



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**ANALISIS MINIMALISASI RUGI JARINGAN PADA  
DESAIN SMARTGRID MENGGUNAKAN PEMBANGKITAN  
TERSEBAR**

Rahmat Bagus Ardhiansyah  
NRP 2212105035

Dosen Pembimbing  
Prof.Ir.Ontoseno Penangsang,M.Sc.,Ph.D.  
Heri Suryoatmojo,ST.,MT.,Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT- TE 091399**

**ANALYSIS OF LOSSES MINIMIZATION IN DESIGNED  
SMARTGRID USING DISTRIBUTED GENERATION**

Rahmat Bagus Ardhiansyah  
NRP 2212105035

Advisor  
Prof.Ir.Ontoseno Penangsang,M.Sc.,Ph.D.  
Heri Suryoatmojo,ST.,MT.,Ph.D.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014

**ANALISIS MINIMALISASI RUGI JARINGAN PADA  
DESAIN SMARTGRID MENGGUNAKAN  
PEMBANGKITAN TERSEBAR**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**



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

**Dosen Pembimbing II,**



**Heri Survoatmojo, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 198006032006041003**



# *Analisis Minimalisasi Rugi Jaringan Pada Desain Smartgrid Menggunakan Pembangkitan Tersebar*

Rahmat Bagus Ardhiansyah  
NRP 2212 105 035

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang M.Sc., Ph.D.  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRAK**

Pengembangan strategi pengendalian untuk meminimalkan kerugian jaringan dan menjamin keseimbangan aliran daya reaktif dengan menggunakan pembangkit listrik tersebar. Sebagai pelanggan ritel biasanya tidak memiliki pilihan di mana mereka berada di sepanjang feeder, tampaknya tidak adil jika hanya beberapa dari mereka menanggung semua beban dan tanggung jawab untuk kenaikan tegangan.

Dengan adanya teknologi baru, yang mampu melakukan komunikasi dan pengolahan data dengan cepat, sistem kontrol baru akan diusulkan dengan menggabungkan kontrol terpusat dan lokal klasik. Maka perlu dilakukan sebuah analisis terhadap jaringan yang akan diimplementasikan secara riil dalam sebuah simulasi sehingga dapat diketahui bentuk aliran daya reaktif pada sebuah sistem. Bagian utama dari analisis ini adalah aliran daya reaktif, yang memperkirakan penurunan tegangan menggunakan permodelan jaringan. Solusi yang ditawarkan yakni mengenai rasio daya reaktif terhadap daya aktif pada sebuah sistem. Jaringan yang digunakan adalah jaringan distribusi radial tegangan menengah yang sebenarnya yang mencakup area yang luas dengan beragam pengumpulan dan dengan demikian memberikan hasil yang relatif umum.

Adapun hasil simulasi dilakukan dengan MATLAB lalu dibandingkan dengan ETAP sebagai referensi, didapatkan error sebesar 5 – 12% terhadap rugi jaringan yang didapatkan. Dalam melakukan penentuan pembangkitan yang optimal, maka digunakanlah loss sensitivity factor.

**Kata kunci:** *Daya Reaktif, Jaringan Distribusi Radial Tegangan Menengah dan Loss Sensitivity Factor.*

## *Analysis of Losses Minimization in Designed Smartgrid using Distributed Generation*

Rahmat Bagus Ardhiansyah  
NRP 2212 105 035

### **Counsellor Lecturer**

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang MSc., Ph.D.  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

### **ABSTRACT**

Development of strategy control to minimize losses in network and make quality reactive power become stabil using distributed generation. Most of customer usually didn't have any chance to get power from feeder, it made some problem for customer because they get the impact from increasing or decreasing bus voltage from adding the load of bus .

New technology provide better communication for data processing and made it more quickly. Some of new control method being provide to people among the world, which combine local control method and central control method. So we must to analyze reactive power flow in network before we implement it in real condition. In this analysis , the main topic is about reactive power flow in network. So ratio of active power and reactive power from distributed generation become the solution of this topic, which the simulation network used was radial type medium distribution network. So the result giving the global number to use.

Simulation result using MATLAB being compared with ETAP as reference , we get error 5 – 12 % for total losses. In use locate optimal placement for distributed generation so we use loss sensitivity factor.

**Keywords:** *Reactive Power , Radial Medium Distribution Network and Loss Sensitivity Factor.*

## KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Penulis mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya dan ridho serta hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “*Analisis Minimalisasi Rugi Jaringan Pada Desain Smartgrid Menggunakan Pembangkitan Tersebar*” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan dalam Tugas Akhir ini membahas tentang minimalisasi rugi jaringan pada penyulang jaringan distribusi radial tegangan menengah dengan melakukan pembangkitan tersebar, dimana pembangkitan dibangkitkan secara optimal guna mengetahui letak pembangkitan sehingga didapatkan rugi jaringan yang paling minimal. Penulis sadar bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala saran serta masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dan dan kemajuan dalam Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya yang membaca. Amin.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika Pembahasan .....	2
1.6 Relevansi dan Manfaat .....	3
<b>BAB II DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK</b>	
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	5
2.1.1 Sistem Distribusi Radial .....	6
2.1.2 Sistem Distribusi Mesh .....	7
2.1.3 Jaringan Distribusi Spindel.....	8
2.1.4 Sistem Distribusi Ring .....	9
2.2 Rugi – Rugi Energi dan Tegangan Jatuh.....	9
2.3 Analisis Aliran Daya .....	10
2.3.1. Jenis-jenis Bus .....	10
2.3.2. Persamaan Aliran Daya .....	11
2.3.3. Aliran Daya Jaringan Distribusi Radial.....	13
<b>BAB III SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DAN OPTIMALISASI PEMBANGKITAN</b>	
3.1 Sistem Distribusi Tegangan Menengah.....	17
3.1.1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 30 Bus.....	17
3.1.2 Penyulang Kaliasin.....	20
3.2 Loss Sensitivity Factor .....	25
3.3 Tipe Pembangkit Tersebar.....	26
3.4 Penentuan Pembangkitan Optimal.....	26

3.5 Perancangan software .....	28
--------------------------------	----

**BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH**

4.1 Pemodelan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah.....	31
4.2 Studi Kasus dan Analisis .....	33
4.2.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah kasus ke-1.....	33
4.2.1.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 30 bus.....	33
4.2.1.2 Penyulang Kaliasin.....	35
4.2.2 Penyulang Kaliasin pada kasus ke-2 .....	36
4.2.3 Optimalisasi Pembangkit Tipe 1 pada kasus ke-3 .....	37
4.2.3.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 30 bus.....	38
4.2.3.2 Penyulang Kaliasin.....	44
4.2.4 Optimalisasi Pembangkit Tipe 3 pada kasus ke-4.....	47
4.2.4.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 30 bus.....	47
4.2.4.2 Penyulang Kaliasin.....	55

**BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>
-----------------------	-----------

<b>RIWAYAT PENULIS .....</b>	<b>67</b>
------------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Contoh Sistem Distribusi Radial .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Contoh Sistem Distribusi Mesh .....	7
<b>Gambar 2.3</b> Jaringan Spindel .....	8
<b>Gambar 2.4</b> Sistem Distribusi Ring .....	9
<b>Gambar 2.5</b> Sistem Tenaga Listrik .....	10
<b>Gambar 2.6</b> Penggambaran Bus Secara Umum.....	12
<b>Gambar 2.7</b> Contoh jaringan distribusi radial 6 bus.....	14
<b>Gambar 3.1</b> Single line diagram jaringan 30 bus.....	18
<b>Gambar 3.2</b> Single line diagram penyulang Kaliasin.....	21
<b>Gambar 3.3</b> Diagram alir perancangan software.....	29
<b>Gambar 4.1</b> Single line diagram jaringan 30 bus.....	31
<b>Gambar 4.2</b> Single line diagram penyulang Kaliasin .....	32

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Data saluran jaringan 30 bus .....	18
<b>Tabel 3.2</b> Data pembebanan 30 bus .....	19
<b>Tabel 3.3</b> Data saluran penyulang Kaliasin.....	21
<b>Tabel 3.4</b> Data panjang saluran udara penyulang Kaliasin.....	22
<b>Tabel 3.5</b> Data impedansi penyulang Kaliasin .....	22
<b>Tabel 3.6</b> Data saluran penyulang Kaliasin dimodifikasi.....	23
<b>Tabel 3.7</b> Data panjang saluran udara penyulang Kaliasin dimodifikasi.....	23
<b>Tabel 3.8</b> Data impedansi penyulang Kaliasin dimodifikasi.....	24
<b>Tabel 3.9</b> Data dari pembebanan tiap fasa penyulang Kaliasin.....	24
<b>Tabel 3.10</b> Data pembebanan penyulang Kaliasin .....	25
<b>Tabel 4.1</b> <i>Study case</i> simulasi .....	33
<b>Tabel 4.2</b> Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus.....	33
<b>Tabel 4.3</b> Hasil aliran daya penyulang Kaliasin kasus 1.....	35
<b>Tabel 4.4</b> Hasil aliran daya 3 fasa seimbang penyulang Kaliasin kasus 2.....	37
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Optimasi 30 bus PF unity.....	38
<b>Tabel 4.6</b> Total rugi jaringan setelah optimalisasi dengan PF=1....	39
<b>Tabel 4.7</b> Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5,68MW pada bus 21 .....	41
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan studi kasus 1 dan studi kasus 3 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5,68 MW.....	42
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Optimasi penyulang Kaliasin dengan PF unity.....	44
<b>Tabel 4.10</b> Total rugi jaringan penyulang Kaliasin.....	45
<b>Tabel 4.11</b> Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial penyulang Kaliasin setelah diinjeksi daya aktif sebesar 21,3MW pada bus 4.....	46
<b>Tabel 4.12</b> Perbandingan tegangan pada studi kasus 2 dengan studi kasus 3 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 21,3 MW pada bus 4.....	46
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Optimasi 30 bus denga PF = 0,9.....	48
<b>Tabel 4.14</b> Total rugi jaringan setelah optimalisasi dengan PF=0,9..	49
<b>Tabel 4.15</b> Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5,97MW pada bus 21.....	51

<b>Tabel 4.16</b>	Perbandingan studi kasus 1 dan studi kasus 4 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5,97 MW.....	52
<b>Tabel 4.17</b>	Perbandingan tegangan studi kasus 3 dan studi kasus 4.	54
<b>Tabel 4.18</b>	Hasil Optimasi penyulang Kaliasin dengan PF = 0,9.....	52
<b>Tabel 4.19</b>	Total rugi jaringan penyulang Kaliasin setelah optimalisasi dengan PF=0.9.....	55
<b>Tabel 4.20</b>	Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial penyulang Kaliasin setelah diinjeksi daya aktif sebesar 19,22 MW pada bus 4.....	57
<b>Tabel 4.21</b>	Perbandingan tegangan pada studi kasus 2 dengan studi kasus 4 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 19,22 MW pada bus 4.....	58
<b>Tabel 4.22</b>	Perbandingan studi kasus 3 dan studi kasus 4.....	58

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sistem pembangkitan listrik yang telah tersedia terhubung dari sebuah pembangkit ke pelanggan melalui sebuah saluran transmisi, dimana nantinya menuju ke saluran distribusi terlebih dahulu sebelum sampai kepada pelanggan. Namun seiring perkembangan jaman, banyak inovasi - inovasi baru dalam pembangkitan listrik dalam skala kecil dan tersebar [1]. Diantaranya pembangkitan menggunakan photovoltaic dan pembangkit tenaga angin skala kecil. kebutuhan listrik skala kecil dapat dibantu dengan adanya pembangkit – pembangkit tersebut yang dibangun secara tersebar. Namun dalam perkembangannya nanti, akan timbul masalah baru yakni menyinkronisasikan kerja antara sistem pembangkit lama dan sistem pembangkit baru. Maka dari itu perlulah dilakukan sebuah analisa terhadap penggabungan model dari smartgrid ke sebuah sistem pembangkitan lama.

Dalam sebuah pembangkitan tentunya akan timbul rugi-rugi sepanjang saluran transmisi maupun distribusi. Dengan adanya smartgrid , maka dilakukan sebuah pembelajaran terhadap minimalisasi rugi-rugi yang terjadi pada sebuah saluran dengan menggunakan pengontrolan tegangan pada sebuah sistem yang telah diasumsikan. Nantinya akan kita ketahui apakah pembangkitan tersebar pada sebuah smartgrid dapat mengurangi nilai rugi yang terjadi pada sebuah sistem pembangkitan. Diharapkan nantinya dapat meminimalisasi kerja trafo dalam melakukan tap changing.

## 1.2 Permasalahan

Masalah yang dibahas pada tugas akhir ini adalah cara meminimalisasi rugi jaringan yang timbul pada jaringan distribusi tegangan menengah, dalam hal ini saluran tegangan menengah 11 kV[5] dan salah satu saluran distribusi 20 kV di Surabaya Utara yang telah dimodifikasi digunakan sebagai objek penelitian tugas akhir kali ini .

Untuk memudahkan analisa, maka digunakan asumsi dan pembatasan masalah diantaranya sebagai berikut.

- 1 Dalam Tugas Akhir ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan *softwareMatlab R2009*.

2. Evaluasi yang dilakukan yaitu mengenai pembangkitan pembangkit yang optimal untuk minimalisasi rugi-rugi jaringan yang timbul pada saluran distribusi tegangan menengah yang telah dimodifikasi.
3. Pembangkitan tersebar ini dilakukan guna mengurangi kinerja tap trafo untuk memperbaiki tegangan pada tiap bus [1].

### **1.3 Tujuan**

Penelitian tentang smartgrid ini bertujuan untuk menganalisis apakah sebuah sistem pembangkitan smartgrid dapat diminimalisasi kerugiannya dengan melakukan pengontrolan tegangan pada pembangkitan tersebar sehingga dapat mengurangi kinerja dari sebuah transformator.

### **1.4 Metodologi**

Metode yang digunakan pada penyelesaian kasus dalam tugas akhir ini diawali dengan penggunaan data saluran tegangan menengah 11 kV [5] sebagai uji coba dan diimplementasikan pada salah satu saluran penyulang distribusi tegangan menengah 20 kV di Surabaya Utara. Data tersebut digunakan sebagai input program optimalisasi pembangkitan pada jaringan distribusi dengan mengimplementasikan *loss sensitivity factor*. Setelah program aliran daya dijalankan akan didapat nilai nilai drop tegangan pada setiap bus. Nilai tegangan pada tiap bus digunakan sebagai fungsi objektif yang dijaga dalam kondisi yang telah ditentukan sehingga diperoleh rugi – rugi jaringan yang minimal. Kesimpulan dapat ditarik setelah memperoleh hasil pembangkitan yang optimal untuk rugi-rugi jaringan yang minimal.

### **1.5 Sistematika Pembahasan**

Sistematika pembahasan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

#### **1. BAB 1 : Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

#### **2. BAB 2 : Dasar Sistem Tenaga Listrik**

Bab ini secara garis besar membahas tentang dasar sistem tenaga listrik khususnya jaringan distribusi dan analisa aliran daya sebagai dasar dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

### 3. **BAB 3: Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan Optimalisasi Pembangkitan.**

Bab ini membahas sistem distribusi tegangan menengah dengan menampilkan data dan single line diagram sistem distribusi 11 kV dan 20 kV serta penggunaan *Loss Sensitivity Factor* untuk mendapatkan hasil pembangkitan yang optimal guna meminimalkan rugi-rugi pada jaringan.

### 4. **BAB 4 : Simulasi dan Analisis**

Bab ini membahas tentang hasil pembangkitan pada bus tertentu untuk mencari rugi rugi yang paling minimal dari setiap pembangkitan pada jaringan distribusi

### 5. **BAB 5 : Penutup**

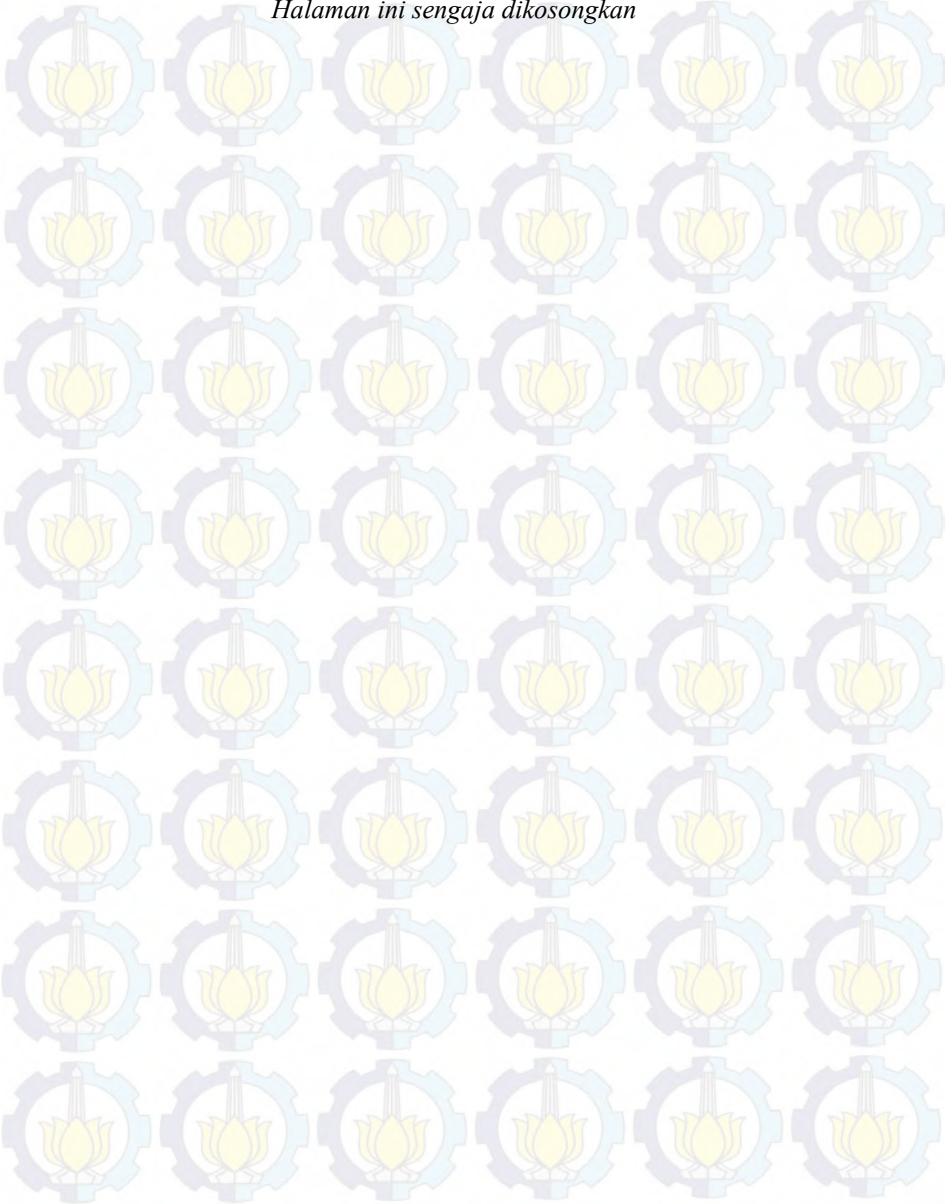
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis penyelesaian dari penelitian yang telah disebutkan.

#### **1.6 Relevansi dan Manfaat**

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

1. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan pembangkitan sistem tenaga listrik tersebar pada jaringan distribusi dengan optimal.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir.
3. Dapat menjadi referensi penelitian untuk mengembangkan metode optimasi yang lebih handal

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB II DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

### 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dibagi menjadi sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem pembangkitan memiliki peranan sebagai pembangkit energi listrik melalui pembangkit pembangkit yang pada umumnya jauh dari pusat beban sehingga harus disalurkan melalui sistem transmisi atau sistem distribusi. Sistem transmisi merupakan penghubung atau penyalur energi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit ke gardu induk yang letaknya cukup jauh dari pembangkit. Sedangkan sistem distribusi memiliki peranan yaitu menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke masing masing beban atau pelanggan dengan cara mengubah tegangan listrik yang didistribusikan menjadi tegangan yang dikehendaki, karena kedudukan sistem distribusi ada pada bagian paling akhir dari keseluruhan sistem tenaga listrik.

Di Indonesia, pendistribusian energi listrik ke konsumen terdiri dari beberapa variasi *rating* tegangan yang digunakan oleh pelanggan. Untuk pelanggan industri biasa digunakan tegangan menengah 20 kV atau 6.3 kV sedangkan untuk konsumen tegangan rendah 0.4 kV yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan perumahan maupun perkantoran.

Hal yang harus diperhatikan pada pendistribusian tenaga listrik sampai ke pelanggan adalah sebagai berikut :

- 1) Regulasi tegangan  
Variasi tegangan pelayanan (tegangan terminal konsumen) harus pada batas-batas yang diijinkan, maksimum 5 % dan minimum 5 %.
- 2) Kontinuitas pelayanan dan pengamanan  
Tidak sering terjadinya pemadaman energi listrik yang dapat merugikan pelanggan dan jika terjadi gangguan harus dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Hal tersebut dapat tercapai apabila memiliki konfigurasi sistem dan sistem pengamanan yang baik.
- 3) Efisiensi sistem distribusi energi listrik  
Menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang lebih baik dan juga menekan rugi rugi non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan dalam pengukuran.

#### 4) Fleksibilitas terhadap penambahan beban

Untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber sampai ke pusat beban digunakan jaringan tegangan menengah 20 KV.

Menurut tingkat tegangan dan distribusi saluran, sistem distribusi dapat diklasifikasikan menjadi

1. Sistem Distribusi Primer
2. Sistem Distribusi Sekunder

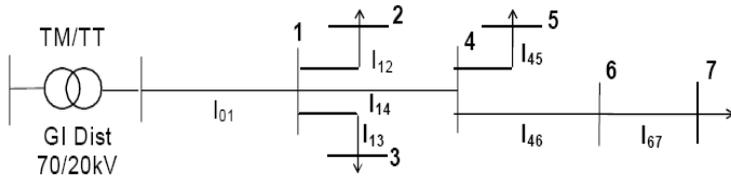
Untuk sistem distribusi primer, tingkat tegangan yang digunakan meliputi tegangan menengah 20 kV atau 6,3 kV. Distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplai daya (Gardu Induk) ke pusat-pusat beban (Gardu Distribusi) dengan membentuk jaring atau penyulang-penyulang sampai ke pusat beban paling akhir. Oleh karena itu, sistem distribusi ini disebut sistem distribusi tegangan menengah.

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari Gardu Induk ke masing-masing pelanggan, seperti untuk menyuplai tenaga listrik pada daerah perumahan kecil, penerangan jalan maupun industri-industri kecil yang menggunakan tegangan rendah 0,4 kV atau 380/220 V, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

#### **2.1.1 Sistem Distribusi Radial**

Sistem radial adalah sistem yang paling mudah dalam pengontrolannya, dan paling sederhana. Oleh karena itu sistem ini sering digunakan. Sistem tersusun dari saluran yang ditarik dari titik sumber dan akan dicabangkan ke beban. Ada beberapa tipe distribusi radial yaitu radial pohon, radial dengan pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian fasa. Jaringan distribusi radial pohon adalah bentuk distribusi dengan satu saluran utama disuplai menurut beban, kemudian dicabangkan selanjutnya ditambah cabang lagi yang disebut dengan anak cabang. Jaringan distribusi radial dengan pemisah merupakan perubahan dari bentuk distribusi radial pohon tetapi dengan menambahkan pemisah yang digunakan untuk menjaga pelayanan konsumen, pemisah digunakan untuk melokalisasi wilayah yang terjadi gangguan agar tidak menyebar ke wilayah lain yang tidak terkena

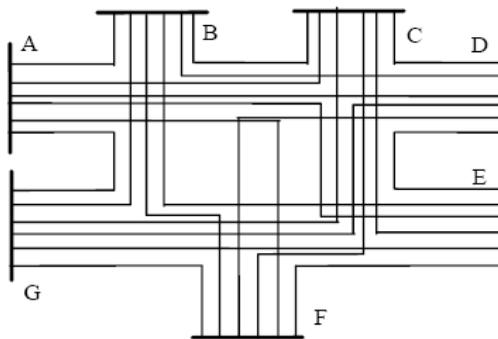
gangguan. Jaringan distribusi dengan pusat beban berbentuk jaringan yang menyuplai menggunakan penyulang utama langsung disalurkan ke pusat beban, dan dari pusat beban ini akan di salurkan ke beban yang lain. Jaringan distribusi radial dengan pembagian fasa memiliki sistem yang berbeda antara fasa yang satu dengan yang lain. Contoh dari sistem distribusi radial ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Contoh Sistem Distribusi Radial

### 2.1.2 Sistem Distribusi Mesh

Jaringan distribusi mesh adalah jaringan distribusi yang mengkombinasikan jaringan radial dan ring , sistem ini lebih baik dari sistem-sistem yang lain serta dapat diandalkan, sistem ini digunakan jika daerah yang akan dilayani memiliki tingkat kepadatan konsumen yang sangat tinggi. Karena merupakan gabungan sistem ini memerlukan biaya investasi maupun perawatan yang tinggi. Selain biaya yang tinggi tingkat koordinasi alat pengaman juga sulit. Gambar dari jaringan distribusi mesh ditunjukkan oleh **Gambar 2.2**



**Gambar 2.2** Contoh Sistem Distribusi Mesh

### 2.1.3 Jaringan Distribusi Spindel

Ciri khas dari sistem spindle adalah saluran cadangan(*express*) dimana pada kondisi normal tidak dibebani namun bertegangan dan adanya gardu hubung yang merupakan titik pertemuan dari semua penyulang primer, yang berisi rel daya dengan sejumlah saklar yang menghubungkan masing-masing penyulang utama ke rel tersebut. Disepanjang saluran juga terdapat *Load Break Switch* (LBS) yang berguna untuk keperluan manuver bila ada gangguan pada saluran kerja (*working feeder*).

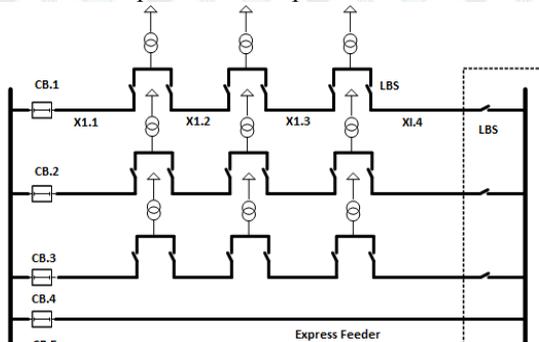
Keuntungan pada sistem spindle adalah :

1. Memiliki kontinuitas penyaluran daya terjamin
2. Kualitas tegangan baik karena rugi daya pada saluran paling kecil
3. Memudahkan dalam mencari lokasi gangguan.

Sedangkan kelemahan pada sistem ini adalah :

1. Biaya investasi yang besar
2. Perlu tenaga terampil dalam pengoperasian
3. Perlu koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit

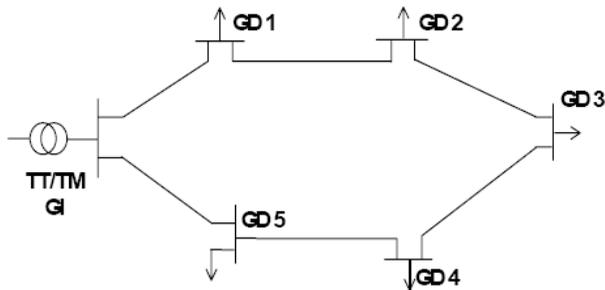
Sistem ini banyak dipakai di Jakarta dan kota-kota besar di Indonesia. Di daerah Surabaya sistem ini belum banyak digunakan, hanya ada satu operasi spindle yang ada yaitu GI Rungkut dan sampai saat ini masih operasi secara manual. Sistem ini memberikan keandalan yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel saluran *express*. Bila saluran *express* terganggu maka saklar akan bekerja, dan sistem spindle ini sementara akan bekerja sebagai sistem biasa. Gambar dari jaringan distribusi spindle terlihat pada **Gambar 2.3**



**Gambar 2.3** Jaringan Spindel

### 2.1.4 Sistem Distribusi Ring

Jaringan distribusi ring merupakan bentuk jaringan distribusi yang tertutup, susunan penyulang berbentuk cincin yang memungkinkan beban dilayani oleh dua sumber atau lebih. Dengan disuplai dari dua atau lebih sumber maka sistem ini dapat menjaga kelangsungan pelayanan jika terdapat gangguan pada sumber. tetapi jika beban yang akan dilayani bertambah kapasitas pelayanan akan menjadi jelek. Jaringan distribusi ring ditunjukkan pada **Gambar 2.4**



**Gambar 2.4** Sistem Distribusi Ring

### 2.2 Rugi – Rugi Energi dan Tegangan Jatuh

Besaran rugi – rugi daya masih belum memberikan gambaran yang tuntas tentang efisiensi rugi – rugi dalam distribusi tenaga listrik. Besaran daya tersebut harus dinyatakan dalam rentang waktu tertentu sehingga muncul besaran energi. Besaran energi ini memberikan gambaran efisien dalam aspek teknik maupun ekonomis. Aspek ekonomi menjadi pertimbangan penting dalam penyaluran tenaga listrik karena mahalnya biaya pembangkitan energi listrik.

Besaran rugi – rugi energi listrik memberikan gambaran yang jelas tentang kerugian yang dialami pihak penyalur tenaga listrik dalam kurun waktu tertentu. Dari gambaran tersebut langkah antisipatif baik secara teknis maupun ekonomis bisa dirumuskan.

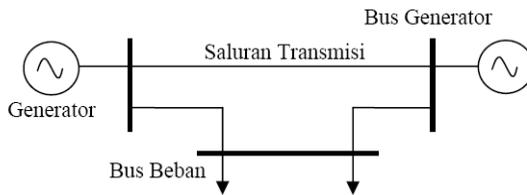
Pada jaringan distribusi tenaga listrik, rugi – rugi daya maupun, energi disebabkan karena faktor disipasi daya dari saluran distribusi maupun transformator distribusi. Suatu saluran transmisi listrik mempunyai beberapa parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga, yaitu resistansi, induktansi, dan kapasitansi.

### 2.3 Analisis Aliran Daya

Secara umum suatu sistem tenaga listrik dapat dikategorikan dalam empat bagian utama, yaitu sebagai berikut.

- Pembangkitan
- Transmisi
- Distribusi
- Beban

Pembangkitan adalah bagian dalam sistem tenaga listrik yang menghasilkan daya listrik untuk kemudian daya listrik tersebut dialirkan melalui sistem transmisi. Sistem transmisi berfungsi menyalurkan daya listrik dari pembangkitan menuju ke sistem distribusi beban. Kemudian, sistem distribusi membagi-bagikan daya listrik dari sistem transmisi menuju ke beban-beban listrik sesuai dengan permintaan daya dari konsumen. Beban adalah komponen sistem tenaga listrik yang mengkonsumsi daya listrik.



**Gambar 2.5** Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik skala besar terdiri atas ratusan titik dan cabang dengan nilai impedansi tertentu yang dinyatakan dalam per unit dari MVA *base*. Persamaan sistem dapat dirumuskan secara sistematis dalam bentuk yang bermacam-macam. Umumnya, metode titik tegangan adalah metode yang paling cocok dan sering digunakan dalam berbagai analisis aliran daya. Saat arus titik tersebut ditentukan, maka persamaan tersebut dapat diselesaikan menggunakan nilai tegangan titiknya.

#### 2.3.1. Jenis-jenis Bus

- *Slack bus*

*Slack bus* atau *swing bus* adalah bus yang digunakan sebagai referensi pada sistem dengan besar tegangan dan sudut fase tetap. Bus ini menambah kekurangan daya antara beban total

dengan daya yang dibangkitkan yang disebabkan oleh rugi-rugi pada jaringan.

- ***P-Q bus***

Bus ini diinisialisasikan sebagai bus beban. Pada bus ini, daya aktif dan daya reaktif besarnya tetap. Besar dan sudut fase tegangan nilainya tidak diketahui.

- ***P-V bus***

Bus ini diinisialisasikan sebagai bus generator. Pada bus ini, daya aktif dan besar tegangannya tetap. Sedangkan sudut fase dan besar daya reaktif dihitung, besar batasan daya reaktif juga telah ditentukan sebelumnya.

### 2.3.2. Persamaan Aliran Daya

Aliran daya suatu sistem tenaga listrik menawarkan hasil yang stabil dengan menginputkan beberapa parameter sehingga arus, tegangan dengan rugi daya akhir dapat diketahui[6]. Berdasarkan hukum *Kirchhoff* arus, hubungan antara besar tegangan bus dan arus dinyatakan dalam persamaan titik tegangan .

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (2.1)$$

Jika persamaan 2.1 dinyatakan ke dalam bentuk matriks admitansi, maka dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

dimana

$n$  = jumlah semua titik

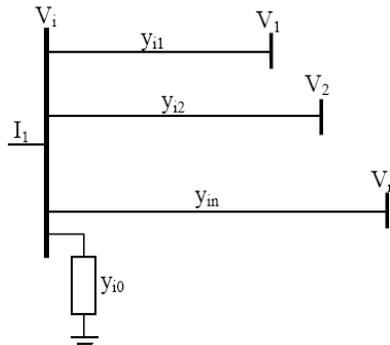
$Y_{11}$  = admitansi sendiri dari titik  $i$

$Y_{12}$  = mutual admitansi dari titik  $i$  dan  $j$

$V_1$  = tegangan fasor pada titik  $i$

$I_1$  = arus fasor yang mengalir ke titik  $i$

Penggambaran bus secara umum pada suatu jaringan sistem tenaga listrik diberikan pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Gambaran Bus Secara Umum

Penerapan hukum *Kirchhoff* arus pada sistem di **Gambar 2.6** menghasilkan persamaan yang merupakan penyederhanaan dari persamaan 2.2 sebagai berikut;

$$I_i = V_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j \quad (2.3)$$

Persamaan daya aktif dan daya reaktif pada bus  $i$  adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.4)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.5)$$

Substitusi nilai  $I_i$  pada persamaan 2.3 menghasilkan persamaan 2.6

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} V_j \quad (2.6)$$

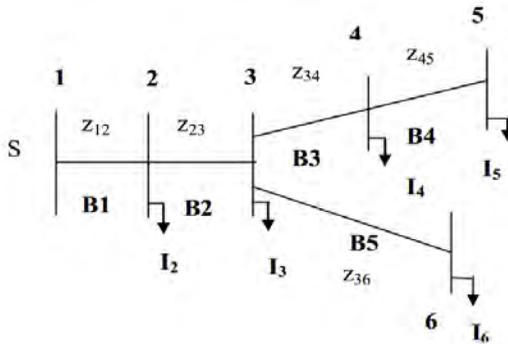
Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses ulangan (metode iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui dan menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai-nilai perkiraan pada bus-bus yang lain, daya nyata dan daya reaktif yang ditentukan atau besarnya tegangan sehingga diperoleh suatu himpunan baru untuk nilai tegangan setiap bus dan digunakan kembali untuk menghitung himpunan tegangan bus yang baru. Setiap perhitungan suatu himpunan tegangan yang baru tersebut dinamakan iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari suatu nilai minimum yang telah ditentukan.

### 2.3.3. Aliran Daya Jaringan Distribusi Radial.

Secara umum, terdapat banyak metode lama yang digunakan untuk menyelesaikan aliran daya, diantaranya Gauss Seidel, Newton Raphson dan Fast Decoupled. Metode tersebut kurang menguntungkan jika diimplementasikan pada jaringan distribusi radial. Hal ini dikarenakan metode yang telah disebutkan di atas mengacu penyelesaian aliran daya untuk jaringan distribusi mesh. Selain itu rasio R/X yang tinggi menyebabkan kondisi yang kurang menguntungkan untuk metode lama dalam menyelesaikan persamaan aliran daya [6].

Ditawarkanlah aliran daya yang mengadopsi metode *forward sweep* dan *backward sweep* untuk system jaringan distribusi radial yang seimbang menggunakan matrik *Bus Injection to Branch Current (BIBC)* dengan nilai 1 dan 0 sebagai identifikasi hubungan bus  $i$  dan bus  $j$  dan matrik *Branch Current to Bus Voltage (BCBV)* dengan nilai dari impedansi masing-masing saluran serta matrik *Distribution Load Flow (DLF)* yang merupakan hasil dari perkalian BIBC dengan BCBV. Dengan metode ini tidak diperlukan koefisien pengali matriks dan penyusunan formasi dari matrik BIBC, BCBV dan DLF. hal yang diperlukan adalah nilai diagonal matrik DLF dari nilai impedansi saluran[4].

Pada **Gambar 2.7**, diperlihatkan jaringan distribusi radial 6 bus guna mengetahui asal usul diperolehnya nilai dari matrik BIBC, BCBV dan DLF.



**Gambar 2.7** Contoh jaringan distribusi radial 6 bus

*Bus Injection to Branch Current (BIBC)* merupakan metode *backward sweep* guna mencari nilai arus pada tiap cabang. Dengan mengekspresikan hukum Kirchoff (KCL) pada **Gambar 2.7**, akan didapatkan persamaan sebagai berikut;

$$B_5 = I_6 \quad (2.7.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (2.7.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (2.7.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.7.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.7.5)$$

Dari persamaan 2.7 dapat dimodelkan dalam bentuk matrik;

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Maka dari persamaan 2.8 dapat dirumuskan dengan persamaan 2.9,

$$[B] = [BIBC][I] \quad (2.9)$$

*Branch Current to Bus Voltage (BCBV)* merupakan metode *forward sweep* guna mencari nilai tegangan pada tiap bus. Hubungan dari arus cabang dan tegangan pada bus, dapat diekspresikan sebagai berikut;

$$V_2 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.0.1)$$

$$V_3 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} \quad (3.0.2)$$

$$V_4 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} \quad (3.0.3)$$

$$V_5 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_3 \cdot Z_{34} - B_4 \cdot Z_{45} \quad (3.0.4)$$

$$V_6 = V_1 - B_1 \cdot Z_{12} - B_2 \cdot Z_{23} - B_5 \cdot Z_{36} \quad (3.0.5)$$

Dari persamaan 3.0, jika setiap kondisi direferensikan terhadap  $V_1$ , maka akan diperoleh nilai tegangan jatuh dari masing-masing bus terhadap  $V_1$ . Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan berikut;

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.1.1)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \quad (3.1.2)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \quad (3.1.3)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \quad (3.1.4)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_5 \cdot Z_{36} \quad (3.1.5)$$

Persamaan 3.1 dapat dimodelkan dalam bentuk matrik sebagai berikut;

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Penyederhanaan dari persamaan 3.2, dituliskan dengan persamaan 3.3 sebagai berikut;

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.9 dan 3.3, akan diperoleh hubungan antara tegangan jatuh dengan matrik DLF dan arus cabang, hal tersebut dapat dilihat dari persamaan 3.4 berikut

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.4.1)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.4.2)$$

Maka dari matrik DLF pada persamaan 3.4, didapatkan persyaratan sebagai berikut [4];

1. Setiap elemen dari matrik DLF adalah bilangan kompleks bukan 0 dan simetris
2. Elemen diagonal merupakan penjumlahan dari nilai impedansi saluran yang terhubung dengan bus tersebut.

## BAB III

### SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH DAN OPTIMALISASI PEMBANGKITAN

Sistem kelistrikan dapat dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Sistem distribusi berfungsi untuk menyalurkan daya dari sistem transmisi ke konsumen (beban). Ciri khas dari sebuah sistem distribusi mempunyai karakteristik sistemnya yang radial.

#### 3.1 Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Di dunia terdapat banyak level tegangan menengah untuk jaringan distribusi tenaga listrik. Belgian memiliki level tegangan menengah 10 kV[7], Amerika memiliki level tegangan menengah 34.5 kV, Slovenia memiliki level tegangan menengah 20 kV[1], dan Indonesia memiliki level tegangan menengah 20 kV.

Kota Surabaya memiliki tingkat konsumsi listrik yang cukup tinggi. PLN memiliki tiga daerah bisnis di kota Surabaya yaitu Surabaya Utara, Surabaya Barat, dan Surabaya Selatan.

Berikut adalah sistem distribusi 20 kV di Surabaya terdiri dari lima penyulang (*feeder*) yaitu :

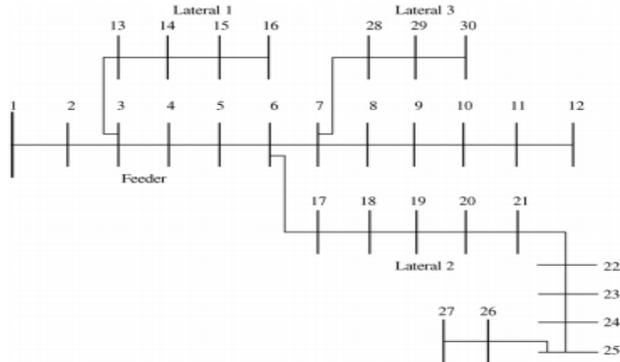
- a. GI Simpang
  - Penyulang Tunjungan
  - Penyulang Ometraco
- b. GI Kupang
  - Penyulang Basuki Rahmat
  - Penyulang Kaliasin
  - Penyulang Tegalsari

Berikut ini adalah data-data penunjang yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Sebagai uji coba metode dilakukan pada sistem jaringan tegangan menengah 11 kV [5] dan sebagai implementasi metode yang telah dilakukan dilakukan pada salah satu penyulang di Surabaya .

##### 3.1.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 30 bus

Pada jaringan distribusi 30 bus ini terdiri dari single line diagram dan nilai dari beberapa kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan beban[5]. Adapun ditentukan dari referensi [5]

$MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$  dan  $KV_{base} = 11 \text{ kV}$ . Berikut single line diagram yang ditampilkan;



**Gambar 3.1** Single line diagram jaringan 30 bus[5].

Parameter untuk impedansi tiap saluran pada **Gambar 3.1** ditampilkan pada tabel **3.1** berikut;

**Tabel 3.1** Data saluran jaringan 30 bus

Saluran		R(pu)	X (pu)	R(ohm)	X (ohm)
1	2	0,0967	0,0397	0,11701	0,04804
2	3	0,0886	0,0364	0,10721	0,04404
3	4	0,1359	0,0377	0,16444	0,04562
3	13	0,1299	0,0223	0,15718	0,02698
4	5	0,1236	0,0343	0,14956	0,0415
5	6	0,1236	0,0343	0,14956	0,0415
6	7	0,2598	0,0446	0,31436	0,05397
6	17	0,1483	0,0412	0,17944	0,04985
7	8	0,1732	0,0298	0,20957	0,03606
7	28	0,1299	0,0223	0,15718	0,02698
8	9	0,2598	0,0446	0,31436	0,05397
9	10	0,1732	0,0298	0,20957	0,03606

Saluran		R(pu)	X (pu)	R(ohm)	X (ohm)
10	11	0,1083	0,0186	0,13104	0,02251
11	12	0,0866	0,0149	0,10479	0,01803
13	14	0,1732	0,0298	0,20957	0,03606
14	15	0,0866	0,0149	0,10479	0,01803
15	16	0,0433	0,0074	0,05239	0,00895
17	18	0,1359	0,0377	0,16444	0,04562
18	19	0,1718	0,0391	0,20788	0,04731
19	20	0,1562	0,0355	0,18900	0,04296
20	21	0,1562	0,0355	0,18900	0,04296
21	22	0,2165	0,0372	0,26197	0,04501
22	23	0,2165	0,0372	0,26197	0,04501
23	24	0,2598	0,0446	0,31436	0,05397
24	25	0,1732	0,0298	0,20957	0,03606
25	26	0,1083	0,0186	0,13104	0,02251
26	27	0,0866	0,0149	0,10479	0,01803
28	29	0,1299	0,0223	0,15718	0,02698
29	30	0,1299	0,0223	0,15718	0,02698

Tabel 3.2, merupakan tabel pembebanan pada jaringan 30 bus, dimana pada Tugas Akhir ini beban 3 fasa diasumsikan seimbang. Berikut data yang ditampilkan;

**Tabel 3.2** Data pembebanan 30 bus[5].

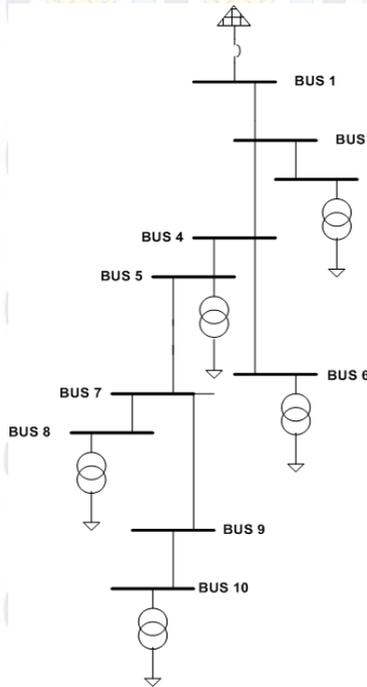
Bus	P(kW)	Q(kVAR)
2	420	260
3	0	0
4	420	260
5	420	260
6	0	0

Bus	P(kW)	Q(kVAR)
7	0	0
8	420	260
9	420	260
10	410	250
11	420	260
12	250	150
13	110	70
14	110	70
15	110	70
16	20	10
17	440	270
18	440	270
19	440	270
20	440	270
21	440	270
22	440	270
23	440	270
24	440	270
25	440	270
26	440	270
27	260	160
28	170	110
29	170	110
30	170	110

### 3.1.2 Penyulang Kaliasin

Pada penyulang Kaliasin ini terdiri dari single line diagram dan beberapa nilai kabel saluran udara, *circuit breaker*, *transformator*, dan

beban. Adapun ditentukan data dari PLN  $MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$  dan  $KV_{base} = 20 \text{ kV}$ . Berikut single line diagram yang ditampilkan;



**Gambar 3.2** Single line diagram penyulang 20 kV, Kaliasin

Berikut ini pada Tabel 3.3 adalah data dari saluran udara pada penyulang Kaliasin

**Tabel 3.3** Data saluran penyulang kaliasin

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	0,265	0,13
2	3	0,0053	0,0026
2	4	0,06625	0,0325
4	5	0,010335	0,00507
4	6	0,010547	0,005174

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
		4	7
7	8	0,06095	0,0299
7	9	0,014045	0,00689
9	10	0,053	0,026

Berikut ini pada Tabel 3.4 adalah data dari panjang saluran udara pada penyulang Kaliasin

**Tabel 3.4** Data panjang saluran udara penyulang Kaliasin

Komponen	L (km)
line 1	1
line 2	0,02
line 3	0,25
line 4	0,039
line 5	0,04
line 6	0,052
line 7	0,23
line 8	0,053
line 9	0,2

Dari tabel 3.3 dan 3.4, diringkas dalam bentuk ohm dan Pu untuk keperluan Tugas Akhir ini pada Tabel 3.5 ,dimana aliran daya yang dilakukan adalah aliran daya 3 fasa seimbang.

**Tabel 3.5** Data impedansi penyulang Kaliasin

Saluran		R(pu)	X (pu)	R(ohm)	X (ohm)
1	2	0,06625	0,0325	0,265	0,13
2	3	0,00132	0,0006	0,0053	0,0026
2	4	0,01656	0,0081	0,06625	0,0325
4	5	0,00258	0,0013	0,010335	0,00507
4	6	0,00264	0,0013	0,010547	0,005174

Saluran		R(pu)	X (pu)	R(ohm)	X (ohm)
4	7	0,00344	0,0017	0,013769	0,006755
7	8	0,01524	0,0075	0,06095	0,0299
7	9	0,00351	0,0017	0,014045	0,00689
9	10	0,01325	0,0065	0,053	0,026

Berikut ini pada Tabel 3.6 adalah data dari saluran udara pada penyulang Kaliasin yang telah dimodifikasi guna keperluan analisis pada tugas akhir kali ini

**Tabel 3.6** Data saluran penyulang kaliasin dimodifikasi

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	1,325	0,65
2	3	0,265	0,13
2	4	1,06	0,52
4	5	0,795	0,39
4	6	0,53	0,26
4	7	0,795	0,39
7	8	1,325	0,65
7	9	0,53	0,26
9	10	0,53	0,26

Berikut ini pada Tabel 3.7 adalah data dari panjang saluran udara pada penyulang Kaliasin yang telah dimodifikasi guna keperluan analisis tugas akhir kali ini

**Tabel 3.7** Data panjang saluran udara penyulang Kaliasin dimodifikasi

Komponen	L (km)
line 1	5
line 2	1
line 3	4
line 4	3
line 5	2

Komponen	L (km)
line 6	3
line 7	5
line 8	2
line 9	2

Dari tabel 3.6 dan 3.7, diringkas dalam bentuk ohm dan Pu untuk keperluan Tugas Akhir ini pada **Tabel 3.8**, dimana aliran daya yang dilakukan adalah aliran daya 3 fasa seimbang.

**Tabel 3.8** Data impedansi penyulang Kaliasin dimodifikasi

Saluran	R(pu)	X (pu)	R(ohm)	X (ohm)
1 2	0,33125	0,1625	1,325	0,65
2 3	0,06625	0,0325	0,265	0,13
2 4	0,265	0,1625	1,06	0,52
4 5	0,19875	0,0975	0,795	0,39
4 6	0,1325	0,065	0,53	0,26
4 7	0,19875	0,0975	0,795	0,39
7 8	0,33125	0,1625	1,325	0,65
7 9	0,1325	0,065	0,53	0,26
9 10	0,1325	0,065	0,53	0,26

Berikut ini pada Tabel 3.9 adalah data dari pembebanan tiap fasa pada penyulang Kaliasin.

**Tabel 3.9** Data dari pembebanan tiap fasa penyulang Kaliasin

BUS	Daya					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
2	0	0	0	0	0	0
3	19,992	29,1	24,576	4,06	7,293	7,168
4	0	0	0	0	0	0
5	11,737	22,896	22,988	2,942	7,195	7,877

BUS	Daya					
	P (kW)			Q (kVAR)		
	R-N	S-N	T-N	R-N	S-N	T-N
6	22,889	23,496	47,991	5,324	6,943	14,727
7	0	0	0	0	0	0
8	22,373	24,269	16,93	4,883	8,148	4,016
9	0	0	0	0	0	0
10	109	98	106	27,228	19,9	26,498

Dipersiapkan data yang akan digunakan dalam aliran daya seimbang dimana tegangan pada bus dikondisikan dalam keadaan seperti pada flowchart pada **Gambar 3.3**, berikut data pembebanan seimbang untuk penyulang kaliasin pada **Tabel 3.10**,

**Tabel 3.10** Data pembebanan penyulang Kaliasin

Bus	P(MW)	Q(MVAR)
2	0	0
3	3,501	0,871
4	0	0
5	6,574	1,143
6	4,393	1,229
7	0	0
8	4,624	1,219
9	0	0
10	3,267	0,767

### 3.2 Loss Sensitivity Factor

Rugi – rugi daya aktif pada jaringan sistem tenaga listrik di representasikan dengan persamaan 3.1, disebut juga dengan “*exact loss formula*”[2],

$$P_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\alpha_{ij}(P_i P_j + Q_i Q_j) + \beta_{ij}(Q_i P_j + P_i Q_j)] \quad (3.1)$$

Dimana;

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j), \quad (3.2)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j), \quad (3.3)$$

- $V_i < \delta_i$  : tegangan pada bus  $i_{th}$   
 $Z_{ij} = r_{ij} + jx_{ij}$  : impedansi [ $Z_{bus}$ ] matriks  
 $P_i$  dan  $P_j$  : daya aktif yang diinjeksikan pada bus  
 $Q_i$  dan  $Q_j$  : daya reaktif yang diinjeksikan pada bus  
 $N$  : jumlah bus

### 3.3 Tipe Pembangkit Tersebar

Pembangkit tersebar dapat dibagi menjadi 4 jenis berdasarkan karakteristik kemampuan tiap pembangkit dalam mengirim daya aktif dan daya reaktif, sehingga diklasifikasikan seperti dibawah;

- 1) **Tipe 1** : kemampuan menginjeksi daya aktif saja.
- 2) **Tipe 2** : kemampuan menginjeksi daya reaktif saja.
- 3) **Tipe 3** : kemampuan menginjeksi daya aktif dan daya reaktif.
- 4) **Tipe 4** : kemampuan menginjeksi daya aktif namun mengkonsumsi daya reaktif.

Fotovoltaik, mikro turbin, *Fuel cell* yang dibantu dengan converter dan inverter dapat digunakan sebagai contoh yang baik untuk **Tipe 1**. **Tipe 2** dapat berupa kompensator sinkron seperti turbin gas. **Tipe 3** berupa unit pembangkit tersebar yang berbasis pada mesin sinkron seperti *cogeneration*, turbin gas dan lain-lain. Untuk **Tipe 4** digunakan generator tipe induksi seperti pembangkit tenaga angin[3].

### 3.4 Penentuan Pembangkitan Optimal

$a = (\text{sign}) \tan(\cos^{-1}(PF_{DG}))$ , maka daya reaktif yang dibangkitkan dapat diekspresikan dengan;

$$Q_{DGi} = aP_{DGi}$$

- Dimana;
- Sign = +1: DG menginjeksi daya reaktif  
 Sign = -1 : DG mengkonsumsi daya reaktif  
 $PF_{DG}$  = power factor dari pembangkit tersebar

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di}$$

$$Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di}$$

Diketahui sebuah persamaan;

$$X_i = \sum_{j \neq i}^n (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) \quad (3.4)$$

$$Y_i = \sum_{j \neq i}^n (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j) \quad (3.5)$$

$$P_{DGi} = \frac{\alpha_{ii}(P_{Di} + aQ_{Di}) + \beta_{ii}(aP_{Di} - Q_{Di}) - X_i - aY_i}{a^2\alpha_{ii} + \alpha_{ii}} \quad (3.6)$$

Power faktor dari pembangkit tersebar berdasarkan pada kondisi operasi dan tipe dari pembangkit tersebar. ketika nilai power factor diberikan maka pembangkitan optimal dari pembangkit tersebar untuk tiap – tiap bus guna meminimalisasi rugi jaringan dapat ditemukan dalam beberapa cara sesuai masing – masing kondisi;

1. **Type 1**  $\rightarrow$   $PF_{DG} = 1, a = 0$ .

Maka persamaan..... diatas dapat direduksi menjadi persamaan dibawah;

$$P_{DGi} = P_{Di} + \left( -\frac{1}{\alpha_{ii}} \sum_{j \neq i}^n (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j) \right) \quad (3.7)$$

2. **Type 2**  $\rightarrow$   $PF_{DG} = 0, a = \infty$ .

Maka dari persamaan..... diatas dapat direduksi menjadi persamaan dibawah;

$$Q_{DGi} = Q_{Di} + \left( \frac{1}{\alpha_{ii}} \left( -\sum_{j \neq i}^n (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j) \right) \right) \quad (3.8)$$

3. **Type 3**  $\rightarrow$   $0 < PF_{DG} < 1$ , sign = +1 dan “a” adalah konstan.

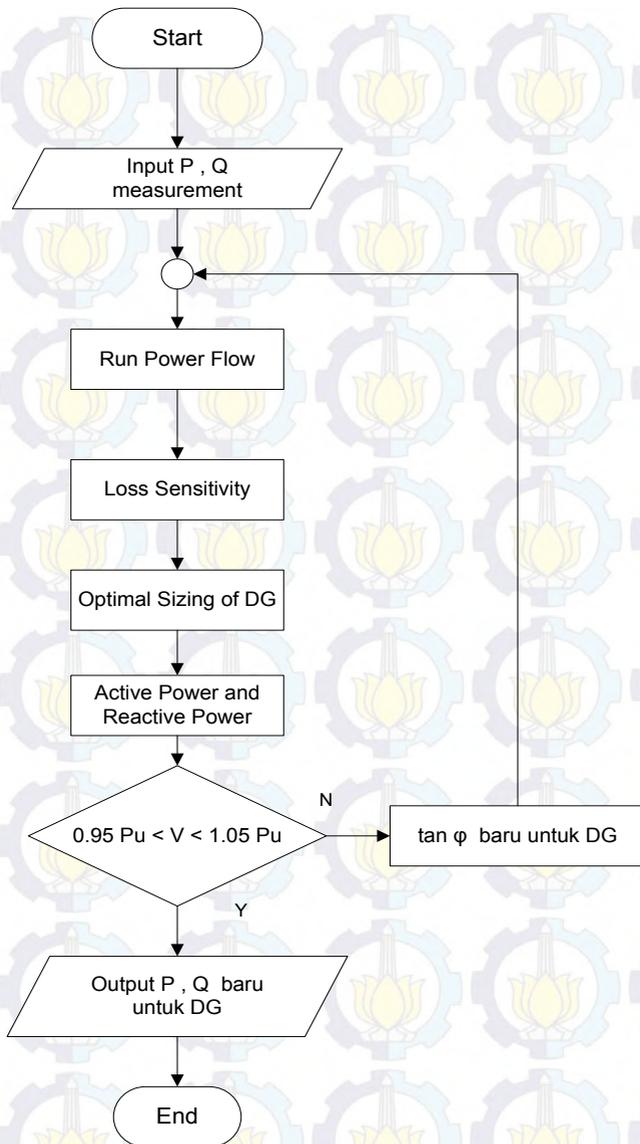
Untuk mencari  $P_{DG}$ , maka dimasukkan nilai parameter dengan persamaan 3.6

4. **Tipe 4**  $\rightarrow 0 < PF_{DG} < 1$ ,  $sign = -1$  dan “ $a$ ” adalah konstan.

Untuk mencari  $P_{DG}$ , maka dimasukkan nilai parameter dengan persamaan 3.6

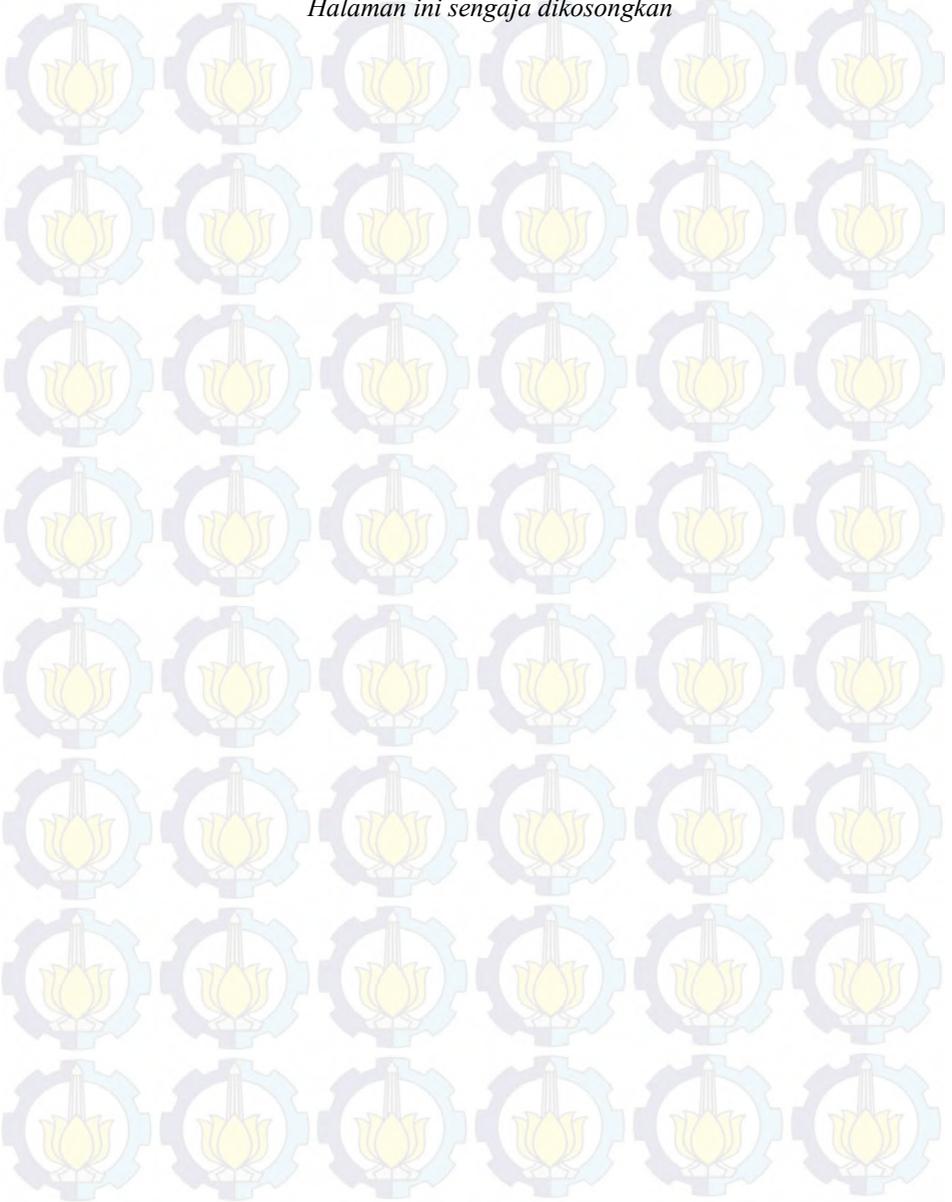
### 3.5 Perancangan software

Untuk melakukan simulasi terhadap pembangkitan optimal tiap-tiap unit pembangkit tersebar, maka diperlukan program untuk menggambarkan kondisi yang telah ditentukan. Dibuatlah program aliran daya BIBC dan BCBV berbasis MATLAB guna memudahkan dalam melakukan analisis terhadap dampak pembangkitan yang meminimalisasi rugi-rugi yang timbul pada jaringan menggunakan persamaan *loss sensitivity factor* yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana hasil simulasi nantinya akan dibandingkan dengan program yang telah diakui, yakni ETAP. Kemudian dihitung berapa error yang timbul terhadap perhitungan yang telah dilakukan pada 2 software yang berbeda dimana sasarannya merupakan jaringan distribusi radial untuk tegangan menengah. Dibuatlah diagram alur perancangan program yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3**



**Gambar 3.3** Diagram alir perancangan software

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

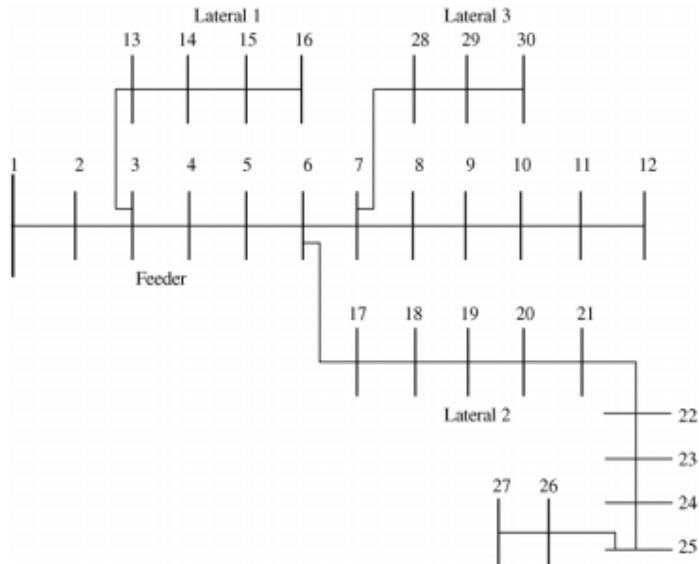


## BAB IV

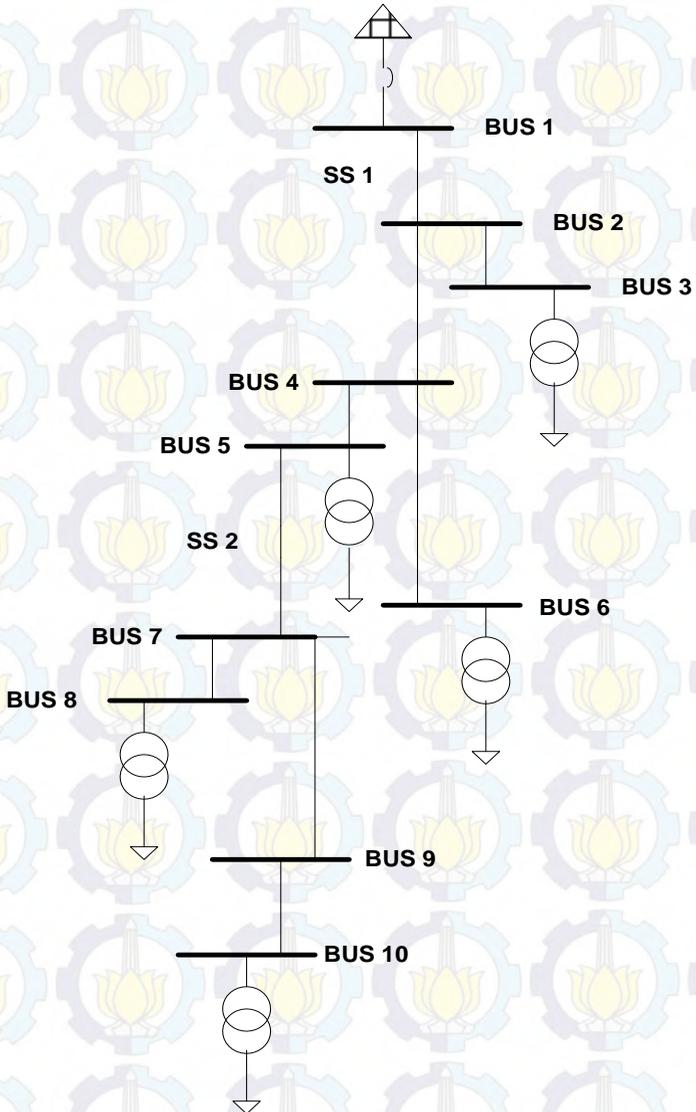
### HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PADA JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH

#### 4.1 Pemodelan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Pada Tugas Akhir ini, analisis dilakukan saat terjadi kontingensi. Kontingensi yang dianalisis adalah *overload* sehingga tegangan menjadi turun dibawah standar yang telah ditentukan (*undervoltage*) dapat dilihat di bagian diagram alir pada **Gambar 3.3** , Tugas Akhir ini menganalisis sebuah jaringan distribusi radial 11 kV 30 bus[5] dan sebuah penyulang pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV di Surabaya yaitu penyulang Kaliasin.



**Gambar 4.1** *Single line diagram jaringan 30 bus[5].*



**Gambar 4.2** *Single line diagram penyulang Kaliasin*

## 4.2 Studi Kasus dan Analisis

Untuk mensimulasikan optimasi pembangkitan guna memperoleh rugi jaringan yang paling minimal pada jaringan distribusi radial maka digunakan kasus kasus untuk mempermudah analisis, diantaranya disebutkan pada tabel 4.1;

**Tabel 4.1** *Study case* simulasi

Case	Keterangan
1	Semua jaringan pada keadaan normal
2	Penyulang kaliasin mengalami <i>overload</i>
3	Optimalisasi pembangkit <b>tipe 1</b>
4	Optimalisasi pembangkit <b>tipe 3</b> ( $Pf = 0,9$ )

### 4.2.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah pada kasus ke-1

Pada studi kasus ke-1, disimulasikan aliran daya pada kedua jaringan dengan keadaan normal sebagai acuan dalam menganalisis dan melakukan optimalisasi pembangkitan dengan acuan diagram alir pada **Gambar 3.3** dimana tegangan disyaratkan  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$ .

#### 4.2.1.1 Jaringan distribusi tegangan menengah 30 bus.

Untuk mensimulasikan aliran daya pada penyulang Kaliasin digunakan data saluran dan data pembebanan pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**, dimana  $MVA_{base} = 100 MVA$  dan  $KV_{base} = 11 kV$ . Dari hasil running aliran daya 3 fasa seimbang sesuai dengan poin 2.3.3 pada **bab 2**, diperoleh data sebagai berikut;

**Tabel 4.2** Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(kW)	Q(kVAR)
1	1	0	582,862	0	0
2	0,9885	0,0950	582,862	119,252	48,959
3	0,9784	0,1793	556,641	99,653	40,941
4	0,9646	0,3999	534,454	140,911	39,090
5	0,9526	0,5949	22,196	0,232	0,040
6	<b>0,9412</b>	0,7834	507,580	115,594	32,078

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(kW)	Q(kVAR)
7	0,9336	0,9685	480,368	103,532	28,731
8	0,9296	1,0656	162,123	24,788	4,255
9	0,9249	1,1802	318,254	54,525	15,148
10	0,9226	1,2354	127,942	10,292	1,771
11	0,9218	1,2569	34,190	0,551	0,095
12	0,9215	1,2631	100,058	9,442	1,621
13	0,9779	0,1917	72,033	3,262	0,561
14	0,9775	0,2030	44,721	0,786	0,135
15	0,9773	0,2060	16,602	0,087	0,015
16	0,9773	0,2061	15,198	0,145	0,025
17	0,9322	0,9339	8,197	0,021	0,004
18	0,9246	1,0612	1,201	0	0
19	0,9163	1,2303	289,193	41,257	11,445
20	0,9096	1,3685	259,896	42,124	9,587
21	0,9037	1,4902	230,334	30,082	6,837
22	0,8970	1,6564	200,555	22,806	5,183
23	0,8915	1,7948	170,584	22,869	3,929
24	0,8863	1,9263	140,390	15,49	2,661
25	0,8838	1,9901	110,012	11,414	1,959
26	0,8828	2,0147	79,457	3,969	0,683
27	0,8825	2,0220	48,817	0,937	0,161
28	0,9328	0,9892	18,145	0,103	0,018
29	0,9323	1,0030	22,799	0,245	0,042
30	0,9320	1,0099	11,401	0,061	0,011

Dari Tabel 4.2 didapatkan total rugi jaringan keseluruhan sebesar 874,43 kW. Juga dapat dilihat bahwa tegangan pada beberapa bus mengalami *undervoltage*, sehingga dalam kasus ini, akan dijadikan

sebagai referensi data dalam melakukan perhitungan optimasi pembangkitan pembangkit tersebar menggunakan **Poin 3.4** yang dijelaskan secara detail pada **Bab 3**.

#### 4.2.1.2 Penyulang Kaliasin

Untuk mensimulasikan aliran daya pada penyulang Kaliasin digunakan data saluran dan data pembebanan pada **Tabel 3.3**, **Tabel 3.4** dan **Tabel 3.6**, dimana  $MVA_{base} = 100 \text{ MVA}$  dan  $KV_{base} = 20 \text{ kV}$ . dari hasil running aliran daya 3 fasa tak seimbang, didapatkan hasil sebagai berikut;

**Tabel 4.3** Hasil aliran daya penyulang Kaliasin kasus 1

Bus	Fasa	Tegangan		Aliran Daya		Arus (A)	Line Loss (kW)
		Mag (kV)	Deg( °)	P (kW)	Q (kVAR)		
1	A	20,000	0,000	185,9365	43,8675	16,552	0,000
	B	20,000	-120,000	197,8451	45,2295	17,584	0,000
	C	20,000	120,000	218,5419	60,2629	19,641	0,000
2	A	19,991	-0,0048	185,9365	43,8675	16,552	0,0808
	B	19,990	-120,009	197,8451	45,2295	17,584	0,0912
	C	19,991	119,995	218,5419	60,2629	19,641	0,1138
3	A	19,991	-0,0048	19,9007	4,0966	1,760	0,000
	B	19,990	-120,009	29,1024	7,2905	2,599	0,000
	C	19,991	119,995	24,6012	7,1959	2,220	0,000
4	A	19,989	-0,006	166,0203	39,7636	14,792	0,0162
	B	19,988	-120,011	168,7269	37,9288	14,985	0,0166
	C	19,989	119,994	193,9228	53,0580	17,420	0,0225
5	A	19,989	-0,006	143,1174	34,4675	12,755	0,0018
	B	19,988	-120,012	145,2223	31,0371	12,868	0,0019
	C	19,989	119,994	145,9178	38,3670	13,073	0,0019
6	A	19,989	-0,006	22,9011	5,2952	2,036	0,000
	B	19,988	-120,011	23,5028	6,8906	2,122	0,000
	C	19,989	119,994	48,0031	14,69	4,349	0,0002
7	A	19,988	-0,006	131,4151	32,0691	11,721	0,0021
	B	19,988	-120,012	122,3177	23,8454	10,798	0,0017
	C	19,988	119,993	122,9145	30,4711	10,973	0,0018
8	A	19,988	-0,006	22,4011	4,8950	1,986	0,0002
	B	19,987	-120,012	24,3017	3,9895	2,134	0,0003

Bus	Fasa	Tegangan		Aliran Daya		Arus (A)	Line Loss (kW)
		Mag (kV)	Deg(°)	P (kW)	Q (kVAR)		
	C	19,988	119,993	16,9009	3,9962	1,504	0,0001
9	A	19,988	-0,007	109,0125	27,1734	9,735	0,0014
	B	19,987	-120,012	98,0145	19,8549	8,666	0,0011
	C	19,988	119,993	106,0122	26,4742	9,468	0,0013
10	A	19,987	-0,008	109,0078	27,1687	9,735	0,0071
	B	19,986	-120,014	98,0101	19,8501	8,666	0,0056
	C	19,987	119,992	106,0076	26,4696	9,468	0,0067

Dari **Tabel 4.3** dapat diketahui bahwa tegangan pada penyulang kaliasin di setiap bus masih berada dalam standart yang telah ditentukan ( $> 0,95 Pu$  atau  $> 19 kV$ ).

#### 4.2.2 Penyulang Kaliasin pada kasus ke-2

Pada studi kasus ke-2, disimulasikan terjadinya kontingensi yaitu *overload* pada penyulang kaliasin guna diperoleh kondisi tegangan pada bus sesuai dengan syarat tegangan bus berada diluar batas  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$ , untuk mencapai kondisi *undervoltage* terdapat 2 cara yang dapat dilakukan yaitu;

- 1) Memperbesar pembebanan pada penyulang Kaliasin
- 2) Memperbesar nilai resistansi dari impedansi saluran pada penyulang Kaliasin.

Dalam tugas akhir ini dilakukan cara yang pertama dan kedua, dimana untuk mengkondisikan agar penyulang Kaliasin mengalami *undervoltage* akibat dari *overload* pada beberapa bus yang diinginkan dapat dilakukan dengan cara merubah besarnya tahanan pada impedansi saluran penyulang sesuai **Tabel 3.8** dan menambah beban pada penyulang sehingga terjadi *overload* pada bus yang diinginkan. Pada kasus ini aliran daya dilakukan aliran daya 3 fasa seimbang, sehingga data saluran dan data pembebanan penyulang Kaliasin dikondisikan sesuai **Tabel 3.9** dan **Tabel 3.10**. Setelah itu dilakukan running aliran daya 3 fasa seimbang dengan menggunakan program Matlab dengan metode yang telah dijelaskan pada **point 2.3.3** pada **Bab 2**, sehingga didapatkan hasil yang dapat ditampilkan pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4 Hasil aliran daya 3 fasa seimbang Kaliasin kasus 2**

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg(°)		P(kW)	Q(kVAR)
1	1,0000	0,0000	811,599	0,000	0,000
2	0,8980	-1,2128	811,599	2618,308	1284,453
3	0,8951	-1,2528	116,323	10,757	5,277
4	0,8281	-2,2109	695,279	1537,254	754,125
5	0,8104	-2,5636	237,440	134,461	65,962
6	0,8200	-2,3143	160,459	40,938	20,083
7	0,8056	-2,5322	297,959	211,740	103,872
8	0,7833	-2,8471	176,012	123,146	60,411
9	0,7994	-2,6305	121,978	23,657	11,605
10	0,7933	-2,7303	121,978	23,657	11,605

Dari **Tabel 4.4** didapatkan total rugi jaringan keseluruhan sebesar 472,92 kW. Juga dapat dilihat bahwa tegangan pada beberapa bus mengalami *undervoltage*, sehingga dalam kondisi ini, akan dijadikan sebagai referensi data dalam melakukan perhitungan optimasi pembangkitan pembangkit tersebar menggunakan **Poin 3.4** yang dijelaskan secara detail pada **Bab 3**.

#### 4.2.3 Optimalisasi Pembangkit Tipe 1 pada kasus ke-3

Studi kasus ke-3 merupakan kelanjutan dari studi kasus ke 1 dan studi kasus ke 2, dimana dapat dilihat dari **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.4** dijelaskan bahwa kondisi tegangan pada masing – masing bus jaringan distribusi radial telah mengalami *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95 \text{ Pu}$ ), untuk menangani kasus tersebut maka dilakukan optimalisasi pembangkitan guna meminimalisasi rugi jaringan yang timbul seminimal mungkin dengan mengetahui letak yang paling optimal dari pembangkitan pembangkit tersebar.

Telah dijelaskan pada **Bab 3**, khususnya **Poin 3.3** dan **Poin 3.4** mengenai tipe-tipe pembangkitan serta rumusan dalam melakukan optimalisasi pembangkitan tersebar. Studi kasus kali ini melakukan optimalisasi pembangkitan menggunakan tipe 1 untuk masing-masing

jaringan distribusi radial. Adapun pengecekan lokasi pembangkitan optimal dengan melakukan injeksi daya aktif yang dibangkitkan pada setiap bus secara bergantian hingga ditemukan total rugi jaringan yang paling minimal, penjelasan tersebut telah dijelaskan dalam referensi [3].

#### 4.2.3.1 Jaringan distribusi tegangan menengah 30 bus.

Pada studi kasus 1, dilakukan perhitungan aliran daya terhadap system tersebut. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. dikarenakan pada studi kasus 1 terjadi *overload* yang menyebabkan terjadinya *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95$  Pu) sehingga parameter tegangan dan sudut pada **Tabel 4.2** digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pencarian nilai optimasi dari pembangkitan tersebar.

Dengan memasukkan nilai tegangan dalam persamaan **3.2** dan **3.3**, maka diperoleh konstanta alpha ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ), setelah ditemukan nilai dari konstanta tersebut, maka perhitungan dilakukan menggunakan persamaan **3.7** yang merupakan penyederhanaan dari persamaan **3.6**. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa pembangkitan tipe 1 dengan  $PF_{DG} = 1$ , diperoleh nilai rasio  $a=0$ .

Adapun tabel berikut menunjukkan hasil optimasi untuk pembangkitan pada tiap- tiap bus. Berikut data tersebut ditampilkan;

**Tabel 4.5 Hasil Optimasi 30 bus dengan PF unity**

Bus	Optimal $P_{DG}$ (MW)
1	9,5771
2	9,4578
3	9,2236
4	8,8703
5	8,5532
6	8,2402
7	6,5597
8	5,8022
9	4,9518
10	4,5011
11	4,2438
12	4,0421

Bus	Optimal $P_{DG}$ (MW)
13	6,4367
14	4,6071
15	4,0309
16	3,7888
17	7,5492
18	7,0339
19	6,4887
20	6,0639
21	5,6837
22	5,2201
23	4,8161
24	4,3911
25	4,1323
26	3,9725
27	3,8421
28	5,8102
29	5,2080
30	4,7092

Hasil optimalisasi telah didapatkan pada **Tabel 4.5**, dimana  $P_{DG}$  setiap pembangkit akan dibangkitkan pada tiap bus, sehingga nantinya dicari total dari rugi jaringan yang paling minimal. Sedangkan untuk mengetahui nilai dari total rugi jaringan, maka dilakukan running aliran daya sebanyak *jumlah bus x banyaknya data yang diuji cobakan*. Karena itu hasil dari pengujian tersebut diringkas dalam **Tabel 4.6**,

**Tabel 4.6** Total rugi jaringan setelah optimalisasi dengan  $PF=1$

Bus	Total Losses (kW)								
	Bus Generation								
	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)	9 (MW)	10 (MW)	
2					778.90	773.30	769.68	768.02	

Bus	Total Losses (kW)								
	Bus Generation								
	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)	9 (MW)	10 (MW)	
3					698,76	689,57	683,61	682,67	
4				606,31	587,02	574,58	568,86	569,72	
5				519,95	497,17	483,96	480,07	485,23	
6				443,04	418,72	406,65	406,40	417,58	
7			480,10	459,76	456,59	469,77			
8			490,28	482,32	494,13				
9		530,27	517,09	528,74					
10		543,91	542,07	567,26					
11	556,08	561,83	595,84						
12	588,41	568,74	580,97						
13			757,74	754,15	756,86				
14	797,89	792,68	797,14						
15	805,18	805,68	817,31						
16	809,09	812,49							
17					384,08	380,53	391,40		
18				375,48	363,47	368,92	390,96		
19			376,78	353,09	350,88	368,86			
20			359,35	343,12	350,93				
21			350,50	342,88	361,58				
22		376,04	349,71	355,23					
23	428,59	374,84	359,73	379,35					
24		384,07	383,75	421,07					
25	431,10	396,89	407,14						
26	437,18	408,89	426,19						
27	444,64	421,58	444,88						
28			507,89	500,00	511,01				
29		554,73	537,4	541,86					
30	607,05	575,20	568,50	585,23					

**Tabel 4.6** menunjukkan banyaknya data yang diujicobakan pada sistem tersebut dengan *range* tertentu sesuai **Tabel 4.5**, sehingga dapat kita ketahui, data yang berada **Tabel 4.5** masih dalam *range* optimasi untuk mendapat total rugi jaringan yang paling minimal.

**Tabel 4.6** menunjukkan pula total rugi jaringan yang terkecil dilakukan dengan melakukan injeksi daya aktif ( $P_{DG}$ ) ke sistem. Dengan demikian maka injeksi daya aktif sebesar  $6\text{ kW}$  yang dilakukan pada bus 21 memiliki total rugi jaringan yang paling minimal sebesar  $342,88\text{ kW}$ . Dimana total rugi jaringan pada studi kasus 1 sebesar  $874,43\text{ kW}$ . Perbedaan yang signifikan terlihat jelas dimana selisih yang dihasilkan sebesar  $531,55\text{ kW}$ .

Sedangkan untuk syarat tegangan bus dijaga pada batas  $0,95\text{ Pu} < V_{bus} < 1,05\text{ Pu}$ , maka dilakukan running aliran daya sehingga dapat dilihat besarnya nilai tegangan tiap bus;

**Tabel 4.7** Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus setelah diinjeksi daya aktif sebesar  $5.68\text{ MW}$  pada bus 21

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg(°)		P(kW)	Q(kVAR)
1	1	0	336,663	0	0
2	0,9946	0,2274	336,663	39,785	16,334
3	0,9901	0,4333	313,628	31,635	12,997
4	0,9847	0,7730	294,604	42,816	11,878
5	0,9804	1,0744	21,934	0,227	0,039
6	0,9768	1,3676	272,533	33,324	9,248
7	0,9694	1,5393	251,279	28,329	7,862
8	0,9655	1,6293	156,009	22,953	3,940
9	0,9610	1,7355	162,404	14,198	3,945
10	0,9588	1,7865	123,100	9,527	1,639
11	0,9580	1,8064	32,917	0,511	0,088
12	0,9577	1,8122	96,260	8,738	1,500
13	0,9896	0,4454	69,294	3,019	0,519
14	0,9891	0,4564	43,020	0,728	0,125
15	0,9890	0,4594	15,970	0,080	0,014
16	0,9890	0,4595	15,019	0,142	0,024
17	0,9768	1,6467	8,101	0,021	0,004

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(kW)	Q(kVAR)
18	0,9775	1,8901	1,187	0	0
19	0,9796	2,1724	158,032	12,320	3,418
20	0,9823	2,4119	158,578	15,683	3,569
21	0,9858	2,6341	163,989	15,248	3,465
22	0,9797	2,7735	173,752	17,118	3,890
23	0,9746	2,8892	155,808	19,078	3,278
24	0,9698	2,9990	128,182	12,913	2,219
25	0,9675	3,0521	100,415	9,509	1,632
26	0,9666	3,0726	72,514	3,306	0,569
27	0,9664	3,0787	44,548	0,780	0,134
28	0,9686	1,5585	16,557	0,086	0,015
29	0,9681	1,5713	21,950	0,227	0,039
30	0,9679	1,5777	10,976	0,057	0,010

Dari **Tabel 4.7** , diketahui besar nilai tegangan pada tiap bus telah berada sesuai syarat  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$  dengan dilakukan injeksi daya aktif dari optimalisasi pembangkitan sebesar 5,68 MW, maka total rugi daya yang dihasilkan menjadi 342,36 kW. Berikut adalah hasil perbandingan tegangan dari studi kasus 1 dan studi kasus 3

**Tabel 4.8** Perbandingan tegangan pada studi kasus 1 dengan studi kasus 3 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5.68 MW pada bus 21

Bus	Tegangan (kasus 1)		Tegangan (kasus 3)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1	0	1	0
2	0,9885	0,0950	0,9946	0,2274
3	0,9784	0,1793	0,9901	0,4333
4	0,9646	0,3999	0,9847	0,7730
5	0,9526	0,5949	0,9804	1,0744

Bus	Tegangan (kasus 1)		Tegangan (kasus 3)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
6	0,9412	0,7834	0,9768	1,3676
7	0,9336	0,9685	0,9694	1,5393
8	0,9296	1,0656	0,9655	1,6293
9	0,9249	1,1802	0,9610	1,7355
10	0,9226	1,2354	0,9588	1,7865
11	0,9218	1,2569	0,9580	1,8064
12	0,9215	1,2631	0,9577	1,8122
13	0,9779	0,1917	0,9896	0,4454
14	0,9775	0,2030	0,9891	0,4564
15	0,9773	0,2060	0,9890	0,4594
16	0,9773	0,2061	0,9890	0,4595
17	0,9322	0,9339	0,9768	1,6467
18	0,9246	1,0612	0,9775	1,8901
19	0,9163	1,2303	0,9796	2,1724
20	0,9096	1,3685	0,9823	2,4119
21	0,9037	1,4902	0,9858	2,6341
22	0,8970	1,6564	0,9797	2,7735
23	0,8915	1,7948	0,9746	2,8892
24	0,8863	1,9263	0,9698	2,9990
25	0,8838	1,9901	0,9675	3,0521
26	0,8828	2,0147	0,9666	3,0726
27	0,8825	2,0220	0,9664	3,0787
28	0,9328	0,9892	0,9686	1,5585
29	0,9323	1,0030	0,9681	1,5713
30	0,9320	1,0099	0,9679	1,5777

Dari **Tabel 4.8** , diketahui bahwa nilai tegangan meningkat sedangkan **Tabel 4.7**, menunjukkan bahwa total rugi jaringan menurun

dari 874,43 kW menjadi 342,36 kW. Dengan demikian lokasi pembangkitan dilakukan pada bus 21, guna memperoleh rugi jaringan yang minimal.

#### 4.2.3.2 Penyulang Kaliasin

Pada studi kasus 1, dilakukan perhitungan aliran daya terhadap sistem tersebut. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 4.3**, dikarenakan pada studi kasus 1 tidak terjadi *overload* yang menyebabkan terjadinya *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95$  Pu) sehingga dilakukan studi kasus 2, guna memperoleh kondisi yang diinginkan tersebut. sehingga parameter tegangan dan sudut pada **Tabel 4.4** digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pencarian nilai optimasi dari pembangkitan tersebar.

Dengan memasukkan nilai tegangan dalam persamaan **3.2** dan **3.3**, maka diperoleh konstanta alpha ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ), setelah ditemukan nilai dari konstanta tersebut, maka perhitungan dilakukan menggunakan persamaan **3.7** yang merupakan penyederhanaan dari persamaan **3.6**. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa pembangkitan tipe 1 dengan  $PF_{DG} = 1$ , diperoleh nilai rasio  $a=0$ .

Adapun tabel berikut menunjukkan hasil optimasi untuk pembangkitan pada tiap- tiap bus. Berikut data tersebut ditampilkan;

**Tabel 4.9 Hasil Optimasi penyulang Kaliasin dengan PF unity**

Bus	Optimal $P_{DG}$ (MW)
1	27,1085
2	24,4816
3	21,1268
4	21,2854
5	17,3968
6	18,1508
7	17,6623
8	13,5774
9	15,5517
10	13,9524

Hasil optimalisasi telah didapatkan pada **Tabel 4.9**, dimana  $P_{DG}$  setiap pembangkit akan dibangkitkan pada masing – masing bus, sehingga nantinya dicari total dari rugi jaringan yang paling minimal. Sedangkan untuk mengetahui nilai dari total rugi jaringan, maka dilakukan running aliran daya sebanyak *jumlah bus x banyaknya data yang diuji cobakan*. Karena itu hasil dari pengujian tersebut diringkas dalam **Tabel 4.10**,

**Tabel 4.10** Total rugi jaringan penyulang kaliasin setelah optimalisasi dengan  $PF=1$

Bus	Total Losses (kW)									
	Bus Generation									
	12 (MW)	14 (MW)	16 (MW)	18 (MW)	20 (MW)	22 (MW)	24 (MW)	26 (MW)	28 (MW)	
2							1778,27	1762,62	1774,82	
3					2087,73	2056,21	2058,00			
4					589,16	570,18	599,96			
5			889,31	846,99	868,89					
6				907,35	905,19	959,24				
7			766,43	718,03	734,66					
8	1217,5	1136,73	1146,84							
9		1052,33	990,33	1003,52						
10		1211,76	1204,11	1274,45						

**Tabel 4.10** menunjukkan banyaknya data yang diuji cobakan pada sistem tersebut dengan *range* tertentu sesuai **Tabel 4.9**, sehingga dapat kita ketahui, data yang berada **Tabel 4.9** masih dalam *range* optimasi untuk mendapat total rugi jaringan yang paling minimal.

**Tabel 4.10** menunjukkan pula total rugi jaringan yang terkecil dilakukan dengan melakukan injeksi daya aktif ( $P_{DG}$ ) ke sistem. Dengan demikian maka injeksi daya aktif sebesar 22 MW yang dilakukan pada bus 4 memiliki total rugi jaringan yang paling minimal sebesar 570,188 kW. Dimana total rugi jaringan pada studi kasus 2 sebesar 4723,9 kW. Perbedaan yang signifikan terlihat jelas dimana selisih yang dihasilkan sebesar 4153,712 kW.

Sedangkan untuk syarat tegangan bus dijaga pada batas  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$ , maka dilakukan running aliran daya sehingga dapat dilihat besarnya nilai tegangan tiap bus sebagai berikut;

**Tabel 4.11** Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial penyulang kaliasin setelah diinjeksi daya aktif sebesar 21,3 MW pada bus 4

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(KW)	Q(KVAR)
1	1,0000	0,0000	165,852	0,000	0,000
2	0,9856	0,9068	165,852	109,339	53,638
3	0,9830	0,8736	105,934	8,921	4,377
4	0,9847	1,7754	146,229	67,998	33,357
5	0,9702	1,5275	198,462	93,939	46,083
6	0,9780	1,7025	134,588	28,801	14,129
7	0,9663	1,5500	246,802	145,273	71,266
8	0,9482	1,3328	145,552	84,212	41,312
9	0,9613	1,4818	101,273	16,308	8,000
10	0,9563	1,4128	101,273	16,308	8,000

Dari **Tabel 4.11** , diketahui besar nilai tegangan pada tiap bus telah berada sesuai syarat  $0.95 Pu < V_{bus} < 1.05 Pu$  dengan dilakukan injeksi daya aktif dari optimalisasi pembangkitan sebesar 21,3 MW, maka total rugi daya yang dihasilkan menjadi 571,099 kW. Berikut adalah hasil perbandingan tegangan dari studi kasus 2 dan studi kasus 3;

**Tabel 4.12** Perbandingan tegangan pada studi kasus 2 dengan studi kasus 3 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 21,3 MW pada bus 4

Bus	Tegangan (kasus 2)		Tegangan (kasus 3)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
2	0,8980	-1,2128	0,9856	0,9068
3	0,8951	-1,2528	0,9830	0,8736
4	0,8281	-2,2109	0,9847	1,7754
5	0,8104	-2,5636	0,9702	1,5275
6	0,8200	-2,3143	0,9780	1,7025

Bus	Tegangan (kasus 2)		Tegangan (kasus 3)	
	Mag(Pu)	Deg(°)	Mag(Pu)	Deg(°)
7	0,8056	-2,5322	0,9663	1,5500
8	0,7833	-2,8471	0,9482	1,3328
9	0,7994	-2,6305	0,9613	1,4818
10	0,7933	-2,7303	0,9563	1,4128

Dari **Tabel 4.12**, diketahui bahwa nilai tegangan meningkat, sedangkan **Tabel 4.11**, menunjukkan total rugi jaringan menurun dari 4,72 MW menjadi 571,099 kW, dengan demikian lokasi pembangkitan dilakukan pada bus 4, guna memperoleh rugi jaringan yang minimal.

#### 4.2.4 Optimalisasi Pembangkit Tipe 3 pada kasus ke-4

Studi kasus ke 4 merupakan kelanjutan dari studi kasus ke 1 dan studi kasus ke 2 serta studi kasus ke 3, dimana dapat dilihat dari **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.4** dijelaskan bahwa kondisi tegangan pada masing – masing bus jaringan distribusi radial telah mengalami *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95 \text{ Pu}$ ), untuk menangani kasus tersebut maka dilakukan optimalisasi pembangkitan guna meminimalisasi rugi jaringan yang timbul seminimal mungkin dengan mengetahui letak yang paling optimal dari pembangkitan pembangkit tersebar.

Telah dijelaskan pada **Bab 3**, khususnya **Poin 3.3** dan **Poin 3.4** mengenai tipe-tipe pembangkitan serta rumusan dalam melakukan optimalisasi pembangkitan tersebar. Studi kasus kali ini melakukan optimalisasi pembangkitan menggunakan tipe 3 untuk masing-masing jaringan distribusi radial. Nantinya hasil dari studi kasus 4 akan dibandingkan dengan hasil dari studi kasus 3 baik dari sisi total rugi jaringan dan dari sisi tegangan pada tiap-tiap bus.

##### 4.2.4.1 Jaringan distribusi tegangan menengah 30 bus.

Pada studi kasus 1, dilakukan perhitungan aliran daya terhadap system tersebut. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. dikarenakan pada studi kasus 1 terjadi *overload* yang menyebabkan terjadinya *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95 \text{ Pu}$ ) sehingga parameter tegangan dan sudut pada **Tabel 4.2** digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pencarian nilai optimasi dari pembangkitan tersebar.

Dengan memasukkan nilai tegangan dalam persamaan 3.2 dan 3.3, maka diperoleh konstanta alpha ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ), setelah ditemukan nilai dari konstanta tersebut, maka perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 3.6. sedangkan untuk penentuan nilai rasio  $a$ , dapat dibaca kembali pada poin 3.4 di Bab 3.

Adapun tabel berikut menunjukkan hasil optimasi untuk pembangkitan pada tiap- tiap bus. Berikut data tersebut ditampilkan;

**Tabel 4.13** Hasil Optimasi 30 bus dengan  $PF = 0,9$

Bus	$P_{DG}$ (MW)	$Q_{DG}$ (MVAR)
1	9,9652	4,8264
2	9,8492	4,7702
3	9,6110	4,6548
4	9,2584	4,4840
5	8,9408	4,3302
6	8,6261	4,1778
7	6,8807	3,3325
8	6,0914	2,9502
9	5,2038	2,5203
10	4,7322	2,2919
11	4,4625	2,1613
12	4,2505	2,0586
13	6,7094	3,2495
14	4,8037	2,3266
15	4,2032	2,0357
16	3,9507	1,9134
17	7,9103	3,8311
18	7,3764	3,5725
19	6,8126	3,2995
20	6,3727	3,0865
21	5,9782	2,8954

Bus	$P_{DG}$ (MW)	$Q_{DG}$ (MVAR)
22	5,4972	2,6624
23	5,0770	2,4589
24	4,6334	2,2441
25	4,3624	2,1128
26	4,1945	2,0315
27	4,0571	1,9649
28	6,0965	2,9527
29	5,4659	2,6472
30	4,9429	2,3940

Hasil optimalisasi telah didapatkan pada **Tabel 4.13**, dimana  $P_{DG}$  dan  $Q_{DG}$  setiap pembangkit akan dibangkitkan pada masing – masing bus, sehingga nantinya dicari total dari rugi jaringan yang paling minimal. Sedangkan untuk mengetahui nilai dari total rugi jaringan, maka dilakukan running aliran daya sebanyak *jumlah bus x banyaknya data yang diuji cobakan*. Karena itu hasil dari pengujian tersebut diringkaskan dalam **Tabel 4.14**;

**Tabel 4.14** Total rugi jaringan setelah optimalisasi dengan  $PF=0,9$

Bus	Total Losses (kW)									
	Bus Generation									
	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)	9 (MW)	10 (MW)	11 (MW)
2									735,0	734
3								626,6	623,3	624
4								477,3	476,3	483
5								369,2	361,83	379
6							268,84	265,3	275,70	
7					335,16	326,90	338,53			
8				374,61	359,88	369,20				
9			426,35	404,45	412,76					
10			441,826	433,29	457,53					
11		493,25	456,10	456,53						
12		501,91	471,22	479,32						

Bus	Total Losses (kW)									
	Bus Generation									
	2 (MW)	3 (MW)	4 (MW)	5 (MW)	6 (MW)	7 (MW)	8 (MW)	9 (MW)	10 (MW)	11 (MW)
13				722.24	716.21	717.91				
14		774.70	766.51	770.17						
15		783.60	782.36	794.73						
16	801.16	788.39	790.69							
17						240.16	231.94	241.23		
18					230.3	211.28	213.39			
19					199.30	191.46	208.01			
20				209.3	183.93	187.59				
21				196.12	180.56	196.74				
22				192.01	191.61	226.13				
23			227.29	201.28	217.15					
24			236.14	227.22	263.50					
25		300.8	250.33	253.64						
26		307.7	264.15	275.63						
27		316.53	279.06	297.49						
28				397.44	382.97	391.50				
29			459.04	432.67	432.87					
30			483.6	469.9	484.71					

**Tabel 4.14** menunjukkan banyaknya data yang diujicobakan pada sistem tersebut dengan *range* tertentu sesuai **Tabel 4.13**, sehingga dapat kita ketahui, data yang berada **Tabel 4.13** masih dalam *range* optimasi untuk mendapat total rugi jaringan yang paling minimal.

**Tabel 4.14** menunjukkan pula total rugi jaringan yang terkecil dilakukan dengan melakukan injeksi daya aktif ( $P_{DG}$ ) ke sistem. Dengan demikian maka injeksi daya aktif sebesar 6 MW dan daya reaktif yang terbangkit secara otomatis menggunakan PF control sebesar  $Q_{DG}$  sesuai **point 3.4** pada **Bab 3**, dilakukan pada bus 21 memiliki total rugi jaringan yang paling minimal sebesar 180,56 kW. Dimana total rugi jaringan pada studi kasus 1 sebesar 874,43 kW. Perbedaan yang signifikan terlihat jelas dimana selisih yang dihasilkan sebesar 693,87 kW.

Sedangkan untuk syarat tegangan bus dijaga pada batas  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$ , maka dilakukan aliran daya sehingga dapat dilihat besarnya nilai tegangan tiap bus;

**Tabel 4.15** Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial 30 bus setelah diinjeksi daya aktif sebesar 5,97 MW pada bus 21

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(KW)	Q(KVAR)
1	1	0	202,09	0	0
2	0,9962	0,0737	202,09	14,336	5,886
3	0,9932	0,1372	176,449	10,013	4,114
4	0,9895	0,2516	154,98	11,849	3,287
5	0,9868	0,3459	21,867	0,225	0,039
6	0,9847	0,4302	129,486	7,523	2,088
7	0,9774	0,5992	104,289	4,880	1,354
8	0,9736	0,6878	154,759	22,587	3,878
9	0,9691	0,7923	65,222	2,290	0,636
10	0,9670	0,8425	122,111	9,375	1,613
11	0,9661	0,8621	32,657	0,503	0,086
12	0,9659	0,8678	95,484	8,598	1,476
13	0,9926	0,1493	68,734	2,970	0,511
14	0,9922	0,1603	42,672	0,716	0,123
15	0,9921	0,1632	15,841	0,079	0,014
16	0,9920	0,1633	14,973	0,141	0,024
17	0,9865	0,4587	8,076	0,021	0,004
18	0,9889	0,4729	1,183	0	0
19	0,9928	0,4653	89,91	3,988	1,106
20	0,9971	0,4431	115,793	8,362	1,903
21	1,0022	0,4058	142,14	11,456	2,604
22	0,9962	0,5409	168,669	16,131	3,666
23	0,9930	0,6530	153,345	18,480	3,175
24	0,9867	0,7593	126,149	12,506	2,149

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(KW)	Q(KVAR)
25	0,9844	0,8108	98,818	9,209	1,581
26	0,9836	0,8307	71,359	3,201	0,551
27	0,9833	0,8366	43,838	0,756	0,130
28	0,9767	0,6181	16,293	0,083	0,014
29	0,9762	0,6307	21,776	0,224	0,038
30	0,9759	0,6370	10,889	0,056	0,010

Dari **Tabel 4.15** , diketahui besar nilai tegangan pada tiap bus telah berada sesuai syarat  $0.95 Pu < V_{bus} < 1.05 Pu$  dengan dilakukan injeksi daya aktif dari optimalisasi pembangkitan sebesar  $5,97 MW$ , maka total rugi daya yang dihasilkan menjadi  $180,557 kW$ . Berikut adalah hasil perbandingan tegangan dari studi kasus 1 dan studi kasus 3

**Tabel 4.16** Perbandingan tegangan pada studi kasus 1 dengan studi kasus 4 setelah diinjeksi daya aktif sebesar  $5,97 MW$  pada bus 21

Bus	Tegangan (kasus 1)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1	0	1	0
2	0,9885	0,0950	0,9962	0,0737
3	0,9784	0,1793	0,9932	0,1372
4	0,9646	0,3999	0,9895	0,2516
5	0,9526	0,5949	0,9868	0,3459
6	0,9412	0,7834	0,9847	0,4302
7	0,9336	0,9685	0,9774	0,5992
8	0,9296	1,0656	0,9736	0,6878
9	0,9249	1,1802	0,9691	0,7923
10	0,9226	1,2354	0,9670	0,8425
11	0,9218	1,2569	0,9661	0,8621
12	0,9215	1,2631	0,9659	0,8678

13	0,9779	0,1917	0,9926	0,1493
14	0,9775	0,2030	0,9922	0,1603
15	0,9773	0,2060	0,9921	0,1632
16	0,9773	0,2061	0,9920	0,1633
17	0,9322	0,9339	0,9865	0,4587
18	0,9246	1,0612	0,9889	0,4729
19	0,9163	1,2303	0,9928	0,4653
20	0,9096	1,3685	0,9971	0,4431
21	0,9037	1,4902	1,0022	0,4058
22	0,8970	1,6564	0,9962	0,5409
23	0,8915	1,7948	0,9930	0,6530
24	0,8863	1,9263	0,9867	0,7593
25	0,8838	1,9901	0,9844	0,8108
26	0,8828	2,0147	0,9836	0,8307
27	0,8825	2,0220	0,9833	0,8366
28	0,9328	0,9892	0,9767	0,6181
29	0,9323	1,0030	0,9762	0,6307
30	0,9320	1,0099	0,9759	0,6370

Dari **Tabel 4.16** , diketahui bahwa nilai tegangan meningkat sedangkan **Tabel 4.15**, menunjukkan bahwa total rugi jaringan menurun dari *874,43 kW* menjadi *180,557 kW*. Dengan demikian lokasi pembangkitan dilakukan pada bus 21, guna memperoleh rugi jaringan yang minimal. Adapun diproyeksikan dalam **Tabel 4.17** perbandingan antara kasus 3 dan kasus 4.

**Tabel 4.17** Perbandingan tegangan studi kasus 3 dengan studi kasus 4

Bus	Tegangan (kasus 3)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1	0	1	0
2	0,9946	0,2274	0,9962	0,0737
3	0,9901	0,4333	0,9932	0,1372
4	0,9847	0,7730	0,9895	0,2516
5	0,9804	1,0744	0,9868	0,3459
6	0,9768	1,3676	0,9847	0,4302
7	0,9694	1,5393	0,9774	0,5992
8	0,9655	1,6293	0,9736	0,6878
9	0,9610	1,7355	0,9691	0,7923
10	0,9588	1,7865	0,9670	0,8425
11	0,9580	1,8064	0,9661	0,8621
12	0,9577	1,8122	0,9659	0,8678
13	0,9896	0,4454	0,9926	0,1493
14	0,9891	0,4564	0,9922	0,1603
15	0,9890	0,4594	0,9921	0,1632
16	0,9890	0,4595	0,9920	0,1633
17	0,9768	1,6467	0,9865	0,4587
18	0,9775	1,8901	0,9889	0,4729
19	0,9796	2,1724	0,9928	0,4653
20	0,9823	2,4119	0,9971	0,4431
21	0,9858	2,6341	1,0022	0,4058
22	0,9797	2,7735	0,9962	0,5409
23	0,9746	2,8892	0,9930	0,6530
24	0,9698	2,9990	0,9867	0,7593
25	0,9675	3,0521	0,9844	0,8108
26	0,9666	3,0726	0,9836	0,8307

Bus	Tegangan (kasus 3)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg(°)	Mag(Pu)	Deg(°)
27	0,9664	3,0787	0,9833	0,8366
28	0,9686	1,5585	0,9767	0,6181
29	0,9681	1,5713	0,9762	0,6307
30	0,9679	1,5777	0,9759	0,6370

Dari **Tabel 4.17**, diketahui bahwa terjadi peningkatan akibat adanya kompensasi pembangkitan daya reaktif yang mempengaruhi besarnya nilai tegangan pada bus yang diinjeksikan daya aktif. Ketika dilakukan pada kasus 3 dimana  $PF = 1$ , maka tegangannya menjadi  $0,98 Pu$  namun ketika factor  $a$  digunakan untuk pembangkitan daya reaktif, dimana  $PF$  yang digunakan =  $0,9$ . Tegangan pada bus yang diinjeksi daya aktif dan daya reaktif dijaga pada  $1 Pu$ , guna menghasilkan rugi jaringan yang paling minimal.

#### 4.2.4.2 Penyulang Kaliasin

Pada studi kasus 1, dilakukan perhitungan aliran daya terhadap sistem tersebut. Adapun hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 4.3**. dikarenakan pada studi kasus 1 tidak terjadi *overload* yang menyebabkan terjadinya *undervoltage* ( $V_{bus} < 0,95 Pu$ ) sehingga dilakukan studi kasus 2, guna memperoleh kondisi yang diinginkan tersebut. sehingga parameter tegangan dan sudut pada **Tabel 4.4** digunakan sebagai referensi dalam melakukan perhitungan pencarian nilai optimasi dari pembangkitan tersebut.

Dengan memasukkan nilai tegangan dalam persamaan **3.2** dan **3.3**, maka diperoleh konstanta alpha ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ), setelah ditemukan nilai dari konstanta tersebut, maka perhitungan dilakukan menggunakan persamaan **3.6**. sedangkan untuk penentuan nilai rasio  $a$ , dapat dibaca kembali pada **point 3.4** di **Bab 3**.

Adapun tabel berikut menunjukkan hasil optimasi untuk pembangkitan pada tiap- tiap bus. Berikut data tersebut ditampilkan;

**Tabel 4.18** Hasil Optimasi penyulang Kaliasin dengan  $PF = 0,9$

Bus	$P_{DG}$ (MW)	$Q_{DG}$ (MVAR)
1	24,9212	12,0699

Bus	$P_{DG}$ (MW)	$Q_{DG}$ (MVAR)
2	22,2883	10,7947
3	19,2265	9,3118
4	19,2277	9,3124
5	15,6347	7,5722
6	16,3958	7,9408
7	15,9328	7,7166
8	12,2352	5,9258
9	14,0185	6,7895
10	12,5674	6,0867

Hasil optimalisasi telah didapatkan pada **Tabel 4.18**, dimana  $P_{DG}$  dan  $Q_{DG}$  setiap pembangkit akan dibangkitkan pada masing – masing bus, sehingga nantinya dicari total dari rugi jaringan yang paling minimal. Sedangkan untuk mengetahui nilai dari total rugi jaringan, maka dilakukan running aliran daya sebanyak *jumlah bus x banyaknya data yang diujicobakan*. Karena itu hasil dari pengujian tersebut diringkaskan dalam **Tabel 4.19**;

**Tabel 4.19** Total rugi jaringan penyulang Kaliasin setelah optimalisasi dengan  $PF=0,9$

Bus	Total Losses (kW)									
	Bus Generation									
	12 (MW)	14 (MW)	16 (MW)	18 (MW)	20 (MW)	22 (MW)	24 (MW)	26 (MW)	28 (MW)	
2						1695,26	1682,66	1703,51		
3				2010,19	1971,24	1972,64				
4				554,12	533,88	571,57				
5		879,713	815,22	828,16						
6			858,566	845,63	899,71					
7		746,27	674,83	681,99						
8	1094,53	1064,4	1131,54							
9		942,96	933,32	1004,56						
10	1177,14	1129,57	1176,6							

**Tabel 4.19** menunjukkan banyaknya data yang diuji cobakan pada sistem tersebut dengan *range* tertentu sesuai **Tabel 4.18**, sehingga dapat kita ketahui, data yang berada **Tabel 4.18** masih dalam *range* optimasi untuk mendapat total rugi jaringan yang paling minimal.

**Tabel 4.19** menunjukkan pula total rugi jaringan yang terkecil dilakukan dengan melakukan injeksi daya aktif ( $P_{DG}$ ) ke sistem. Dengan demikian maka injeksi daya aktif sebesar 20 MW dan daya reaktif yang terbangkit secara otomatis menggunakan PF control sebesar  $Q_{DG}$  sesuai **point 3.4** pada **Bab 3**, dilakukan pada bus 4 memiliki total rugi jaringan yang paling minimal sebesar 533,88 kW. Dimana total rugi jaringan pada studi kasus 2 sebesar 4723,9 kW . Perbedaan yang signifikan terlihat jelas dimana selisih yang dihasilkan sebesar 4190,02 kW.

Sedangkan untuk syarat tegangan bus dijaga pada batas  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$  , maka dilakukan running aliran daya sehingga dapat dilihat besarnya nilai tegangan tiap bus;

**Tabel 4.20** Aliran daya 3 fasa seimbang pada distribusi radial penyulang kaliasin setelah diinjeksi daya aktif sebesar 19,22 MW pada bus 4

Bus	Tegangan		Arus Cabang (A)	Rugi Jaringan	
	Mag(Pu)	Deg( °)		P(kW)	Q(kVAR)
1	1,0000	0,0000	52,938	0,000	0,000
2	0,9940	-1,0728	152,938	92,975	45,610
3	0,9914	-1,1054	105,030	8,770	4,302
4	0,9998	-1,8016	137,596	60,206	29,535
5	0,9853	-2,0420	195,376	91,040	44,661
6	0,9931	-1,8723	132,528	27,926	13,700
7	0,9815	-2,0201	242,810	140,611	68,979
8	0,9634	-2,2304	143,182	81,492	39,977
9	0,9764	-2,0862	99,652	15,789	7,746
10	0,9714	-2,1530	99,652	15,789	7,746

Dari **Tabel 4.11** , diketahui besar nilai tegangan pada tiap bus telah berada sesuai syarat  $0,95 Pu < V_{bus} < 1,05 Pu$  dengan dilakukan

injeksi daya aktif dari optimalisasi pembangkitan sebesar 19,22 MW, maka total rugi daya yang dihasilkan menjadi 534,599 kW. Berikut adalah hasil perbandingan tegangan dari studi kasus 2 dan studi kasus 3;

**Tabel 4.21** Perbandingan tegangan pada studi kasus 2 dengan studi kasus 4 setelah diinjeksi daya aktif sebesar 19,22 MW pada bus 4

Bus	Tegangan (kasus 2)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
2	0,8980	-1,2128	0,9940	-1,0728
3	0,8951	-1,2528	0,9914	-1,1054
4	0,8281	-2,2109	0,9998	-1,8016
5	0,8104	-2,5636	0,9853	-2,0420
6	0,8200	-2,3143	0,9931	-1,8723
7	0,8056	-2,5322	0,9815	-2,0201
8	0,7833	-2,8471	0,9634	-2,2304
9	0,7994	-2,6305	0,9764	-2,0862
10	0,7933	-2,7303	0,9714	-2,1530

Dari **Tabel 4.12** , diketahui bahwa nilai tegangan meningkat, sedangkan **Tabel 4.11**, menunjukkan total rugi jaringan menurun dari 4.72 MW menjadi 534,599 kW, dengan demikian lokasi pembangkitan dilakukan pada bus 4, guna memperoleh rugi jaringan yang minimal.

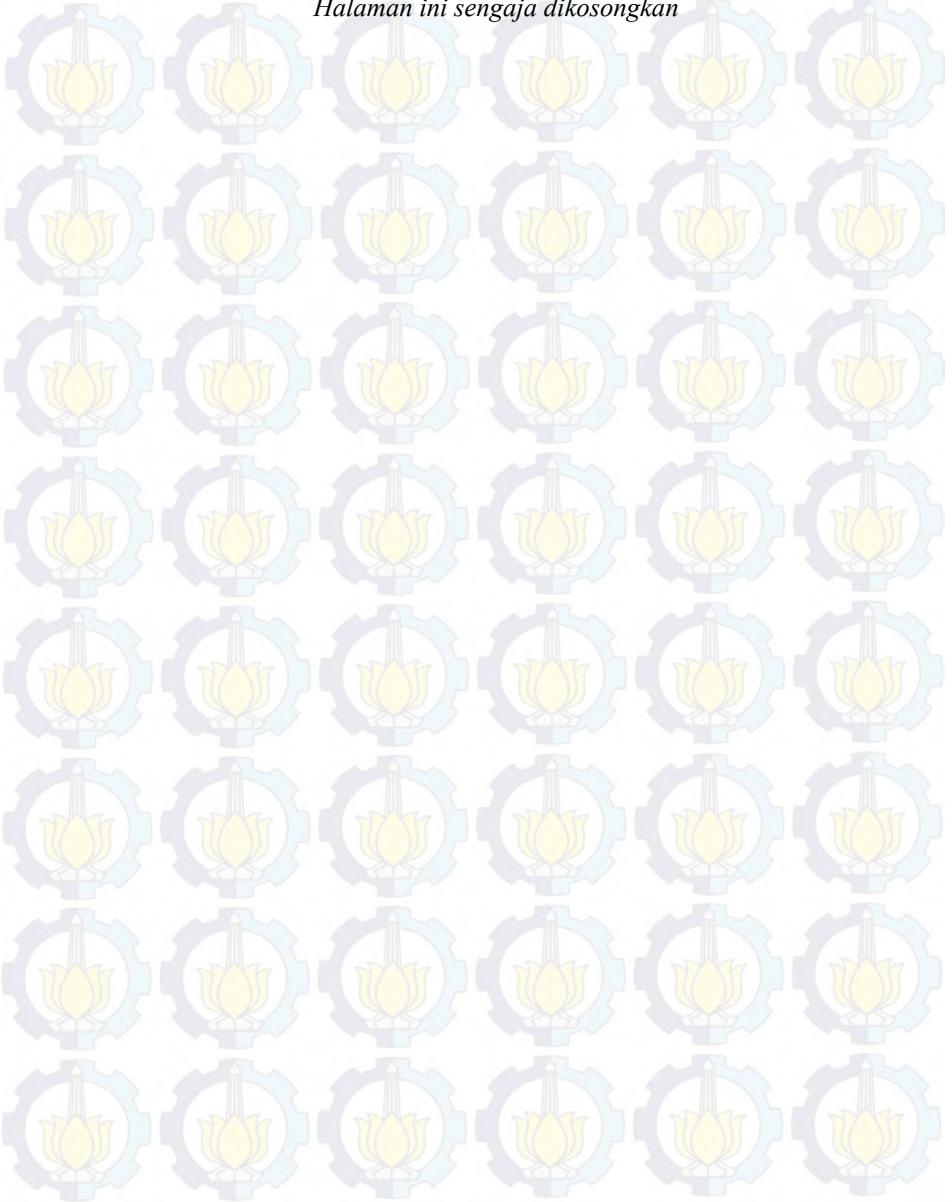
**Tabel 4.22** Perbandingan studi kasus 3 dengan studi kasus 4

Bus	Tegangan (kasus 3)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
1	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000
2	0,9856	0,9068	0,9940	-1,0728
3	0,9830	0,8736	0,9914	-1,1054
4	0,9847	1,7754	0,9998	-1,8016
5	0,9702	1,5275	0,9853	-2,0420

Bus	Tegangan (kasus 3)		Tegangan (kasus 4)	
	Mag(Pu)	Deg( °)	Mag(Pu)	Deg( °)
6	0,9780	1,7025	0,9931	-1,8723
7	0,9663	1,5500	0,9815	-2,0201
8	0,9482	1,3328	0,9634	-2,2304
9	0,9613	1,4818	0,9764	-2,0862
10	0,9563	1,4128	0,9714	-2,1530

Dari **Tabel 4.22**, diketahui bahwa terjadi peningkatan akibat adanya kompensasi pembangkitan daya reaktif yang mempengaruhi besarnya nilai tegangan pada bus yang diinjeksikan daya aktif. Ketika dilakukan pada kasus 3 dimana  $PF = 1$ , maka tegangannya menjadi  $0.99$  Pu namun ketika factor  $a$  digunakan untuk pembangkitan daya reaktif, dimana  $PF$  yang digunakan =  $0,9$ . Tegangan pada bus yang diinjeksi daya aktif dan daya reaktif dijaga pada  $1$  Pu, guna menghasilkan rugi jaringan yang paling minimal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan dan analisis pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa

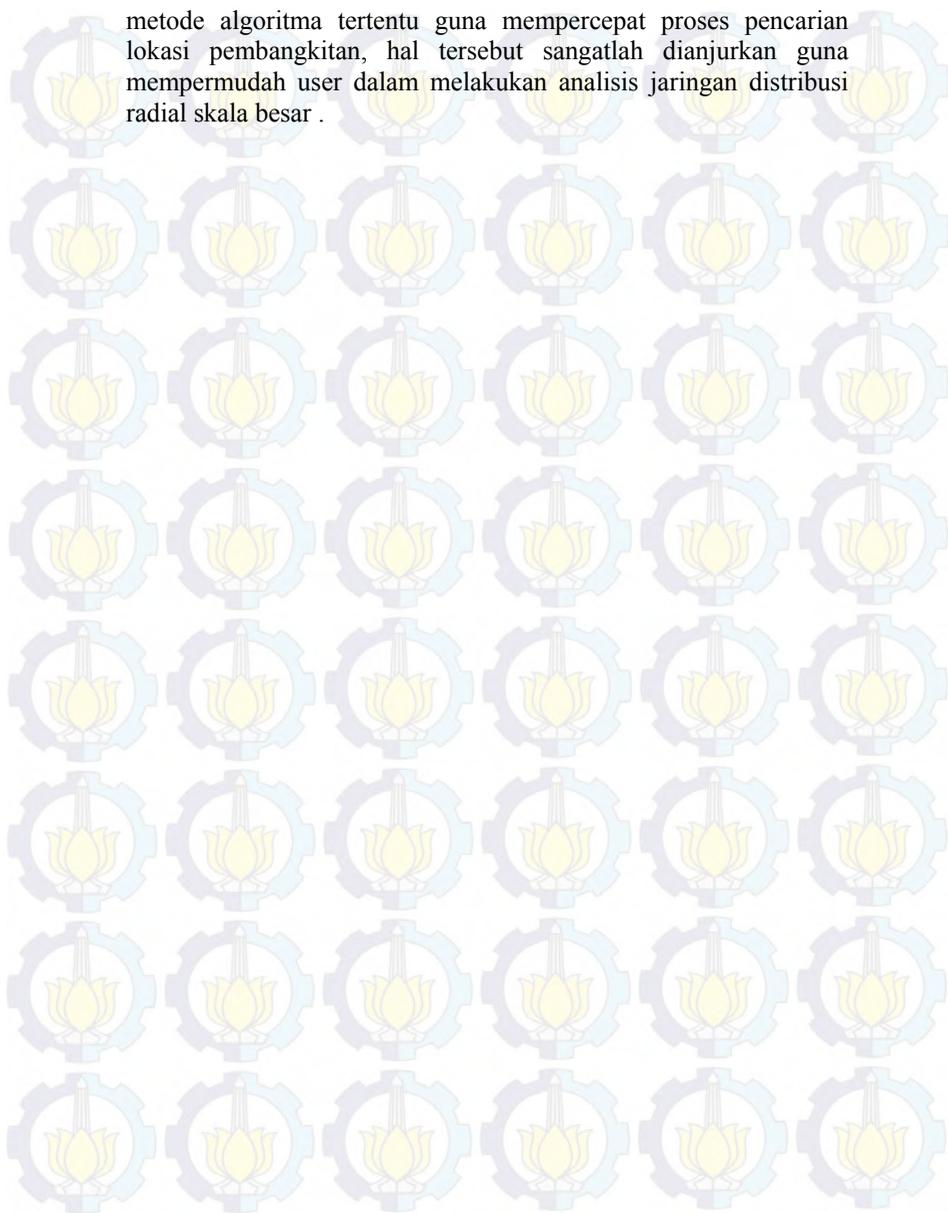
1. Permasalahan yang ditimbulkan akibat adanya kontingensi berupa *overload* yang menyebabkan *undervoltage* dapat diatasi dengan merekonfigurasi penyulang, melepaskan beban yang berlebihan dan melakukan pembangkitan pada titik-titik tertentu.
2. Dalam melakukan pembangkitan perlu dilakukan optimalisasi guna mengetahui di titik mana pembangkitan dapat dilakukan sehingga mendapatkan rugi-rugi jaringan yang paling minimal.
3. Optimalisasi pembangkit dari tiap tipe sangatlah berbeda, tergantung dari karakteristik pembangkitnya masing-masing. hal tersebut telah dijelaskan dengan detail pada bab 3 di buku ini.
4. Untuk memperoleh kondisi *undervoltage* pada jaringan distribusi radial skala besar lebih mudah dibanding jaringan distribusi radial skala kecil, meskipun tergantung pada besarnya beban yang ditanggung sebuah jaringan distribusi, jaringan distribusi radial skala besar menawarkan kondisi yang lebih bermacam – macam dibanding jaringan distribusi radial skala kecil.
5. Untuk pembangkitan yang optimal guna memperoleh rugi-rugi jaringan yang paling minimal, maka tegangan bus yang diinjeksi daya aktif dan daya reaktif dijaga di nominal 1 pu, tanpa mempengaruhi bus yang lainnya.

### 5.2 SARAN

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

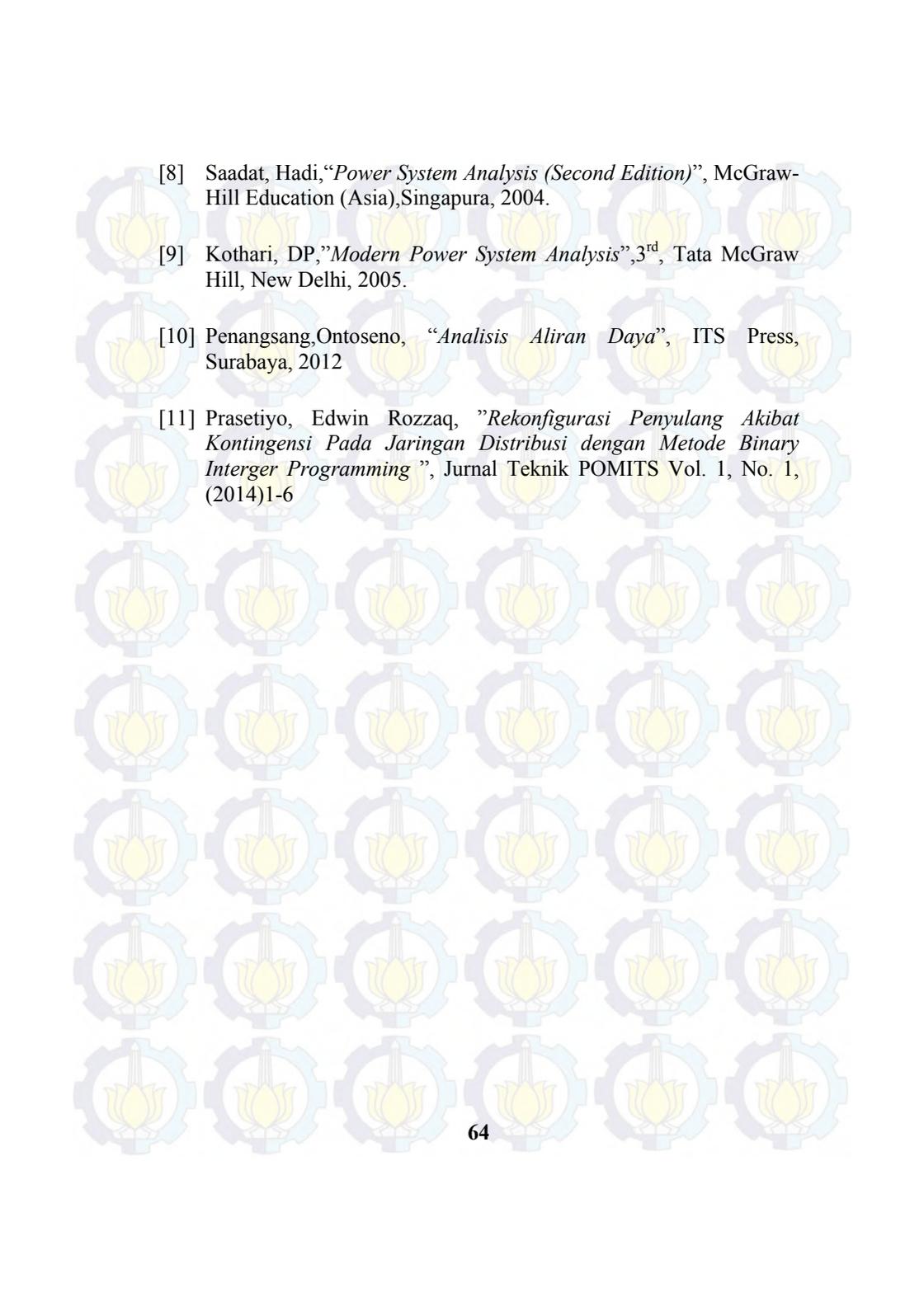
1. Program optimalisasi ini dibuat guna membantu proses penyelesaian perhitungan analisis untuk Tugas Akhir kali ini
2. Pada program optimalisasi di Tugas Akhir ini telah memiliki tampilan yang baik dan pengoperasiannya mudah, namun dalam melakukan pencarian terhadap lokasi pembangkitan yang optimal masih dilakukan secara manual, dengan menambahkan sebuah

metode algoritma tertentu guna mempercepat proses pencarian lokasi pembangkitan, hal tersebut sangatlah dianjurkan guna mempermudah user dalam melakukan analisis jaringan distribusi radial skala besar .



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marko Kolenc \*, Igor Papič and Boštjan Blažič. “*Minimization of Losses in Smart Grids Using Coordinated Voltage Control*”, Energies 2012, 5, 3768-3787. 2012.
- [2] Satish Kansal\*, B.B.R. Sai, Barjeev Tyagi, Vishal Kumar ,”*Optimal placement of distributed generation in distributed network*”,International Journal of Engineering, Science, and Technology Vol 3, no 3, 2011,pp.47-55
- [3] Duong Quoc Hung, Nadarajah Mithulananthan, *Member IEEE*, and R.C. Bansal, *Senior Member IEEE*, ”*Analytical Expressions for DG Allocation in Primary Distribution Networks* ”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol-25, No 3, September 2010.
- [4] K. Prakash and M. Sydulu, ” *Topological and Primitive Impedance based Load Flow Method for Radial and Weakly Meshed Distribution Systems* ”,Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol 10, No. 1, Winter-Spring 2011.
- [5] Ulas Eminoglu, M. Hakan Hocaoglu\*,” *A new power flow method for radial distribution systems including voltage dependent load models* ”, Science direct- Electric Power Systems Research 76(2005) 106-114.
- [6] Makwana Nirbhaykumar Navinchandra,” *Load Flow Analysis of Radial and Weakly Meshed Distribution System*”,Master of Engineering Thesis, Thapar University, July 2012.
- [7] Francesco Marra, Y Tarek Fawzy, Thorsten Bulo and Bostjan Blazic,”*Energy Storage for Voltage Support in Low-Voltage Grids with High Penetration of Photovoltaic*”,European Commission in the 7<sup>th</sup> Framework Programme (FP7), No.TREN /FP7EN /239511 /METAPV.

- 
- [8] Saadat, Hadi, "*Power System Analysis (Second Edition)*", McGraw-Hill Education (Asia), Singapura, 2004.
- [9] Kothari, DP, "*Modern Power System Analysis*", 3<sup>rd</sup>, Tata McGraw Hill, New Delhi, 2005.
- [10] Penangsang, Ontoseno, "*Analisis Aliran Daya*", ITS Press, Surabaya, 2012
- [11] Prasetyo, Edwin Rozzaq, "*Rekonfigurasi Penyulang Akibat Kontingensi Pada Jaringan Distribusi dengan Metode Binary Integer Programming*", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2014)1-6

## LAMPIRAN

Data yang diperlukan dalam melakukan penentuan lokasi pembangkitan yang optimal adalah;

1. Nilai Impedansi Saluran → dalam satuan pu
2. Voltage magnitude → dalam bentuk polar dan satuan pu
3. Daya aktif dan reaktif dari pembangkitan dan beban → Satuan tetap
4. Aliran Daya 3 Fasa Seimbang untuk Jaringan Distribusi Radial Tegangan Menengah → dalam kasus ini menggunakan data dari Tugas Akhir sebelumnya yang merupakan salah satu penelitian yang dilakukan pada Lab PSSL B -103 (acuan *Pungki Priambodo*)

Berikut listing program yang digunakan;

```
nl=zdata(:,1); nr=zdata(:,2); R=zdata(:,3); X=zdata(:,4);
nbr=length(zdata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
Ps=0;
Z = R + j*X; %branch impedance
y= ones(nbr,1)./Z; %branch admittance
Ybus=zeros(nbus,nbus); % initialize Ybus to zero
for k = 1:nbr; % formation of the off diagonal elements
    if nl(k) > 0 & nr(k) > 0
        Ybus(nl(k),nr(k)) = Ybus(nl(k),nr(k)) - y(k);
        Ybus(nr(k),nl(k)) = Ybus(nl(k),nr(k));
    end
end
for n = 1:nbus % formation of the diagonal elements
    for k = 1:nbr
        if nl(k) == n | nr(k) == n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n) + y(k);
        else, end
    end
end
Zbus=inv(Ybus)

nbus = length(busdat(:,1));
for i=1:nbus;
    n=busdat(i,1);
    Vm(n)=busdat(i,2); delta(n)=busdat(i,3);
    Pd(n)=busdat(i,4); Qd(n)=busdat(i,5);
    Pg(n)=busdat(i,6); Qg(n)=busdat(i,7);
```

```

end
PF= 0.9; %Power Factor Pembangkitan
pal=tand(acosd(PF));
for i=1:nbus;
    for c=1:nbus;
        alfa(i,c)=
(real(Zbus(i,c)/(Vm(i)*Vm(c)))*cosd(delta(i)-delta(c)));
        beta(i,c)=
(real(Zbus(i,c)/(Vm(i)*Vm(c)))*sind(delta(i)-delta(c)));
        if i==c
            alfa(i,c)=(real(Zbus(i,c)/(Vm(i)*Vm(c)))*cosd(delta(i)-
            delta(c)));
            kof(i,c)=1/(pal*pal*(alfa(i,c)))+(alfa(i,c));
        else
            end
        end
    end
end
for a=1:nbus;
    for b=1:nbus;
        P(b)=Pd(b);
        Q(b)=Qd(b);
        Pt(a,b)=(alfa(a,b)*P(b))-(beta(a,b)*Q(b));
        Qt(a,b)=(alfa(a,b)*Q(b))+(beta(a,b)*P(b));
        if (a==b)
            Pt(a,b)=0;
            Qt(a,b)=0;
        end
    end
end
Pn(a)=sum(Pt(a,:));
Qn(a)=sum(Qt(a,:));
Pk(a)=alfa(a,a)*(Pd(a)+(pal*Qd(a)));
Qk(a)=beta(a,a)*((pal*Pd(a))-Qd(a));
PL(a)=(Pk(a)+Qk(a)+Pn(a)+(pal*Qn(a)));
Pdg(a)=kof(a,a)*PL(a);
Qdg(a)=pal*Pdg(a);
end

```

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Nama : Rahmat Bagus A  
TTL : Gresik , 29- 11- 1990  
Jenis Kelamin : Laki - Laki  
Agama : Islam  
E-mail : [bagusardhiansyah99@gmail.com](mailto:bagusardhiansyah99@gmail.com)  
Kata Mutiara : “Padi saja merunduk,  
bisakah kita merunduk  
sejenak”

### RIWAYAT PENDIDIKAN

- Ⓜ 1997 – 2003 : SD NU 1 Trate Gresik
- Ⓜ 2003 – 2006 : SMP Negeri 2 Kebomas
- Ⓜ 2006 – 2009 : SMA Negeri 1 Gresik
- Ⓜ 2009 – 2012 : D3 Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS-ITS), Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)
- Ⓜ 2012 – 2014 : S1 Lintas Jalur T. Elektro-Fakultas Teknologi Industri (FTI) - Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)

### PENGALAMAN KERJA

- Ⓜ Kerja Praktek di PT. Petrokimia Gresik

### PENGALAMAN ORGANISASI

- Ⓜ Staff Departemen Kementerian Dalam Negeri , Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM), Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS-ITS), Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) ( 2007 – 2009 )