVL (*Kirchoff Voltage Law*) :

$$\begin{array}{l}
 V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \\
 V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \\
 V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \\
 V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \\
 V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_6 \cdot Z_{36}
 \end{array}
 \quad (3.12)$$

Sehingga didapat nilai drop tegangan sebagai berikut :

$$\begin{array}{l}
 V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \\
 V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \\
 V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \\
 V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \\
 V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_6 \cdot Z_{56}
 \end{array}
 \quad (3.13)$$

Persamaan 3.13 jika dibentuk ke dalam matriks menjadi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Persamaan 3.14 disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [B] \quad (3.15)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.10 ke dalam persamaan 3.15 maka menjadi sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [BIBC] \times [I] \quad (3.16)$$

Persamaan 3.16 dapat disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V] = [DLF] \times [I] \quad (3.17)$$

Apabila diamati bentuk matriks BIBC bila ditranspose komposisinya, maka akan terbentuk matriks yang berkolerasi dengan matriks BCBV.

$$BIBC^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Jika matriks  $BIBC^T$  dikalikan per komponen dengan matriks impedansi, maka akan didapatkan matriks BCBV, yaitu sebagai berikut :

$$BCBV = [BIBC]^T \cdot [Z] \quad (3.19)$$

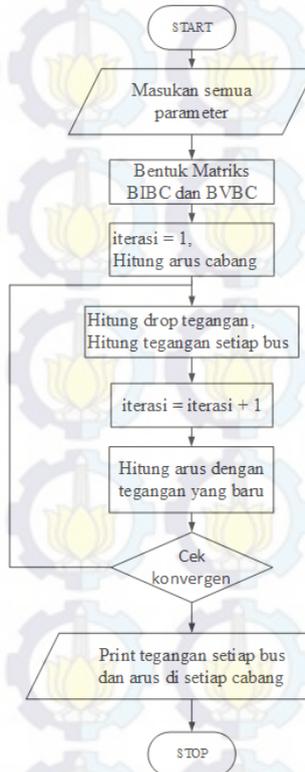
$$BCBV = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{56} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{56} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{56} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{56} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{56} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Sehingga persamaan untuk mencari drop tegangan adalah :

$$[\Delta V] = [BIBC]^T \cdot [Z] \times [BIBC] \times [I] \quad (3.21)$$

### 3.3.2 Flowchart Metode *Backward-Forward Sweep*

Untuk mempermudah pengimplementasian metode dalam analisis aliran daya sistem, diperlukan *flowchart* yang berisi prosedur perhitungan BFS. Adapun *flowchart* analisis aliran daya dengan metode BFS sebagai berikut :



**Gambar 3.3** *Flowchart* analisis aliran daya dengan metode *Backward-Forward Sweep*

Keterangan alur *flowchart* :

1. Menentukan semua parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan analisis aliran daya, seperti  $kV_{base}$ , data beban dalam bentuk persamaan kompleks  $(P+jQ)$ , dan data impedansi tiap saluran  $(R+jX)$ .

2. Membangun matriks BIBC dan BCBV dengan metode topologi jaringan yang telah dijelaskan sebelumnya.

3. Set tegangan awal pada seluruh bus sama dengan tegangan pada bus referensi dan set iterasi ( $k$ ) = 1.

3.a. Hitung nilai arus di setiap cabang dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_i^k = \text{conj} \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right) \quad (3.22)$$

ket. :

$I_i^k$  = Arus cabang  $i$  pada iterasi ke- $k$

$V_i^k$  = Tegangan bus  $i$  pada iterasi ke- $k$

$P_i + jQ_i$  = Daya total pada bus  $i$

4. Menghitung drop tegangan, nilai tegangan di setiap bus, dan lanjut ke iterasi selanjutnya.

4.a. Hitung besar drop tegangan dengan persamaan berikut :

$$[\Delta V_i^k] = [DLF] \times [I_i^k] \quad (3.23)$$

ket. :

$\Delta V_i^k$  = Drop tegangan antara bus referensi dengan bus  $i$  pada iterasi ke- $k$

4.b. Hitung nilai tegangan di setiap bus dari hasil selisih antara tegangan bus referensi dengan drop tegangan yang didapatkan sebelumnya

$$[V_i^k] = [V_{referensi}] - [\Delta V_i^k] \quad (3.24)$$

4.c. Lanjut ke iterasi selanjutnya

$$\text{iterasi} = \text{iterasi} + 1 \quad (3.25)$$

5. Menghitung arus dengan tegangan yang baru

$$I_i^{k+1} = \text{conj} \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{k+1}} \right) \quad (3.26)$$

6. Pengecekan konvergensi dilakukan untuk mengetahui nilai error antara hasil arus pada iterasi saat ini dengan arus pada iterasi sebelumnya.

$$\left| |I_i^{k+1}| - |I_i^k| \right| > \text{toleransi} \quad (3.27)$$

Jika nilai *error* melebihi nilai toleransi, maka kembali ke tahap 4. Jika nilai *error* sudah di dalam batas toleransi, maka lanjut ke tahap 7.

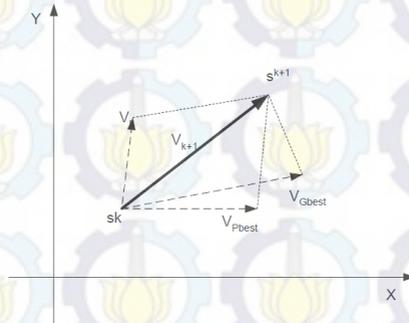
7. Didapatkan nilai tegangan bus dan arus yang final. Hitung total rugi daya saluran dengan persamaan berikut :

$$\sum_{i=1}^{Nbranch} (Ploss_i + jQloss_i) = \sum_{i=1}^{Nbranch} (I_i^2 \cdot R_i) \quad (3.28)$$

Tampilkan hasil tegangan setiap bus, arus di setiap cabang, dan total rugi daya.

### 3.4 Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode optimasi PSO pertama kali diperkenalkan oleh Russell Eberhart dan James Kennedy pada tahun 1995 [8]. PSO merupakan metode pencarian solusi berbasis populasi yang terinspirasi dari perilaku kawanan hewan dalam melakukan pencarian makanan. Metode PSO diawali dengan menyebarkan partikel-partikel di ruang pencarian solusi secara acak. Antar partikel (individu) akan memberikan informasi satu sama lain untuk mencari posisi terbaik (makanan terbanyak) di dalam kawanan tersebut, yang kemudian disebut sebagai *global best* ( $Gbest_d$ ). Masing-masing partikel juga memiliki ingatan akan posisi terbaiknya yang pernah ditempuh di dalam ruang pencarian solusi. Posisi terbaik dari masing-masing partikel disebut dengan *personal best* ( $Pbest_{i,d}$ ).



Gambar 3.4 Pergerakan partikel

Partikel-partikel tersebut tidak hanya bertukar informasi saja, melainkan juga bergerak atau berpindah tempat yang dipengaruhi oleh nilai  $Gbest_d$  dan  $Pbest_{i,d}$ . Pergerakan setiap partikel diatur oleh *velocity*. Di setiap iterasinya, *velocity* setiap partikel akan diperbarui

$(v_{i,d}^{k+1})$  yang dipengaruhi oleh tiga komponen, yaitu komponen inersia, komponen personal, dan komponen sosial. Komponen inersia merupakan pergerakan partikel berdasarkan *velocity* pada iterasi sebelumnya ( $v_{i,d}^k$ ) dan nilai inersia ( $\omega^k$ ). Sedangkan komponen personal merupakan pergerakan partikel yang dipengaruhi oleh posisi terbaik partikel yang pernah dicapai ( $Pbest_{i,d}$ ) dan komponen sosial merupakan pergerakan partikel yang dipengaruhi oleh posisi terbaik secara global ( $Gbest_d$ ). Sehingga jika dibentuk dalam persamaan menjadi sebagai berikut :

$$v_{i,d}^{k+1} = \omega^k \cdot v_{i,d}^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_{i,d} - x_{i,d}^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (Gbest_d - x_{i,d}^k) \quad (3.29)$$

dengan,

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$d = 1, 2, \dots, m$$

Keterangan :

$n$  = jumlah partikel

$m$  = jumlah dimensi

$r_1$  dan  $r_2$  merupakan nilai acak dengan interval [0,1], sedangkan  $c_1$  dan  $c_2$  merupakan koefisien akselerasi yang berperan dalam pemilihan apakah partikel lebih dominan bergerak menuju  $Gbest$  atau  $Pbest_i$ , jika nilai  $c_1$  lebih besar dibanding  $c_2$ , maka  $Pbest_i$  lebih dominan mempengaruhi pergerakan partikel, dan sebaliknya. Namun, dalam tugas akhir ini dipilih nilai  $c_1 = c_2 = 2.05$  [5].

Nilai inersia akan selalu berubah di setiap iterasinya. Nilai inersia dipengaruhi oleh nilai iterasi saat ini ( $k$ ) dan iterasi maksimum ( $k_{maks}$ ), serta nilai inersia minimum ( $\omega_{min}$ ) dan inersia maksimum ( $\omega_{maks}$ ). Berikut adalah persamaan nilai inersia :

$$\omega^k = \omega_{maks} - \frac{\omega_{maks} - \omega_{min}}{k_{maks}} \cdot k \quad (3.30)$$

Di dalam tugas akhir ini nilai  $\omega_{maks}$  sama dengan 0,9 dan  $\omega_{min}$  sama dengan 0,4, seperti yang digunakan oleh Eberhart [9].

Setiap pergantian iterasi terdapat posisi baru pada masing-masing partikel ( $x_{i,d}^{k+1}$ ) yang didapatkan dari penjumlahan posisi partikel pada iterasi sebelumnya ( $x_{i,d}^k$ ) dengan *velocity* ( $v_{i,d}^{k+1}$ ). Berikut adalah persamaan untuk memperbarui posisi partikel :

$$x_{i,d}^{k+1} = x_{i,d}^k + v_{i,d}^{k+1} \quad (3.31)$$

dengan,  
 $i = 1, 2, \dots, n$   
 $d = 1, 2, \dots, m$

### 3.5 Crazyness based Particle Swarm Optimization (CRPSO)

CRPSO merupakan metode pencarian solusi hasil modifikasi dari metode PSO. Dalam pencarian solusi, CRPSO lebih mengoptimalkan pencarian global (*global search*) dibandingkan pencarian lokal. Tidak seperti PSO yang mengoptimalkan pencarian lokal yang mengakibatkan PSO cenderung mencapai konvergensi *premature* (terlalu cepat). Hal inilah yang menjadi kelemahan PSO. Mekanisme pencarian solusi CRPSO adalah partikel akan terus bergerak untuk mencari nilai yang lebih kecil dibandingkan nilai yang ditunjukkan oleh PSO.

Ide pengembangan CRPSO adalah untuk menentukan secara acak kecepatan dari partikel, yang kemudian disebut *crazy particle*. Penentuan kecepatan tersebut menggunakan suatu probabilitas, yang disebut *crazy probability* ( $P_{craz}$ ). Nilai  $P_{craz}$  akan mempengaruhi update *velocity* pada setiap iterasi. Berikut adalah persamaan untuk memperbarui *velocity* [5] :

$$v_{i,d}^{k+1} = sign(r_3) \cdot r_2 \cdot v_{i,d}^k + (1 - r_2) \cdot c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_{i,d} - x_{i,d}^k) \dots \\ + (1 - r_2) \cdot c_2 \cdot (1 - r_1) \cdot (Gbest_d - x_{i,d}^k) \quad (3.32)$$

dengan,

$$sign(r_3) = \begin{cases} -1 & (r_3 \leq 0.05) \\ 1 & (r_3 > 0.05) \end{cases} \quad (3.33)$$

Persamaan 3.31 menunjukkan bahwa bilangan acak  $r_2$  berfungsi menyeimbangkan pencarian global dan pencarian lokal.  $sign(r_3)$  berfungsi mengubah arah pergerakan partikel secara berlawanan, hal ini untuk mengantisipasi agar partikel tidak bergerak ke arah yang salah (menjauhi nilai optimal) [10].  $r_3$  merupakan bilangan acak dengan interval [0,1].

Untuk merepresentasikan pergerakan kawanan burung atau kawanan ikan yang terkadang arah pergerakannya berubah tiba-tiba, maka persamaan *velocity* diberikan faktor *craziness*, yaitu sebagai berikut:

$$v_{i,d}^{k+1} = v_{i,d}^{k+1} + P_r(r_4) \cdot sign(r_3) \cdot v_{i,d}^{craziness} \quad (3.34)$$

dengan,

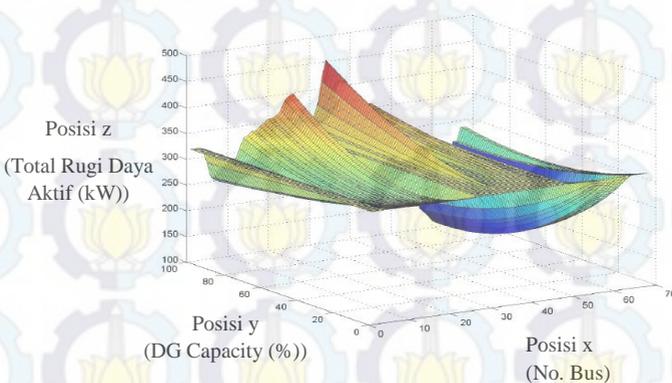
$$P_r(r_4) = \begin{cases} -1 & (r_4 \leq P_{craz}) \\ 0 & (r_4 > P_{craz}) \end{cases} \quad (3.35)$$

$$sign(r_4) = \begin{cases} 1 & (r_4 \geq 0.5) \\ -1 & (r_4 < 0.5) \end{cases} \quad (3.36)$$

$r_4$  merupakan bilangan acak dengan interval  $[0,1]$ . Nilai  $P_{craz}$  yang digunakan adalah 0,2 dan nilai  $c_1 = c_2 = 2.05$ .  $v_{i,d}^{craziness}$  merupakan nilai acak dengan interval antara 0,25 dan 0,35 [5].

### 3.6 Perancangan Permrograman *Craziness based Particle Swarm Optimization*

Pada dasarnya, metode optimasi berbasis *swarm intelligent* khususnya PSO dan modifikasinya, diawali dengan menyebarkan partikel di dalam suatu ruang pencarian solusi. Ruang permasalahan merupakan suatu daerah atau region yang akan dicari nilai optimalnya, baik itu nilai maksimum atau minimum. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 merupakan ruang pencarian solusi yang akan dicari nilai optimalnya. Grafik pada gambar tersebut merepresentasikan hasil evaluasi fungsi objektif dalam tiga dimensi. Dengan kata lain, grafik tersebut merupakan hasil *plotting* tiga komponen yang mewakili masing-masing sumbu (x, y, dan z). Sumbu x dan y untuk variabel yang akan dievaluasi, sedangkan sumbu z untuk hasil evaluasi kedua variabel di atas.

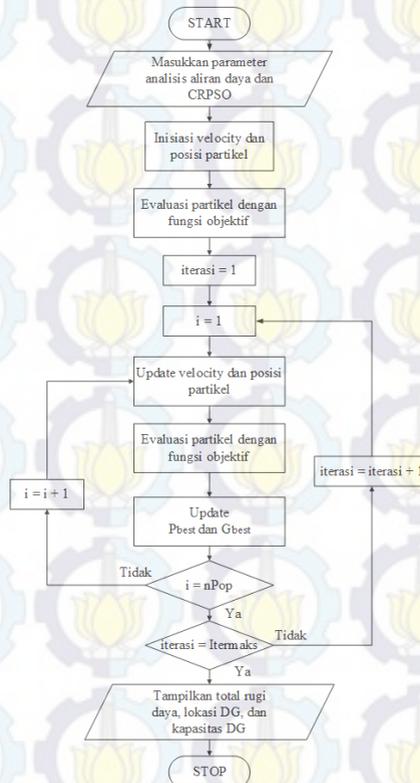


**Gambar 3.5** Ruang pencarian solusi

Dalam tugas akhir ini sumbu x pada Gambar 3.5 merepresentasikan nomor bus, sumbu y merepresentasikan kapasitas DG (%), dan sumbu z merepresentasikan total rugi daya aktif. Solusi yang dicari adalah nilai total rugi daya aktif minimum. Untuk menemukan nilai ini maka ada beberapa tahapan yaitu penyebaran partikel, evaluasi fungsi objektif, *update velocity*, *update posisi*, *update posisi terbaik personal*, dan *update posisi terbaik global*.

### 3.6.1 Flowchart Metode *Craziness based Particle Swarm Optimization*

Untuk mempermudah implementasi metode CRPSO, berikut adalah prosedur pencarian solusi dalam bentuk *flowchart* :



**Gambar 3.6** Flowchart optimasi dengan metode CRPSO

Keterangan alur *flowchart* :

1. Menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan, seperti iterasi maksimum ( $Iter_{maks}$ ), jumlah populasi ( $n_{pop}$ ), konstanta  $c_1, c_2, P_{craz}$ , batas *velocity* minimum ( $V_{min}$ ) dan maksimum ( $V_{maks}$ ), dan batas posisi minimum ( $X_{min}$ ) dan maksimum ( $X_{maks}$ ).  $X_{min}$  dan  $X_{maks}$  juga merupakan batas ruang pencarian solusi.

2. Inisiasi *velocity* dan posisi setiap partikel dengan cara sebagai berikut:

2.a. *Velocity* awal diberikan nilai “0” untuk setiap partikel.

$$v_{i,d}^k = 0 \quad (3.37)$$

2.b. Posisi awal setiap partikel didapatkan dari bilangan acak

$$x_{i,d}^k = rand(r) \quad (3.38)$$

dengan,

$$X_{min} \leq r \leq X_{maks} \quad (3.39)$$

3. Evaluasi setiap partikel dengan posisi yang didapatkan dari persamaan 3.38 menggunakan fungsi objektif untuk mendapatkan hasil evaluasi yang disebut nilai *fitness* ( $cost_{i,d}$ ). Kemudian nilai  $cost_{i,d}$  disimpan sebagai  $Pbest_{i,d}$  dan nilai  $Pbest_{i,d}$  terendah dalam satu populasi disimpan sebagai  $Gbest_d$  (misal nilai optimum yang dicari nilai terendah).

4. Perbarui *velocity* setiap partikel dengan menggunakan persamaan 3.32 hingga 3.36 dan perbarui posisi partikel dengan menggunakan persamaan 3.31

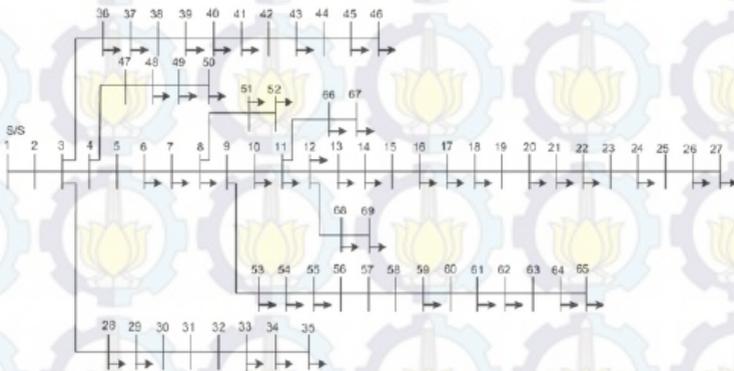
5. Evaluasi partikel dengan posisi yang baru menggunakan fungsi objektif sehingga didapatkan *fitness* yang baru.

6. Perbarui  $Pbest_{i,d}$  dan  $Gbest$  dengan ketentuan sebagai berikut :

6.a. Untuk memperbarui nilai  $Pbest_{i,d}$ , bandingkan  $cost_{i,d}$  (*fitness* partikel ke- $i$  dimensi  $d$ ) pada langkah 5 dengan nilai  $Pbest_{i,d}$  sebelumnya. Jika nilai  $cost_{i,d}$  lebih kecil dari  $Pbest_{i,d}$  sebelumnya, maka nilai  $cost_{i,d}$  disimpan sebagai  $Pbest_{i,d}$  yang baru. Jika sebaliknya, maka  $Pbest_{i,d}$  yang baru sama dengan  $Pbest_{i,d}$  yang lama.

- 6.b. Untuk memperbarui nilai  $Gbest_d$ , bandingkan  $Pbest_{i,d}$  terendah dengan nilai  $Gbest_d$  sebelumnya. Jika nilai  $Pbest_{i,d}$  lebih kecil dibanding  $Gbest_d$ , maka nilai  $Pbest_{i,d}$  disimpan sebagai  $Gbest_d$  yang baru. Jika sebaliknya, maka  $Gbest_d$  yang baru sama dengan  $Gbest_d$  yang lama.
7. Jika iterasi ( $k$ ) sudah mencapai iterasi maksimum ( $Iter_{maks}$ ), maka lanjut ke tahap 8. Namun jika tidak, kembali ke tahap 4 melalui penambahan iterasi (iterasi = iterasi + 1).
8. Didapatkan posisi setiap partikel telah final. Tampilkan nilai  $Gbest_d$  dan posisi yang menghasilkan nilai  $Gbest_d$ .

### 3.7 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus



**Gambar 3.7** SLD sistem distribusi radial IEEE 69 bus

Gambar 3.7 menunjukkan Single Line Diagram (SLD) dari sistem distribusi radial IEEE 69 bus dengan kVbase sama dengan 11 kV. Data saluran dan data beban pada sistem ini terdapat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1** Data saluran dan beban sistem distribusi radial IEEE 69 bus

No. Saluran	Bus		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	P (MW)	Q (MVAR)
	Dari	Ke				
1	1	2	0,0005	0,0012	0	0
2	2	3	0,0005	0,0012	0	0

**Tabel 3.1** Data saluran dan beban sistem distribusi radial IEEE 69 bus (Lanjutan)

No. Saluran	Bus		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	P (MW)	Q (MVAR)
	Dari	Ke				
3	3	4	0,0015	0,0036	0	0
4	4	5	0,0251	0,0294	0	0
5	5	6	0,366	0,1864	0,0026	0,0022
6	6	7	0,3811	0,1941	0,0404	0,03
7	7	8	0,0922	0,047	0,075	0,054
8	8	9	0,493	0,0251	0,03	0,022
9	9	10	0,819	0,2707	0,028	0,019
10	10	11	0,1872	0,0619	0,145	0,104
11	11	12	0,7114	0,2351	0,145	0,104
12	12	13	1,03	0,34	0,008	0,0055
13	13	14	1,044	0,345	0,008	0,0055
14	14	15	1,058	0,3496	0	0
15	15	16	0,1966	0,065	0,0455	0,03
16	16	17	0,3744	0,1238	0,06	0,035
17	17	18	0,0047	0,0016	0,06	0,035
18	18	19	0,3276	0,1083	0	0
19	19	20	0,2106	0,0696	0,001	0,0006
20	20	21	0,3416	0,1129	0,114	0,081
21	21	22	0,014	0,0046	0,0053	0,0035
22	22	23	0,1591	0,0526	0	0
23	23	24	0,3463	0,1145	0,028	0,02
24	24	25	0,7488	0,2475	0	0
25	25	26	0,3089	0,1021	0,014	0,01
26	26	27	0,1732	0,0572	0,014	0,01
27	3	28	0,0044	0,0108	0,026	0,0186
28	28	29	0,064	0,1565	0,026	0,0186
29	29	30	0,3978	0,1315	0	0
30	30	31	0,0702	0,0232	0	0
31	31	32	0,351	0,116	0	0
32	32	33	0,839	0,2816	0,014	0,01
33	33	34	1,708	0,5646	0,0195	0,014
34	34	35	1,474	0,4873	0,006	0,004
35	3	36	0,0044	0,0108	0,026	0,01855

**Tabel 3.1** Data saluran dan beban sistem distribusi radial IEEE 69 bus (Lanjutan)

No. Saluran	Bus		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	P (MW)	Q (MVAR)
	Dari	Ke				
36	36	37	0,064	0,1565	0,026	0,01855
37	37	38	0,1053	0,123	0	0
38	38	39	0,0304	0,0355	0,024	0,017
39	39	40	0,0018	0,0021	0,024	0,017
40	40	41	0,7283	0,8509	0,0012	0,001
41	41	42	0,31	0,3623	0	0
42	42	43	0,041	0,0478	0,006	0,0043
43	43	44	0,0092	0,0116	0	0
44	44	45	0,1089	0,1373	0,03922	0,0263
45	45	46	0,0009	0,0012	0,03922	0,0263
46	4	47	0,0034	0,0084	0	0
47	47	48	0,0851	0,2083	0,079	0,0564
48	48	49	0,2898	0,7091	0,3847	0,2745
49	49	50	0,0822	0,2011	0,3847	0,2745
50	8	51	0,0928	0,0473	0,0405	0,0283
51	51	52	0,3319	0,1114	0,0036	0,0027
52	9	53	0,174	0,0886	0,00435	0,0035
53	53	54	0,203	0,1034	0,0264	0,019
54	54	55	0,2842	0,1447	0,024	0,0172
55	55	56	0,2813	0,1433	0	0
56	56	57	1,59	0,5337	0	0
57	57	58	0,7837	0,263	0	0
58	58	59	0,3042	0,1006	0,1	0,072
59	59	60	0,3861	0,1172	0	0
60	60	61	0,5075	0,2585	1,244	0,888
61	61	62	0,0974	0,0496	0,032	0,023
62	62	63	0,145	0,0738	0	0
63	63	64	0,7105	0,3619	0,227	0,162
64	64	65	1,041	0,5302	0,059	0,042
65	11	66	0,2012	0,0611	0,018	0,013

**Tabel 3.1** Data saluran dan beban sistem distribusi radial IEEE 69 bus (Lanjutan)

No. Saluran	Bus		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	P (MW)	Q (MVAR)
	Dari	Ke				
66	66	67	0,0047	0,0014	0,018	0,013
67	12	68	0,7394	0,2444	0,028	0,02
68	68	69	0,0047	0,0016	0,028	0,02

### 3.8 Optimasi Lokasi dan Kapasitas DG pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus dengan Metode *Craziness based Particle Swarm Optimization*

Di dalam sistem penyaluran daya, terdapat rugi-rugi energi berupa panas yang terjadi akibat arus yang mengalir melalui tahanan atau resistansi di dalam suatu saluran. Seperti yang terjadi pada saluran sistem distribusi. Rugi-rugi tersebut, yang disebut juga rugi daya, mengakibatkan drop tegangan pada jaringan. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, permasalahan di atas dapat diatasi dengan penambahan DG pada jaringan distribusi. Penambahan DG ke jaringan distribusi perlu dilakukan analisa terlebih dahulu agar tidak menambah buruk kualitas daya listrik jaringan. Karena jika salah menempatkan DG, bisa saja rugi daya menjadi lebih besar dibanding tanpa DG. Oleh karena itu diperlukan metode optimasi dalam penempatan dan penentuan kapasitas DG di dalam suatu sistem distribusi.

Metode optimasi yang digunakan adalah CRPSO dengan fungsi objektif sebagai berikut :

$$\text{Meminimalkan } \sum_{i=1}^{Nbranch} P_{loss} = \sum_{i=1}^{Nbranch} I_i^2 \cdot R_i \quad (3.40)$$

Keterangan :

$P_{loss}$  = Total rugi daya aktif (W)

$Nbranch$  = Jumlah cabang sebanyak  $N$

$I_i$  = Arus pada cabang/saluran ke- $i$  (A)

$R_i$  = Resistansi pada saluran ke- $i$  ( $\Omega$ )

Untuk memastikan agar tegangan di setiap bus tidak melebihi batas tegangan yang ditoleransi, maka berikut adalah batas tegangan yang diijinkan menurut PLN [11] :

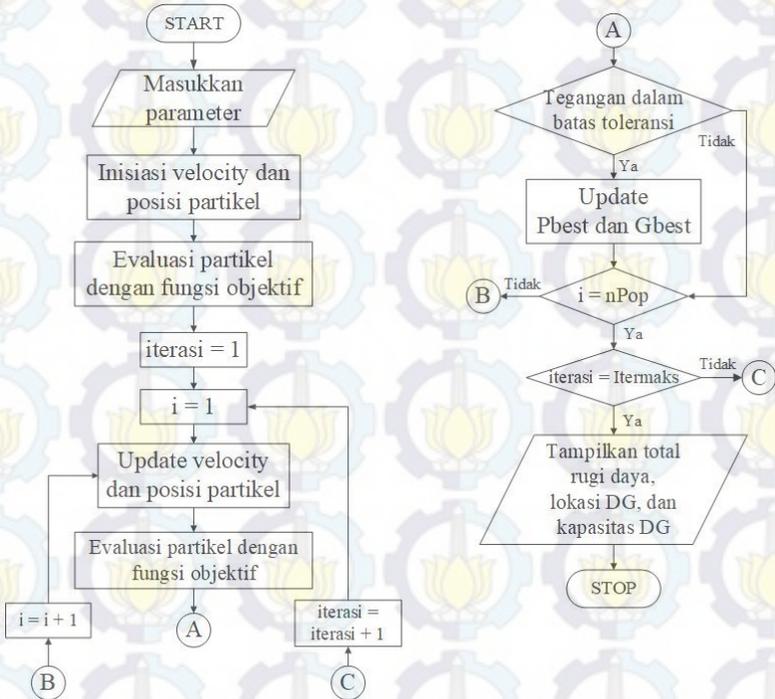
$$0,9 \leq V_i \leq 1.05 \quad pu \quad (3.41)$$

Keterangan :

$V_i$  = Tegangan pada bus  $i$

### 3.8.1 Flowchart Optimasi Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Berikut adalah prosedur dalam optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG dengan menggunakan metode CRPSO :



**Gambar 3.8** Flowchart optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG

Keterangan alur flowchart :

1. Menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan.
  - 1.a. untuk analisis aliran daya, parameter yang digunakan di dalam tugas akhir ini adalah :
    - Tegangan referensi (KVbase) = 11 kV

- Batas tegangan (persamaan 3.41)
- Data beban di setiap bus Tabel 3.1
- Data impedansi di setiap saluran Tabel 3.1

1.b. Menentukan parameter-parameter untuk CRPSO. Nilai-nilai parameter yang akan digunakan di dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Iterasi maksimum ( $Iter_{maks}$ ) = 500
- Jumlah populasi ( $n_{pop}$ ) = 50
- Jumlah variabel ( $n_{var}$ ) = 1, untuk penempatan 1 DG
- Jumlah variabel ( $n_{var}$ ) = 3, untuk penempatan 3 DG
- $c_1 = c_2 = 2.05$
- $P_{craz} = 0.2$
- *Velocity* minimum ( $V_{min}$ ) = 0.25
- *Velocity* maksimum ( $V_{maks}$ ) = 0.35
- Batas minimum posisi  $x$  ( $X_{min}$ ) = 1
- Batas maksimum posisi  $x$  ( $X_{max}$ ) = 69
- Batas minimum posisi  $y$  ( $Y_{min}$ ) = 0
- Batas maksimum posisi  $y$  ( $Y_{min}$ ) = 2000

Keterangan :

Posisi  $x$  merepresentasikan nomor bus, sedangkan posisi  $y$  merepresentasikan kapasitas DG.

2. Inisiasi *velocity* dan posisi setiap partikel dengan persamaan 3.37 dan persamaan 3.38.
3. Evaluasi setiap partikel menggunakan fungsi objektif pada persamaan 3.40 untuk mendapatkan nilai *fitness* setiap partikel ( $cost_{i,d}$ ). Simpan  $cost_{i,d}$  sebagai  $Pbest_{i,d}$  dan nilai  $Pbest_{i,d}$  terendah disimpan sebagai  $Gbest_d$ .
4. Set  $i = 1$ , yaitu partikel 1.
5. Perbarui *velocity* setiap partikel dengan menggunakan persamaan 3.32 hingga 3.36 dan perbarui posisi partikel dengan menggunakan persamaan 3.31

6. Evaluasi setiap partikel dengan posisi yang baru menggunakan fungsi objektif persamaan 3.40 sehingga didapatkan nilai  $cost_{i,d}$  yang baru.
7. Tegangan setiap bus hasil analisis aliran daya dengan kapasitas (posisi y partikel) dan letak penempatan (posisi x partikel) DG dicek apakah di dalam batas toleransi tegangan (persamaan 3.41) atau tidak. Jika ya, maka lanjut ke langkah 8. Jika tidak, maka langsung ke langkah 9.
8. Perbarui  $Pbest_{i,d}$  dan  $Gbest_d$  dengan ketentuan yang sama seperti Tahap 6a. dan 6b. pada subbab 3.6.1, yaitu :
  - 8.a. Jika  $cost_{i,d} < Pbest_{i,d}$ , maka nilai  $Pbest_{i,d} = cost_{i,d}$ . Jika sebaliknya, maka nilai  $Pbest_{i,d}$  masih nilai yang lama.
  - 8.b. Jika  $Pbest_{i,d} < Gbest_d$ , maka nilai  $Gbest_d = Pbest_{i,d}$ . Jika sebaliknya, maka nilai  $Gbest_d$  masih nilai yang lama.
9. Jika semua partikel selesai diproses ( $i = nPop$ ), maka lanjut ke langkah 9. Jika tidak, kembali ke langkah 5 melalui penambahan  $i = i + 1$ .
10. Jika iterasi ( $k$ ) sudah mencapai iterasi maksimum ( $Iter_{maks}$ ), maka lanjut ke langkah 10. Namun jika tidak, kembali ke langkah 4 melalui penambahan iterasi ( $iterasi = iterasi + 1$ ).
11. Didapatkan nilai  $Gbest_d$  akhir beserta posisinya. Nilai  $Gbest_d$  sebagai total rugi daya aktif dan posisi x sebagai nomor bus serta posisi y sebagai kapasitas DG. Tampilkan total rugi daya, nomor bus (lokasi DG), dan kapasitas DG.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

### 4.1 Analisis Aliran Daya pada Sistem Disrtribusi Radial IEEE 69 Bus Tanpa DG

Berikut adalah hasil analisis aliran daya yang dilakukan menggunakan metode *Backward-Forward Sweep* sebelum dihubungkannya DG ke dalam jaringan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Beban yang terhubung di dalam sistem merupakan beban 3 fasa seimbang, sehingga dapat dimodelkan sebagai beban 1 fasa.

**Tabel 4.1** Profil tegangan sistem distribusi IEEE 69 bus sebelum dipasang DG

Bus	Metode BFS		Tegangan (p.u.)
	Tegangan (kV)	Sudut (derajat)	
1	11,0000	0,0000	1,0000
2	10,9995	-0,0017	1,0000
3	10,9990	-0,0033	0,9999
4	10,9976	-0,0080	0,9998
5	10,9854	-0,0255	0,9987
6	10,8514	0,0633	0,9865
7	10,7122	0,1579	0,9738
8	10,6789	0,1807	0,9708
9	10,6619	0,1924	0,9693
10	10,5881	0,3068	0,9626
11	10,5718	0,3323	0,9611
12	10,5251	0,4038	0,9568
13	10,4817	0,4670	0,9529
14	10,4388	0,5298	0,9490
15	10,3963	0,5925	0,9451
16	10,3884	0,6042	0,9444
17	10,3754	0,6235	0,9432
18	10,3753	0,6237	0,9432
19	10,3684	0,6354	0,9426
20	10,3640	0,6429	0,9422
21	10,3568	0,6550	0,9415
22	10,3567	0,6552	0,9415

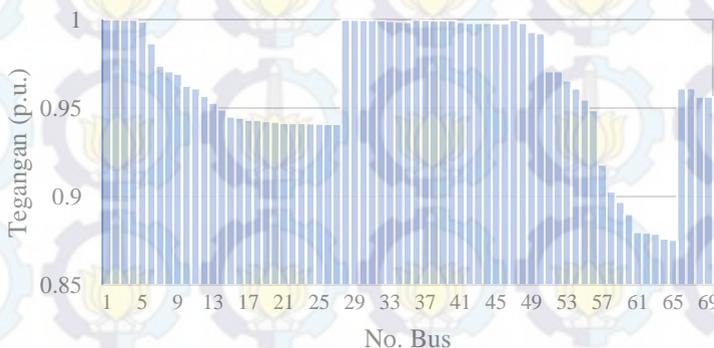
**Tabel 4.1** Profil tegangan sistem distribusi IEEE 69 bus sebelum dipasang DG (Lanjutan)

Bus	Metode BFS		Tegangan (p.u.)
	Tegangan (kV)	Sudut (derajat)	
23	10,3556	0,6570	0,9414
24	10,3533	0,6610	0,9412
25	10,3508	0,6653	0,9410
26	10,3498	0,6671	0,9409
27	10,3495	0,6676	0,9409
28	10,9989	-0,0037	0,9999
29	10,9979	-0,0071	0,9998
30	10,9961	-0,0043	0,9996
31	10,9958	-0,0038	0,9996
32	10,9942	-0,0013	0,9995
33	10,9905	0,0045	0,9991
34	10,9856	0,0123	0,9987
35	10,9846	0,0137	0,9986
36	10,9988	-0,0040	0,9999
37	10,9963	-0,0125	0,9997
38	10,9940	-0,0157	0,9995
39	10,9933	-0,0166	0,9994
40	10,9933	-0,0167	0,9994
41	10,9831	-0,0313	0,9985
42	10,9789	-0,0374	0,9981
43	10,9783	-0,0382	0,9980
44	10,9782	-0,0384	0,9980
45	10,9767	-0,0408	0,9979
46	10,9767	-0,0408	0,9979
47	10,9969	-0,0104	0,9997
48	10,9787	-0,0698	0,9981
49	10,9226	-0,2545	0,9930
50	10,9146	-0,2808	0,9922
51	10,6784	0,1811	0,9708
52	10,6783	0,1813	0,9708
53	10,6198	0,2213	0,9654
54	10,5708	0,2552	0,9610
55	10,5032	0,3024	0,9548

**Tabel 4.1** Profil tegangan sistem distribusi IEEE 69 bus sebelum dipasang DG (Lanjutan)

Bus	Metode BFS		Tegangan (p.u.)
	Tegangan (kV)	Sudut (derajat)	
56	10,4372	0,3489	0,9488
57	10,0972	0,8955	0,9179
58	9,9300	1,1787	0,9027
59	9,8653	1,2927	0,8968
60	9,7893	1,4405	0,8899
61	9,6775	1,5386	0,8798
62	9,6732	1,5424	0,8794
63	9,6673	1,5476	0,8788
64	9,6385	1,5731	0,8762
65	9,6299	1,5808	0,8754
66	10,5710	0,3338	0,9610
67	10,5710	0,3338	0,9610
68	10,5202	0,4121	0,9564
69	10,5202	0,4121	0,9564

Dari data Tabel 4.1 di atas, didapatkan profil tegangan sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Karena perbedaan profil tegangan antara



**Gambar 4.1** Grafik profil tegangan (p.u.) sistem IEEE 69 bus tanpa DG

metode BFS dengan ETAP sangat kecil, maka dipilih salah satu hasil untuk dibentuk dalam satuan *per unit* (pu). Baik hasil analisis dengan

metode BFS maupun ETAP, didapatkan total rugi daya aktif sebesar 0.317 MW dan total rugi daya reaktif 0.143 MW. Gambar 4.1 menunjukkan grafik tegangan (p.u.) berdasarkan data pada Tabel 4.1 di atas.

## 4.2 Hasil Optimasi Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Di dalam tugas akhir ini, DG dimodelkan sebagai *negative PQ load*, sehingga DG tidak dapat menjaga tegangan bus yang terhubung dengan DG tersebut pada suatu nilai yang diinginkan. Tegangan sistem tidak boleh diluar batas. Berikut adalah hasil optimasi pemasangan 1 DG dan 3 DG pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus dengan menggunakan metode CRPSO, serta metode PSO sebagai pembanding hasil optimasi CRPSO.

**Tabel 4.2** Hasil optimasi pemasangan 1 DG

Kondisi Sistem	Metode Optimasi	Lokasi Optimal (Bus)	Kapasitas Optimal (MW)	Total Kapasitas DG (MW)	Total Rugi Daya Aktif (MW)	Pengurangan Rugi Daya Aktif (%)
Tanpa DG	-	-	-	-	0,317	-
1 DG	PSO	61	1,891	1,891	0,122	64,6
	CRPSO	61	1,891	1,891	0,122	64,6

Tabel 4.2 menunjukkan total rugi daya aktif sistem tanpa DG sebesar 0,317 MW. Dengan optimasi pemasangan 1 DG didapatkan lokasi DG yang optimal terdapat di bus 61 dengan kapasitas DG sebesar 1,89 MW sehingga menghasilkan total rugi daya aktif sistem sebesar 0,122 MW. Dengan optimasi pemasangan 1 DG ini didapatkan penurunan rugi daya aktif sebesar 64,6% dari sistem tanpa DG. Tidak terdapat perbedaan hasil optimasi antara metode PSO dan CRPSO pada optimasi pemasangan 1 DG.

Pada pemasangan 3 DG, ruang pencarian solusi sangatlah kompleks. Hal ini mengakibatkan hasil optimasi yang didapatkan di setiap percobaan berbeda-beda (tidak konsisten). Oleh karena itu, perlu dilakukan *robustness test* (uji konsistensi) untuk mengetahui hasil yang benar-benar optimal dan juga metode manakah yang paling konsisten dalam mendapatkan hasil optimal tersebut. Uji konsistensi dilakukan dengan 25 kali percobaan. Tabel 4.3 menunjukkan metode CRPSO lebih sering

mendapatkan nilai optimal dibandingkan metode PSO. Dari 25 kali percobaan, metode CRPSO mendapatkan nilai optimal sebanyak 22 kali, sedangkan metode PSO sebanyak 13 kali. Hal ini dikarenakan metode PSO memiliki sidat pencarian *local optima* (memaksimalkan pencarian di area terdekat  $G_{best}$ ) sehingga terdapat kecenderungan konvergensi prematur atau dengan kata lain mudah ‘tersesat’ sehingga nilai optimal yang didapatkan bukanlah nilai optimal yang sebenarnya, sedangkan CRPSO dapat mengatasi hal tersebut dengan sifat pencariannya yang *global optima* (memaksimalkan pencarian di seluruh area pencarian). Dengan demikian metode CRPSO lebih unggul dan konsisten dibandingkan metode PSO..

**Tabel 4.3** Hasil uji konsistensi kedua metode optimasi untuk pemasangan 3 DG pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus

Metode Optimasi	Total Rugi Daya Aktif (MW)			
	0,093	0,094	0,096	0,1
CRPSO	22	3	0	0
PSO	13	5	5	2

Dari tabel di atas didapatkan juga bahwa pada optimasi pemasangan 3 DG, 0,093 MW merupakan besar total rugi daya aktif yang paling optimal. Berikut adalah lokasi optimal beserta kapasitas optimal dari masing-masing DG.

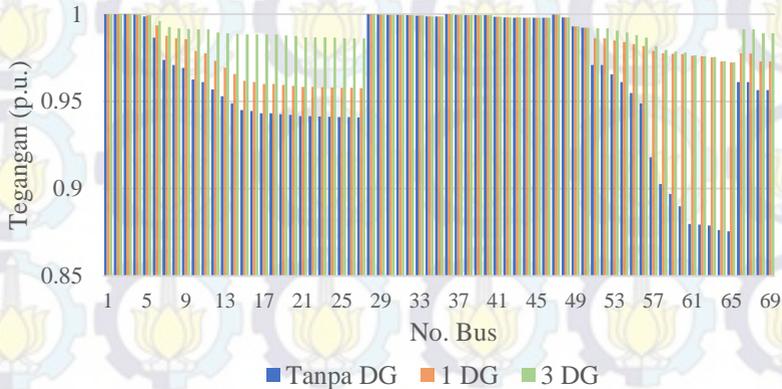
**Tabel 4.4** Hasil optimasi pemasangan 3 DG

Kondisi Sistem	Lokasi Optimal (Bus)	Kapasitas Optimal (MW)	Total Kapasitas DG (MW)	Total Rugi Daya Aktif (MW)	Pengurangan Rugi Daya Aktif (%)
3 DG	18	0,4	2,613	0,093	70,7
	61	1,743			
	66	0,47			

Dari Tabel 4.4 didapatkan kapasitas optimal DG yang pertama yaitu di bus 18 sebesar 0,4 MW, DG yang kedua di bus 61 sebesar 1,743 MW, dan DG yang ketiga di bus 66 sebesar 0,47 MW sehingga total kapasitas keseluruhan DG yang terhubung ke sistem sebesar 2,613 MW dan

menghasilkan total rugi daya aktif sistem sebesar 0,093 MW. Penurunan total rugi daya aktif sistem sebesar 70,7% dibandingkan ketika tanpa DG.

Dengan optimasi penentuan lokasi dan kapasitas DG di atas, didapatkan peningkatan tegangan pada sistem. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 yang membandingkan tegangan sistem ketika tanpa DG, setelah pemasangan 1 DG, dan setelah pemasangan 3 DG.



**Gambar 4.2** Perbandingan tegangan sistem ketika tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG

Berdasarkan Gambar 4.2, didapatkan bahwa bertambahnya DG ke dalam jaringan mengakibatkan tegangan sistem turut meningkat sehingga yang tadinya tanpa DG profil tegangan sistem melewati batas toleransi tegangan minimum (-10%) menjadi di dalam batas toleransi. Rincian tegangan sistem dengan pemasangan 1 DG dan 3 DG terdapat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus saat tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG

Bus	Tegangan (kV)		
	Tanpa DG	1 DG	3 DG
1	11,0000	11,0000	11.0000
2	10,9995	10,9996	10.9996
3	10,9990	10,9992	10.9993
4	10,9976	10,9981	10.9983
5	10,9854	10,9909	10.9929

**Tabel 4.5** Tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus saat tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG (Lanjutan)

Bus	Tegangan (kV)		
	Tanpa DG	1 DG	3 DG
6	10,8514	10,9284	10.9566
7	10,7122	10,8637	10.9193
8	10,6789	10,8485	10.9108
9	10,6619	10,8411	10.9070
10	10,5881	10,7686	10.9049
11	10,5718	10,7526	10.9050
12	10,5251	10,7066	10.8850
13	10,4817	10,6641	10.8797
14	10,4388	10,6219	10.8752
15	10,3963	10,5801	10.8717
16	10,3884	10,5724	10.8710
17	10,3754	10,5596	10.8717
18	10,3753	10,5595	10.8717
19	10,3684	10,5527	10.8652
20	10,3640	10,5483	10.8610
21	10,3568	10,5413	10.8541
22	10,3567	10,5412	10.8540
23	10,3556	10,5402	10.8530
24	10,3533	10,5379	10.8508
25	10,3508	10,5354	10.8484
26	10,3498	10,5344	10.8474
27	10,3495	10,5341	10.8472
28	10,9989	10,9991	10.9992
29	10,9979	10,9981	10.9981
30	10,9961	10,9963	10.9964
31	10,9958	10,9960	10.9961
32	10,9942	10,9944	10.9945
33	10,9905	10,9907	10.9908
34	10,9856	10,9858	10.9859
35	10,9846	10,9848	10.9849
36	10,9988	10,9990	10.9991
37	10,9963	10,9965	10.9966
38	10,9940	10,9942	10.9943

**Tabel 4.5** Tegangan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus saat tanpa DG, 1 DG, dan 3 DG (Lanjutan)

Bus	Tegangan (kV)		
	Tanpa DG	1 DG	3 DG
39	10,9933	10,9935	10.9936
40	10,9933	10,9935	10.9936
41	10,9831	10,9833	10.9834
42	10,9789	10,9791	10.9791
43	10,9783	10,9785	10.9786
44	10,9782	10,9784	10.9785
45	10,9767	10,9769	10.9770
46	10,9767	10,9769	10.9770
47	10,9969	10,9974	10.9976
48	10,9787	10,9792	10.9794
49	10,9226	10,9231	10.9233
50	10,9146	10,9151	10.9153
51	10,6784	10,8480	10.9103
52	10,6783	10,8478	10.9102
53	10,6198	10,8328	10.8963
54	10,5708	10,8233	10.8840
55	10,5032	10,8110	10.8677
56	10,4372	10,7997	10.8525
57	10,0972	10,7689	10.7991
58	9,9300	10,7549	10.7738
59	9,8653	10,7499	10.7644
60	9,7893	10,7491	10.7581
61	9,6775	10,7376	10.7392
62	9,6732	10,7337	10.7353
63	9,6673	10,7284	10.7300
64	9,6385	10,7025	10.7041
65	9,6299	10,6947	10.6963
66	10,5710	10,7517	10.9042
67	10,5710	10,7517	10.9042
68	10,5202	10,7018	10.8803
69	10,5202	10,7018	10.8803

## **BAB 5 PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Pemasangan DG yang dioptimasi penentuan lokasi dan kapasitasnya dapat menurunkan total rugi daya aktif sistem hingga 64% untuk pemasangan 1 DG dan 70% untuk pemasangan 3 DG pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.
2. Optimasi pemasangan DG pada jaringan distribusi dapat memperbaiki profil tegangan menjadi di dalam batas toleransi.
3. Metode CRPSO lebih konsisten dalam mendapatkan nilai optimal pada ruang pencarian yang kompleks dibandingkan metode PSO.

### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian di dalam tugas akhir ini adalah :

1. Pada penelitian ini belum dilakukannya optimasi penempatan dan kapasitas DG pada sistem distribusi real dan sistem tidak seimbang.
2. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan optimasi pemasangan kapasitor dan rekonfigurasi jaringan untuk mendapatkan total rugi daya aktif sistem yang lebih kecil.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero), "*Konfigurasi Sistem Distribusi*". Buku I : Kriteria Disain Enjininger Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, PT. PLN (Persero), 2010, Bab 4 Hal 3.
- [2] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, P. Crossley, "*Microgrids and Active Distribution Networks*". London: The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [3] CIGRE Workng Group C6.22, "*Microgrids Evolution Roadmap Engineering, Economics, and Experience*". International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies, Berkeley, 2015.
- [4] CIGRE, "*Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on The Power System*", Working Group 37.23, 1999.
- [5] K. Mistry, R. Roy, "*CRPSO based Optimal Placement of Multi-Distributed Generation in Radial Distribution System*". IEEE Interntional Conference on Power and Energy (PECon), Kinabalu Sabah, 2012.
- [6] M. H. Haque, "*Efficient Load Flow Method for Distribution Systems with Radial or Mesh Configuration*". IEE Proceedings - Generation, Transmission, and Distribution, vol. 143, p. 1, 1996.
- [7] D. Bhujel, B. Adhikary, A. K. Mishra, "*A Load Flow Algorithm for Radial Distribution System with Distributed Generation*". IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), Kathmandu, 2012.
- [8] R. Eberhart, J. Kennedy, "*A New Optimizer Using Particle Swarm Theory*". IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, 1995.
- [9] R. C. Eberhart, Y. Shi, "*Comparing Inertia Weights and Constriction Factors in Particle Swarm Optimization*". Congress on Evolutionary Computation, La Jolla, California, 2000.

[10] S. Ho, S. Yang, dkk, "A Particle Swarm Optimization-Based Method for Multiobjective Design Optimizations". IEEE Transactions on Magnetics, vol. 41, no. 5, pp. 1756-1759, 2005.

[11] PT. PLN (Persero), "*Tegangan-Tegangan Standar*". Standar Perusahaan Listrik Negara, Jakarta, PT. PLN (Persero), 1995.

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Brilian Adi Saputra, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis lahir di Semarang pada tanggal 5 April 1995 oleh pasangan Bapak Agustinus Kuswartiman dan Ibu Sri Irawatiningsih. Sejak kecil penulis tinggal di kota Cilegon provinsi Banten bersama ayah, ibu dan seorang kakak dan mengawali pendidikan di TK Mardi Yuana Cilegon pada tahun 1999 hingga 2001. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SD Mardi Yuana Cilegon pada tahun 2001 sampai 2007. Setelah menyelesaikan pendidikan di tingkat dasar pada tahun 2007, penulis melanjutkan pendidikan di SMP Mardi Yuana Cilegon hingga lulus pada tahun 2010. Dilanjutkan sekolah tingkat menengah atas di SMA Negeri 1 Kota Serang pada tahun 2010 hingga tahun 2013. Selepas menyelesaikan pendidikan di tingkat menengah atas, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi bernama Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro. Selama di mengemban pendidikan di ITS, penulis aktif di organisasi keagamaan bernama Keluarga Mahasiswa Katolik (KMK) ITS dengan posisi staf di bagian Departemen Luar Kampus periode 2014/2015.