

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY*  
*ALGORITHM* PADA GI. SENGKALING PENYULANG PUJON**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*  
**HENDRY CAHYO UTOMO**  
**01.12.094**

**MARET**  
**2007**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### **KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM PADA GI . SENGKALING PENYULANG PUJON**

#### **SKRIPSI**

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :  
HENDRY CAHYO UTOMO  
01.12.094**



**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**  
  
**Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT**  
**NIP.Y. 1039500274**

**Diperiksa dan disetujui,  
Dosen Pembimbing**  
  
**Ir. H. CHOIRI**  
**NIP. 130703042**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

## ABSTRAKSI

### KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM* PADA GL. SENGKALING PENYULANG PUJON

(Hendry Cahyo Utomo, Nim 01.12.094)  
( Dosen Pembimbing :Ir. H. Choiri )

Kata Kunci : Sistem Distribusi Radial, Penempatan Kapasitor, Rugi-rugi daya  
Metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*

Dengan meningkatnya usaha disektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang sangat baik. Seiring dengan meningkatnya beban, daya reaktif yang ada di jaringan akan semakin besar yang dapat memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan. Alternatif yang dipakai adalah menempatkan daya reaktif pada sisi beban salah satunya adalah penempatan kapasitor .

Dalam penulisan ini digunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algoritma* untuk penempatan kapasitor dan besar kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan sistem distribusi 20 kV. Perhitungan aliran daya Newton Raphson diterapkan pada GL.Sengkaling penyulang pujon 20kV untuk mengetahui perubahan hasil dari pemasangan kapasitor.

Dengan menggunakan data jaringan sistem distribusi 20 kV pada GL.Sengkaling Penyulang diperoleh hasil penempatan dan kapasitas kapasitor dengan menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algoritma* yaitu pada bus 44 dengan kapasitas 300 kVAR , bus 45 dengan kapasitas 210 kVar , bus 69 dengan kapasitas 270 kVar ,bus 86 dengan kapasitas 210 kVar ,bus 86 dengan kapasitas 270 kVar , biaya investasi peralatan dalam kompensasi daya reaktif sebesar 504.000 US\$ dan diperoleh penurunan rugi- rugi daya adalah rugi daya aktif dari 129.862 kW menjadi 98.246 kW ,daya reaktif dari 161.362 kVar menjadi 122.279 kVar serta perbaikan tegangan di bus 99 dari 0.94572 pu menjadi 0.96163 pu . Penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi primer tipe radial dengan menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada maupun untuk perencanaan perluasan jaringan.

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah swt, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. **Ir. F. Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1.
4. **Ir. H. Choiri**, selaku dosen pembimbing.
5. **Kedua Orang Tuaku**, yang telah mendukung dan membiayai selama menempuh kuliah sampai menjadi Sarjana Teknik.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman :

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metodologi Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
1.7. Kontribusi Penulisan .....	6
<b>BAB II SISTEM DISTRIBUSI DAN APLIKASI KAPASITOR</b> .....	7
2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)..	8
2.1.2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)...	8

2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	9
2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial .....	9
2.2.2. Struktur Jaringan Tertutup ( <i>Loop</i> ) .....	10
2.2.3. Struktur Jaringan <i>Mesh</i> .....	11
2.3. Kapasitor Daya .....	11
2.3.1. Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt .....	12
2.3.2. Faktor-Faktor pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor shunt .....	14
2.4. Kompensasi Daya Reaktif .....	15
2.4.1. Daya Aktif, Daya Reaktif, Daya Semu .....	15
2.4.2. Pengurangan Rugi-rugi Saluran .....	18
2.4.3. Perbaikan Tegangan .....	19
2.4.4. Perbaikan Faktor Daya .....	20
2.5. Sistem Per-Unit .....	21

**BAB III KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRENGTH PARETO  
EVOLUTIONARY ALGORITHM* .....**

3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan Radial .....	23
3.1.1. Tujuan .....	23
3.1.2. Metode Newton Raphson .....	23
3.2. Algoritma Genetika .....	26
3.2.1. Istilah-istilah Algoritma Genetika .....	28
3.2.2. Proses Algoritma Genetika .....	31
3.3. Konsep Metode Streght Pareto Evolutionary Algorithm .....	38

3.4. Algoritma Program	
3.4.1. Algoritma Pemecahan Masalah .....	44
3.4.2. Algoritma Program Pemecahan Kompensasi Daya Reaktif Menggunakan Metode SPEA.....	45
3.4.3. Algoritma Fitness (SPEA) .....	46
3.4.4. Flow Chart Program .....	47
<b>BAB IV KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE <i>STRENGTH PARETO</i> <i>EVOLUTIONARY ALGORITHM</i> PADA GI SENGKALING PENYULANG PUJON .....</b>	<b>50</b>
4.1. Distribusi Tenaga Listrik 20 kV GI Sengkaling Penyulang Pujon .....	50
4.2. Data Saluran .....	52
4.3. Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Pujon .....	54
4.4. Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan .....	55
4.5. Analisa Perhitungan .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>68</b>
5.1. Kesimpulan.....	68
5.2. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2-1. Skema Gardu Induk Yang Dihubungkan Melalui Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM) Hingga Ke Pelanggan.....	7
2-2. Sistem Distribusi Radial .....	10
2-3. Sistem Distribusi <i>Loop</i> .....	11
2-4. Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i> .....	12
2-5. Kapasitor Yang Dipasang Pada Saluran .....	13
2-6. Vektor Segitiga Daya .....	16
2-7. Vektor Segitiga Arus.....	17
2-8. Saluran Dengan Beban Terpusat.....	17
2-9. Vektor Arus dan Tegangan Sebelum dan Setelah Dipasang Kapasitor ...	18
2-10. Diagram Vektor Pada Rangkaian Dengan PF Lagging .....	19
2-11. Perbaikan Faktor Daya.....	20
3-1. Roulette Whell .....	34
3-2. Pembentukan Next Generation Dalam Algoritma Genetika.....	35
3-3. Ilustrasi Operator Dengan One Point Crossover.....	36
3-4. Ilustrasi Operator Dengan Two Point Crossover .....	36
3-5. Ilustrasi Operator Dengan Uniform Crossover .....	36
3-6. Ilustrasi Operator Mutasi untuk string Biner .....	37
3-7. Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah .....	47
3-8. Flowchart Algoritma SPEA .....	48



3-9.	Flowchart Fitness (SPEA).....	49
4-1.	Single Line Diagram Penyulang Pujon Sebelum Penempatan .....	51
4-2.	Tampilan Utama.....	55
4-3.	Tampilan Inputan Data (Data General).....	56
4-4.	Tampilan Inputan Data (Data Pembebanan).....	56
4-5.	Tampilan Inputan Data (Data Saluran).....	57
4-6.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga dan Sudut Fasa tiap-tiap Bus Sebelum Kompensasi.....	57
4-7.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Daya Tiap Saluran dan Arus Yang Mengalir Pada Saluran Sebelum Kompensasi.....	58
4-8.	Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Sebelum Kompensasi.....	58
4-9.	Tampilan Parameter Metode <i>SPEA</i> .....	59
4-10.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga dan Sudut Fasa tiap-tiap Bus Setelah Kompensasi.....	59
4-11.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Daya Tiap Saluran dan Arus Yang Mengalir Pada Saluran Setelah Kompensasi.....	60
4-12.	Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Setelah Kompensasi.....	60
4-13.	Hasil Penempatan Dengan Metode <i>SPEA</i> .....	61
4-14.	Hasil Penempatan Dengan Metode <i>SPEA</i> .....	64

## DAFTAR GRAFIK

Grafik :

Halaman :

- 4-1. Tegangan Tiap-tiap Bus Terhadap Asumsi tegangan Awal,  
Tegangan Sebelum, dan Setelah Kompensasi.....66
- 4-2. Rugi Rugi Daya Sebelum Dan Setelah Kompensasi .....67

## DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman :
2-1. Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt.....	14
3.1 Istilah yang Digunakan Dalam Genetika Algoritma.....	28
4-1. Data Spesifikasi Saluran.....	44
4-2. Hasil Perhitungan Impedansi Saluran .....	54
4-3. Hasil Perhitungan Pembebanan .....	55
4-4. Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi .....	62
4-5. Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi .....	63
4-6. Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon Setelah Kompensasi .....	65
4-7. Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Setelah Kompensasi .....	65
4-8. Hasil Program Menggunakan Metode <i>SPEA</i> .....	62

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dengan meningkatnya usaha di sektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang sangat baik.

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki kondisi jaringan akibat adanya rugi-rugi tersebut adalah memasang daya reaktif tambahan disisi beban salah satunya adalah pemasangan kapasitor.

Banyak metode yang dipakai dalam menganalisa masalah penentuan penempatan dan besar kapasitor pada jaringan distribusi, pada umumnya banyak teknik untuk membahas masalah alokasi kapasitor dengan menggunakan metode-metode konvensional tetapi pembahasan-pembahasan yang dilakukan masih kurang dan masih dilakukan analisa yang lebih mendalam lagi.

Hal ini mendorong penulis untuk mengangkat permasalahan dengan menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithms* dapat menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk penempatan kapasitor dalam jaringan distribusi primer.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu :

1. Dimana letak dan kapasitas kapasitor serta investasi dalam peralatan kompensasi daya reaktif pada saluran distribusi GI Sengkaling Penyulang Pujon dengan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithms*
2. Berapa profil tegangan setelah dilakukan kompensasi .
3. Berapa rugi-rugi daya pada saluran setelah penempatan kapasitor dengan menggunakan *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm* .

### 1.3. Tujuan.

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan diatas maka skripsi ini bertujuan untuk :

- Menentukan letak dan kapasitas kapasitor serta investasi dalam peralatan kompensasi daya reaktif pada sistem distribusi radial penyulang pujon , profil tegangan serta rugi – rugi daya setelah penempatan kapasitor dengan menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*

#### 1.4. Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah yang akan dibahas, maka diberikan asumsi-asumsi serta batasan-batasan sebagai berikut:

1. Jaringan yang akan dianalisa adalah jaringan distribusi radial 20 kV di penyulang Pujon.
2. Hanya Kapasitor Shunt yang digunakan dalam perbaikan tegangan dan pengurangan rugi daya.
3. Analisa penentuan letak kapasitor dan pemilihan kapasitas kapasitor menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*
4. Tidak membahas penyebab gangguan.
5. Metode aliran daya yang digunakan yaitu metode *Newton Raphson*.

#### 1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Kajian literatur  
Yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.
2. Pengumpulan Data  
Bentuk data yang digunakan adalah:

- Data kuantitatif, yaitu data yang dipakai dalam objek penelitian yakni data pembebanan ,data saluran dan data kapasitas kapasitor yang akan digunakan pada sistem distribusi penyalang pujan
  - Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini single line diagram penyalang.
3. Analisa perhitungan tegangan,sudut fasa tegangan dan rugi-rugi daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson*, untuk menentukan penempatan kapasitor yang optimal menggunakan Metode *Strengh Pareto Evolutionary Algorithm* yang dian dengan komputer dengan bahasa pemrograman *Borland Delphi* versi 7.0.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dari pembahasan di dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Berisikan Latar belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, Sistematika Penulisan dan Kontribusi.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Disini akan dibahas masalah sistem jaringan distribusi, pengertian jatuh tegangan, pengaruh rendahnya jatuh daya, penjelasan teori tentang kapasitor serta faktor daya.

**BAB III : KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM  
DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM***

Pada bab ini akan dibahas metode aliran daya Newton Raphson, teori mengenai metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*

**BAB IV : KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM  
DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM* PADA  
GL SENGKALING PENYULANG PUJON**

Berisi tentang Program Komputer, Algoritma program dan hasil perhitungan serta analisa data dengan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm*

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

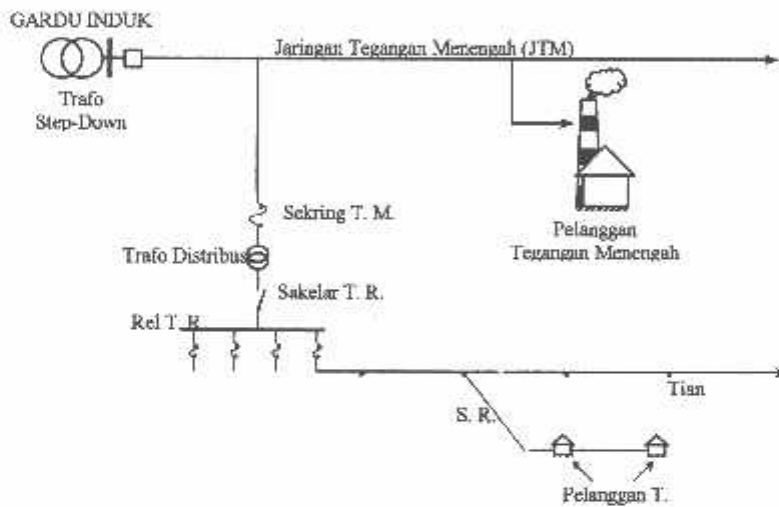
Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan, yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.



## 1.7 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari skripsi ini adalah penggunaan dari metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm* dalam menganalisa penempatan dan kapasitas kapasitor yang digunakan pada sistem distribusi sehingga dapat menekan rugi-rugi daya dalam sistem, dan dapat diterapkan oleh pemerintah khususnya PT. PLN (Persero), sehingga dapat diterapkan bagi PLN sebagai perusahaan penyediaan energi listrik di Indonesia.

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, perannya mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk ke konsumen melalui Gardu Distribusi. Seperti pada gambar 2-1.



**Gambar 2-1 Skema Gardu Induk yang dihubungkan melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM) hingga ke Pelanggan**

Sumber : Djiteng Marsudi, "Operasi Sistem Tenaga Listrik," Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.

Jaringan setelah keluar dari G.I biasanya disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah atau pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.

Dalam pendistribusian tenaga listrik kekonsumen, tegangan yang digunakan bervariasi tergantung dari jenis konsumen yang membutuhkan. Untuk konsumen industri biasanya digunakan tegangan menengah 20 kV. Sedangkan untuk konsumen perumahan digunakan tegangan rendah 220/380 Volt, yang merupakan tegangan siap pakai untuk peralatan-peralatan rumah tangga. Dengan demikian maka sistem distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem yaitu :

1. Sistem distribusi primer (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Sistem distribusi sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua ini berdasarkan tingkat tegangan distribusinya.

#### **2.1.1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)**

Tingkat Tegangan yang digunakan pada sistem distribusi primer adalah meliputi tegangan 20 kV, Oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah.

#### **2.1.2. Sistem distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)**

Tingkat Tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 127/220 volt atau 220/380 volt, oleh karena itu sistem distribusi ini sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

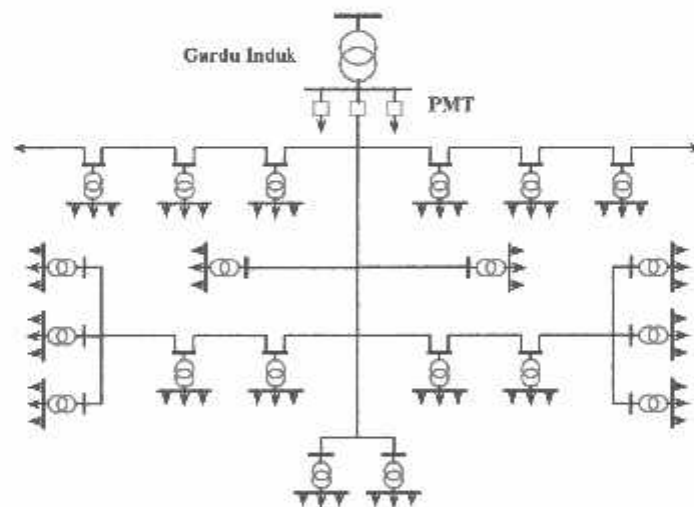
## 2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Ada beberapa bentuk jaringan yang umum digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik, yaitu :

1. Sistem Jaringan Distribusi Radial.
2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (*loop*).
3. Sistem Jaringan Distribusi Mesh.

### 2.2.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataan bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari GI ke pusat-pusat beban/konsumen yang dilayanannya. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2-2.



**Gambar 2-2 Sistem Jaringan Distribusi Radial**

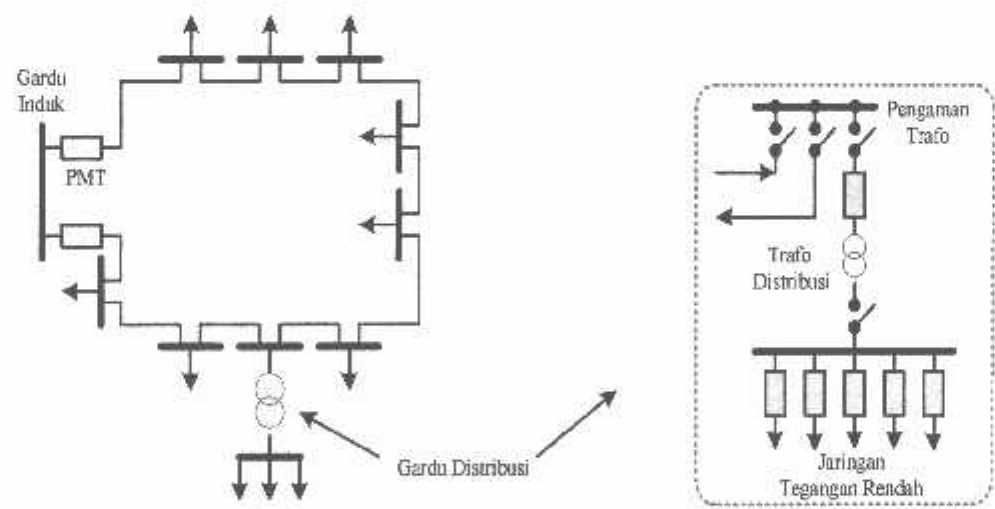
Sumber: Ir. H. Taufik Hidayat, MT, Diklat Kuliah "Sistem Distribusi."

Pelayanan tenaga listrik untuk suatu daerah beban tertentu dilaksanakan dengan memasang transformator pada sembarang titik pada jaringan yang sedekat mungkin dengan daerah beban yang dilayani. Untuk daerah beban yang menyimpang jauh dari saluran utama maupun saluran cabang, maka akan ditarik lagi saluran tambahan yang dicabangkan pada saluran tersebut.

Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada salah satu *feeder* maka semua pelanggan yang terhubung pada *feeder* tersebut akan terganggu.

2.2.2. Struktur Jaringan Tertutup (*Loop*)

Sistem ini disebut jaringan distribusi *loop* karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani, membentuk suatu rangkaian *loop*. Gambar 2-3 menunjukkan bentuk dari struktur jaringan *Loop*.

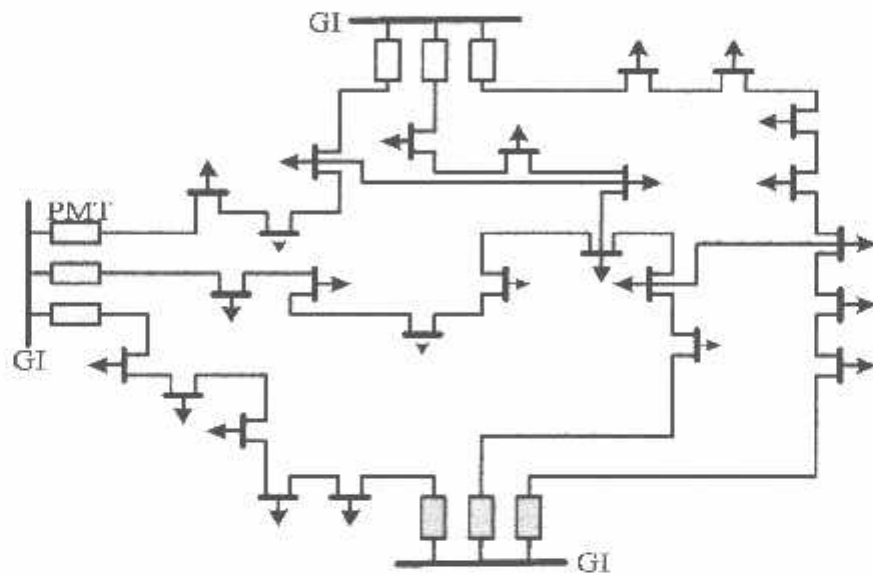


Gambar 2-3 Sistem Jaringan Distrbusi *Loop*

Sumber: Ir. H. Taufik Hidayat, MT. Diktat Kuliah "Sistem Distribusi."

**2.2.3. Struktur Jaringan Mesh**

Jaringan Distribusi *Mesh* merupakan jaringan yang strukturnya kompleks, dimana kelangsungan penyaluran dan pelayanannya diutamakan. Struktur jaringan ini umumnya digunakan pada jaringan tegangan rendah yang kepadatan bebannya cukup tinggi. Gambar 2-4 menunjukkan bentuk dari struktur jaringan *Loop*.



**Gambar 2-4 Sistem Jaringan Distribusi Mesh**

Sumber: Ir. H. Taufik Hidayat, MT, Diktat Kuliah "Sistem Distribusi,"

**2.3. Kapasitor Daya**

Secara sederhana kapasitor terdiri dari dua buah plat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor ini mempunyai sifat menyimpan muatan listrik. Pada beberapa tahun yang lalu kebanyakan kapasitor terbuat dari dua plat aluminium murni yang dipisahkan oleh tiga atau lebih lapisan kertas yang dilapisi oleh bahan kimia. Kapasitor daya telah mengalami

perkembangan yang begitu cepat selama 30 tahun terakhir. Karena bahan dielektrik yang digunakan lebih efisien serta teknologi pembuatan kapasitor lebih baik.

### **2.3.1. Kapasitor seri dan Kapasitor shunt**

Kapasitor daya terdiri atas 2 bagian yaitu kapasitor seri dan kapasitor shunt.

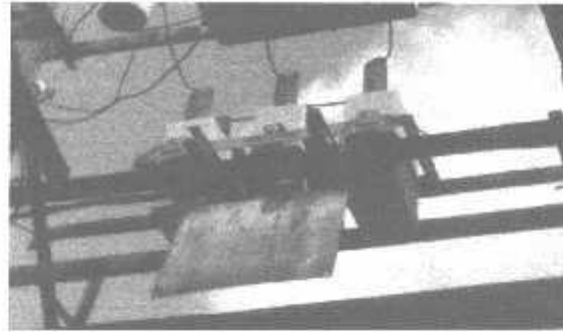
#### **Kapasitor seri:**

Kapasitor Seri adalah kapasitor yang dihubungkan seri dengan impedansi saluran yang bersangkutan, pemakaiannya amat dibatasi pada saluran distribusi, karena peralatan pengamannya cukup rumit. Jadi secara umum dikatakan biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih mahal daripada biaya pemasangan kapasitor paralel atau biasa disebut kapasitor shunt.

#### **Kapasitor Shunt:**

Kapasitor shunt adalah kapasitor yang dihubungkan paralel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada saluran distribusi. Kapasitor shunt mencatu daya reaktif atau arus yang menentang komponen arus beban induktif.

Dengan dipasangnya kapasitor shunt pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran. Seperti pada gambar 2-5 menunjukkan Kapasitor Shunt Yang terpasang pada saluran



**Gambar 2-5**  
**Kapasitor shunt yang dipasang pada saluran**  
Ada dua cara dalam pemakaian kapasitor shunt :

- Kapasitor Tetap
- Kapasitor Saklar

**a. Kapasitor Tetap**

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang kapasitasnya tetap dan selalu terpasang di jaringan. Penggunaan kapasitor jenis ini harus memperhatikan kenaikan tegangan yang terjadi pada saat beban ringan agar tidak melebihi tegangan yang ditetapkan

**b. Kapasitor Saklar**

Adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang dapat dihubungkan dan di lepaskan dari jaringan dan dapat diatur besar kapasitasnya sesuai dengan kondisi beban.

Proses membuka-menutup dari saklar kapasitor shunt dapat dilakukan dengan cara manual maupun dengan cara otomatis. Pengendalian secara manual (Pada lokasi atau lokasi jarak jauh) dapat dilakukan pada G.I. Untuk pengendalian secara otomatis, termasuk didalamnya peralatan pengendali tegangan, arus dan



suhu. Type yang paling populer adalah pengendalian saklar waktu (time-switch control), pengendali tegangan dan pengendali tegangan arus.

**2.3.2. Faktor-faktor pemilihan kapasitor Seri dan kapasitor shunt <sup>[2]</sup> :**

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan kapasitor seri dan shunt dapat ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 2-1**  
**Pemilihan Kapasitor seri dan kapasitor Shunt**

No	Kebutuhan	Kapasitor	
		Seri	Shunt
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Tidak Dipakai
5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak Dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak Dipakai

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik".

## **2.4. Kompensasi Daya Reaktif**

Pengaturan tegangan dan daya reaktif merupakan permasalahan dalam sistem tenaga listrik yang memegang peranan sangat penting dalam mendukung semakin kompleksnya sistem tenaga listrik yang semakin modern. Pengaturan ini perlu dilaksanakan untuk menyediakan tingkat tegangan yang konstan kepada konsumen.

Jika pada sistem tenaga listrik terjadi kekurangan daya reaktif atau tegangan dari batas normal yang diijinkan, kestabilan sistem itu akan terganggu. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah menginjeksikan daya reaktif pada titik-titik tertentu atau memasang .

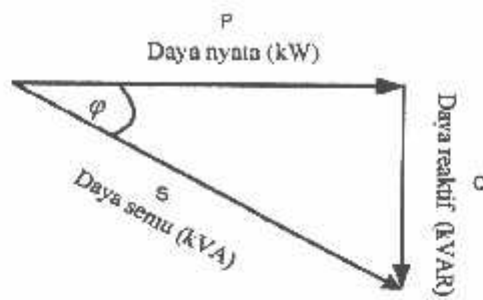
### **2.4.1. Daya Aktif, Daya Reaktif, Daya Semu**

Dalam sistem tenaga listrik, daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah :

- Daya semu (KVA)
- Daya reaktif (KVAR)
- Daya aktif (KW)

Selain diatas dikenal pula istilah faktor daya / power factor atau  $\cos\phi$ .

Faktor daya adalah perbandingan antara daya aktif dan daya semu, yang dalam bentuk vektor dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2-6**  
**Vektor Segitiga Daya<sup>[3]</sup>**

Faktor daya dinyatakan :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \dots\dots\dots (2.1)$$

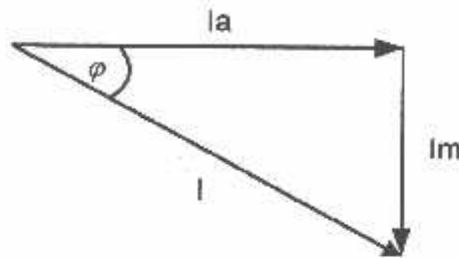
Dari gambar 2-6 daya semu terdiri dari komponen daya nyata dan daya reaktif.

Suatu beban akan membutuhkan suplai daya aktif jika beban tersebut bersifat induktif dan suatu beban membutuhkan suplai daya reaktif jika beban tersebut bersifat kapasitif. Jadi faktor daya dapat dilihat dari hubungan antara arus nyata, arus magnetisasi dan arus total.

- Arus nyata ( $I_a$ ) adalah arus yang dibeban dan diubah kedalam energi panas.
- Arus magnetisasi ( $I_m$ ) adalah arus yang mengalir dibeban untuk menimbulkan medan magnet.

- Arus total ( $I$ ) adalah arus yang mengalir di jaringan dan merupakan penjumlahan vektor dari arus nyata dengan arus magnetisasi.

Dalam bentuk vektor hubungan tersebut ditunjukkan pada gambar 2-7 berikut :

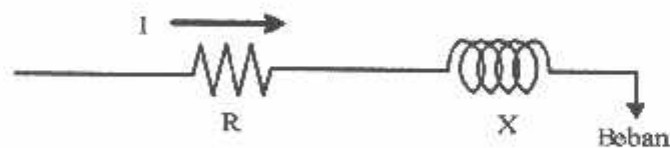


**Gambar 2-7**  
**Vektor Segi Tiga Arus<sup>[3]</sup>**

Beberapa sebab sistem distribusi mempunyai faktor daya yang rendah, yaitu :

- Banyaknya pemakaian motor asinkron terutama pada industri.
- Makin meningkatnya pemakaian lampu TL untuk penerangan.
- Pemakaian pemanas air.

runnya faktor daya berarti mengecilnya perbandingan antara daya nyata dengan daya semu atau berarti semakin membesarnya kebutuhan beban dan daya aktif.



**Gambar 2-8**  
**Saluran Dengan Beban Terpusat**

Sumber: Ir. H. Taufik Hidayat, MT. Diklat Kuliah "Sistem Distribusi."

Karena pada saluran terdapat resistansi R dan reaktansi X, maka rugi daya ( $P_L$ ) seperti pada gambar 2-8 dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_L &= I^2 R \\
 &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R \dots\dots\dots (2.2)
 \end{aligned}$$

dimana :  $I_R$  adalah arus aktif

$I_X$  adalah arus reaktif

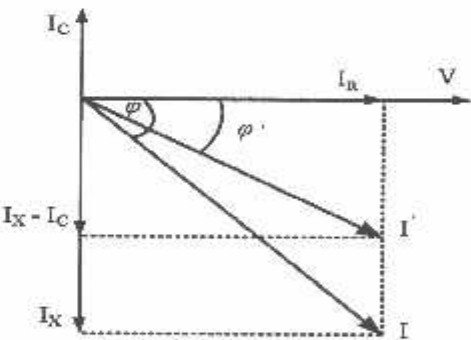
**2.4.2. Pengurangan Rugi-rugi Saluran**

Rugi-rugi saluran sebelum ada pengaruh pemasangan kapasitor adalah seperti pada persamaan (2.2) diatas.

Sedangkan setelah pemasangan kapasitor, maka sebagian daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban akan disuplai oleh kapasitor tersebut, sehingga arus yang mengalir di jaringan akan lebih kecil. Persamaan rugi daya dan rugi energi setelah pemasangan kapasitor adalah :

$$P_L' = (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \dots\dots\dots (2.3)$$

Dalam bentuk diagram vektor yang ditunjukkan pada gambar 2-9 berikut adalah :



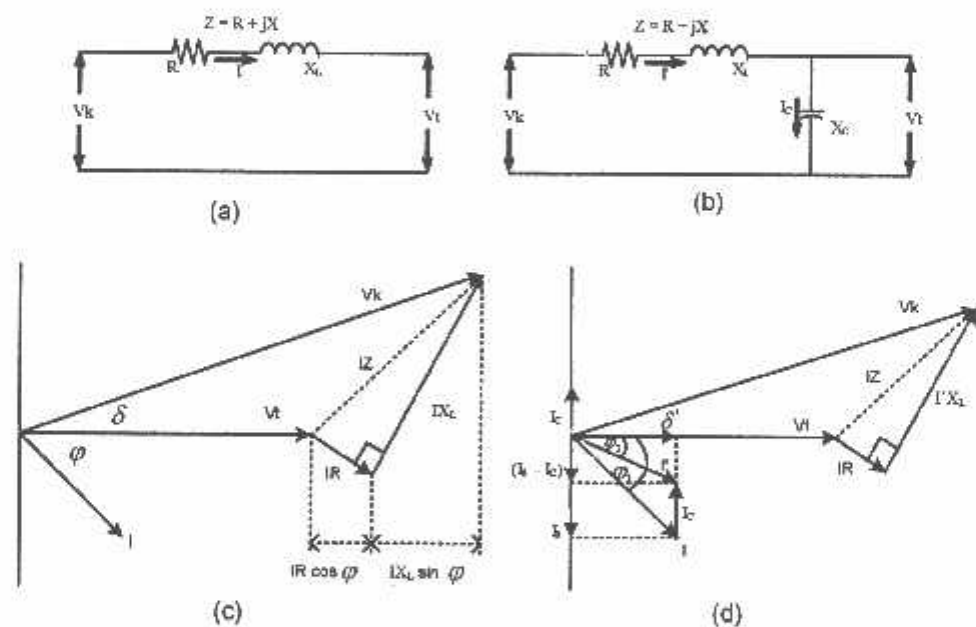
**Gambar 2-9 Vektor arus dan tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor**

Sehingga pengurangan rugi daya dengan adanya pemasangan kapasitor shunt adalah :

$$\begin{aligned}\Delta_{pls} &= I^2 R - I_1^2 R \\ &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R - (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \\ &= 2 (I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R \dots \dots \dots (2.4)\end{aligned}$$

### 2.4.3. Perbaikan Tegangan<sup>[2]</sup>

Pemakaian kapasitor shunt dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya juga bertujuan menaikkan tegangan. Dan secara vektoris dapat ditunjukan pada gambar 2-10 berikut :



Gambar 2-10

Diagram vektor pada rangkaian dengan pf lagging

(a) dan (c) tanpa kapasitor shunt, (b) dan (d) dengan kapasitor shunt

Sumber: Ir. H. Taufik Hidayat, MT. Diktat Kuliah "Sistem Distribusi."

Jatuh tegangan pada jaringan dengan pf lagging dapat dihitung sebagai berikut :

Sebelum pemasangan kapasitor :

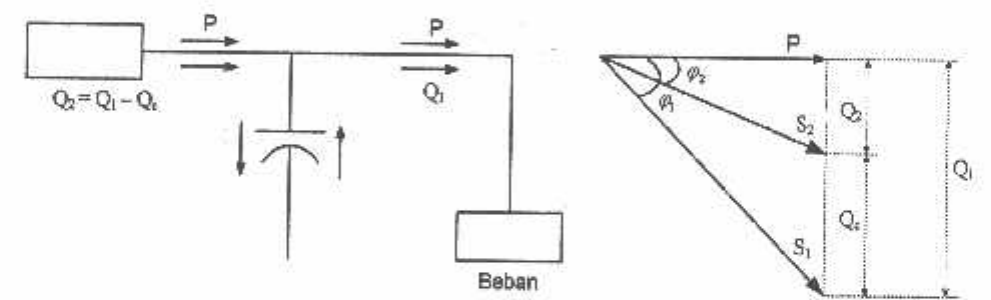
$$\delta V = IR \cos \varphi + IX_L \sin \varphi \text{ volt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, seperti yang terlihat pada gambar 2-8b, secara pendekatan jatuh tegangannya menjadi :

$$\delta V = IR \cos \varphi + (IX_L - I_C) \sin \varphi \text{ volt} \dots\dots\dots (2.6)$$

**2.4.4. Perbaikan Faktor Daya<sup>[2]</sup>**

Factor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya kompleks. Kapasitor shunt akan menyuplai sebagian daya reaktif yang dibutuhkan beban, sehingga daya reaktif yang lewat saluran akan mengecil. Seperti pada gambar 2-11



**Gambar 2-11**

**Perbaikan Faktor Daya <sup>[3]</sup>**

Asumsi bahwa beban disuplai dengan daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q_1$ , daya kompleks  $S_1$  pada pf lagging, besarnya faktor daya adalah :

$$\begin{aligned} \cos \varphi_1 &= \frac{P}{S_1} \\ \cos \varphi_1 &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

Jika kapasitor shunt sebesar  $Q_c$  dipasang pada beban, maka power faktor akan naik dari  $\cos \varphi_1$  menjadi  $\cos \varphi_2$ , dimana :

$$\begin{aligned}\cos \varphi_2 &= \frac{P}{S_2} \\ \cos \varphi_2 &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \\ \cos \varphi_2 &= \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_c)^2}} \dots\dots\dots (2.8)\end{aligned}$$

Dari persamaan (2.7) dan (2.8) dapat dilihat bahwa  $\cos \varphi_2$  akan lebih besar dari pada  $\cos \varphi_1$  sehingga pf setelah pemasangan kapasitor shunt akan naik atau diperbaiki.

## 2.5. Sistem Per-Unit<sup>[2]</sup>.

Untuk memudahkan perhitungan-perhitungan dalam sistem tenaga listrik digunakan dalam sistem p.u. (*per-unit*) yang didefinisikan sebagai perbandingan harga yang sebenarnya dengan harga dasar (*base value*), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Besaran per-unit} = \frac{\text{besaran sebenarnya}}{\text{besaran dasar dengan kuantitas yang sama}} \dots\dots (2.9)$$

Rumus-rumus yang digunakan untuk persamaan arus dasar dan impedansi dasar adalah :

- Untuk sistem 1 fasa

Arus dasar



$$I_d = \frac{\text{kVA dasar}_{1\phi}}{\text{kV dasar}_{L-N}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar}_{L-N})^2 \times 1000}{\text{kVA dasar}_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar}_{L-N})^2}{\text{MVA dasar}_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.12)$$

- Untuk sistem 3 fasa

Arus dasar

$$I_d = \frac{\text{kVA dasar 3 fasa}}{\sqrt{3} \text{ kV dasar } L-L} \dots\dots\dots (2.13)$$

Impedansi dasar

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar } L-L)^2 \times 10^{-3}}{\text{kVA dasar 3 fasa}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Z_d = \frac{(\text{kV dasar } L-L)^2}{\text{MVA dasar 3 fasa}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dalam persamaan diatas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antara fasa dengan tanah dan daya dengan setiap fasa.

Setelah besaran-besaran dasar telah ditentukan maka besaran-besaran itu dinormalisasikan terhadap besaran dasar. Dengan demikian impedansi persatuan didefinisikan sebagai berikut :

$$Z = \frac{\text{impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{impedansi dasar } Z_d(\Omega)} \text{ pu} \dots\dots\dots (2.16)$$

### **BAB III**

#### **KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM***

##### **3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan Radial <sup>[3]</sup>**

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algoriithm* dilakukan suatu proses analisa aliran daya untuk mengetahui kondisi suatu sistem distribusi radial.

###### **3.1.1. Tujuan**

Tujuan mempelajari analisa aliran daya pada skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui keadaan tegangan pada setiap bus dari sistem jaringan.
2. Untuk mengetahui besarnya daya yang mengalir pada setiap cabang dari struktur jaringan.
3. Untuk mengetahui besar rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang dari saluran.

###### **3.1.2. Metode Newton Raphson<sup>[3]</sup>**

Secara matematis persamaan aliran daya *Newton Raphson* dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rektanguler, koordinat polar atau bentuk hibrid (gabungan antara bentuk kompleks dengan bentuk polar). Dalam pembahasan skripsi ini menggunakan bentuk polar.

Hubungan antara arus simpul  $I_p$  dengan tegangan simpul  $V_q$  pada suatu jaringan dengan  $n$  simpul dapat dituliskan :

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots (3.1)$$

Injeksi daya pada simpul  $p$  adalah :

$$S_p = P_p - jQ_p = V_p^* \cdot I_p \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dalam penyelesaian aliran daya dengan *Newton Raphson* bentuk persamaan aliran daya yang dipilih adalah polar, dimana tegangan dinyatakan dalam bentuk polar , yaitu :

$$V_p^* = |V_p| e^{-j\delta_p}$$

$$V_q = |V_q| e^{j\delta_q}$$

$$Y_{pq}^* = |Y_{pq}| e^{-j\theta_{pq}}$$

Maka persamaan (3.3) dapat ditulis :

$$P_p - jQ_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |V_q| |Y_{pq}| e^{-j(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |V_q| |Y_{pq}| \cos (\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |V_q| |Y_{pq}| \sin (\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \dots\dots\dots (3.6)$$

Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitude tegangan ( $v$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ) disetiap simpul dapat

diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) yang dilinierkan dengan metode *Newton Raphson* yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana :

$\Delta P$  = selisih injeksi bersih daya nyata dengan penjumlahan aliran daya nyata tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dari perhitungan iterasi ke-k

$\Delta Q$  = selisih injeksi bersih daya reaktif dengan penjumlahan aliran daya reaktif tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang didapat dri perhitungan iterasi ke-k

$\Delta \delta$  = vektor koreksi sudut fasa tegangan

$\Delta |V|$  = vektor koreksi magnitude tegangan

H, L, M, N merupakan elemen-elemen off diagonal dan diagonal dari sub matriks Jaqobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3.5) dan (3.6), dimana:

$$\begin{aligned} H_{pq} &= \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} & N_{pq} &= \frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} \\ M_{pq} &= \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} & L_{pq} &= \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|} \end{aligned}$$

Persamaan (3.7) diselesaikan untuk menghitung vektor koreksi magnitude tegangan  $\Delta(|V|)$  dan sudut fasa tegangan ( $\Delta \delta$ ) yang baru. Sehingga diperoleh harga magnitude tegangan dan sudut fasa yang baru, yaitu :

$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta|V|^k \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta\delta^k \dots\dots\dots (3.9)$$

Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya nyata dan daya reaktif antara yang dijadwalkan dengan yang dihitung, yaitu  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  untuk semua simpul mendekati nilai toleransi atau proses perhitungan iterasi mencapai konvergen.

### 3.2. Algoritma Genetika

Algoritma Genetika merupakan metode *adaptive* yang bisa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada dalam makhluk hidup yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami, secara lambat laun mengikuti prinsip seleksi alam “siapa yang kuat, dia yang bertahan (*survive*)”. Dengan meniru proses ini, algoritma genetika dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan-permasalahan dalam dunia nyata.

Algoritma Genetika ditemukan oleh John Holland pada awal tahun 1970 yang dilandasi oleh sifat-sifat evolusi alam. Holland percaya bahwa ini sangat cocok digabungkan dalam sebuah algoritma komputer, menghasilkan sebuah teknik penyelesaian untuk permasalahan-permasalahan yang sulit dengan langkah alami yaitu melalui evolusi. John Holland mulai bekerja dengan algoritma yang dibentuk dari string-string biner 1 dan 0 yang disebut *kromosom*. Seperti halnya alam, algoritma ini menyelesaikan permasalahan-permasalahan dengan menemukan kromosom-kromosom yang baik dengan memanipulasi materi dan sifat (*gene*) kromosom-kromosom. Algoritma ini tidak mengetahui type

permasalahan yang akan diselesaikan. Hanya informasi yang telah diberikan dari *evaluasi* berupa nilai fitness setiap kromosom dengan nilai fitness terbaik yang bertahan hidup dan selalu diproduksi.

Sebelum Algoritma Genetika dijalankan, maka sebuah kode yang sesuai (representasi) untuk persoalan harus dirancang. Titik solusi dalam ruang permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pemakaian bilangan seperti integer, floating point dan abjad sebagai *allele* (nilai gen) memungkinkan penerapan operator genetika yaitu proses produksi (*reproduction*), pindah silang (*crossover*), mutasi (*mutation*) untuk menciptakan himpunan titik-titik solusi. Untuk memeriksa hasil optimasi, kita membutuhkan fungsi *fitness* yang menandakan gambaran hasil (*solution*) yang sudah dikodekan. Selama proses, induk harus digunakan untuk reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan (*offspring*). Jika Algoritma Genetika didesain dengan baik, populasi akan mengalami konvergensi dan akan mendapatkan sebuah solusi yang optimum.

Algoritma Genetika memiliki empat dasar kerja yaitu :

1. Bekerja dengan mengkodekan parameter-parameter permasalahan dan tidak bekerja secara langsung dengan parameter-parameter tersebut.
2. Mencari solusi masalah dari sejumlah populasi kandidat solusi, tidak hanya memproses satu solusi saja.
3. Hanya memperhitungkan fungsi fitness setiap kandidat solusi untuk mendapatkan hasil optimum global.

4. Menggunakan aturan transisi secara probabilistik bukan deterministik.

### 3.2.1. Istilah-Istilah Algoritma Genetika

Algoritma Genetika menggunakan mekanisme genetika yang ada pada proses alami dan sistem buatan. Istilah-istilah yang digunakan adalah gabungan dari dua disiplin ilmu, yaitu ilmu Biologi dan ilmu computer. Mitsuo Gen dan Runwei Cheng (1997) menjelaskan istilah-istilah yang digunakan dalam Algoritma Genetika sebagai berikut :

**Tabel 3-1. Istilah Yang Digunakan Dalam Algoritma Genetika**

Istilah	Keterangan
Kromosom	Individu berupa segmen string yang sudah ditentukan
Gen	Bagian dari string
Loci	Posisi dari gen
Allele	Nilai yang dimasukkan dalam gen
Phenotype	String yang merupakan solusi terakhir
Genotype	Sejumlah string hasil perkawinan yang berpotensi sebagai solusi

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam Algoritma Genetika. Parameter tersebut digunakan untuk melihat kompleksitas dari Algoritma Genetika. Parameter yang digunakan tersebut adalah :

#### Jumlah Generasi (MAXGEN)

Merupakan jumlah perulangan (iterasi) dilakukannya rekombinasi dan seleksi. Jumlah generasi ini mempengaruhi kestabilan output dan lama iterasi (waktu proses Algoritma Genetika). Jumlah generasi yang besar dapat mengarahkan kearah solusi yang optimal, namun akan membutuhkan waktu yang

lama. Sedangkan jika jumlah generasinya terlalu sedikit maka solusi akan terjebak pada local optimum.

#### **Ukuran Populasi (POPSIZE)**

Ukuran populasi mempengaruhi kinerja dan efektifitas dari Algoritma Genetika. Jika ukuran populasi kecil maka populasi tidak menyediakan cukup materi untuk mencakup ruang permasalahan, sehingga pada umumnya kinerja Algoritma Genetika menjadi buruk. Dalam hal ini dibutuhkan ruang yang lebih besar untuk mempersentasikan keseluruhan ruang permasalahan. Selain itu penggunaan populasi yang besar dapat mencegah terjasinya konvergensi pada wilayah local. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan populasi pada range 50-100.

#### **Probabilitas Crossover ( $P_c$ )**

Probabilitas crossover ini digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator crossover. Dalam hal ini, dalam populasi terdapat  $P_c \times POPSIZE$  struktur (individu) yang melakukan pindah silang. Semakin besar nilai probabilitas crossover maka semakin cepat struktur baru yang diperkenalkan dalam populasi. Namun jika probabilitas crossover terlalu besar maka struktur dengan nilai fungsi obyektif yang baik dapat hilang dengan lebih cepat dari seleksi. Sebaliknya jika probabilitas terlalu kecil akan menghalangi proses pencarian dalam proses Algoritma Genetika. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan angka probabilitas crossover pada range 0.65 – 1.



### **Probabilitas Mutasi ( $P_m$ )**

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi digunakan untuk menentukan tingkat mutasi yang terjadi, karena frekuensi terjadinya mutasi tersebut menjadi  $P_m \times \text{POPSIZE} \times N$ , dimana  $N$  adalah panjang struktur / gen dalam satu individu. Probabilitas mutasi yang rendah akan menyebabkan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba. Dan sebaliknya, tingkat mutasi yang tinggi akan menyebabkan keturunan akan semakin mirip dengan induknya. Dalam Algoritma Genetika, mutasi menjalankan aturan penting yaitu :

1. Mengganti gen-gen yang hilang sama proses seleksi.
2. Menyediakan gen-gen yang tidak muncul pada saat inisialisasi awal populasi.

Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi Algoritma Genetika mempergunakan angka probabilitas mutasi pada daerah range 0.001 – 0.01.

### **Panjang Kromosom ( $NVAR$ )**

Panjang kromosom berbeda-beda sesuai dengan model permasalahan. Titik solusi dalam ruang permasalahan dikodekan dalam bentuk kromosom/string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pengkodean dapat memakai bilangan seperti string biner, integer, floating point dan abjad.

### 3.2.2. Proses Algoritma Genetika

Sangat perlu untuk mengetahui proses dalam Algoritma Genetika. Dibawah ini akan diuraikan mengenai hal itu, dimana uraian ini merupakan penjabaran dari Algoritma Genetika seperti penjelasan pada bagian berikutnya.

#### A. Pengkodean atau Representasi

Langkah pertama kali yang dilakukan dalam penggunaan Algoritma Genetika adalah melakukan pengkodean atau representasi terhadap permasalahan yang akan dilakukan.

Secara umum Algoritma Genetika dibentuk oleh serangkaian kromosom yang ditandai dengan  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Setiap elemen dalam kromosom ini adalah variabel string yang disebut gen, berisi nilai-nilai atau allele. Variabel-variabel ini dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan biner, bilangan real (*floating point*), integer, abjad. Pengkodean string biner merupakan pendekatan klasik yang digunakan dalam penelitian Algoritma Genetika karena sederhana. Meskipun representasi dengan cara ini menyulitkan untuk beberapa permasalahan optimasi, misalnya permasalahan graph coloring. Digunakan teknik pengkodean yang lain seperti representasi real number (*floating point*), representasi *order-based* (untuk *bin-patching*, *graph coloring*), *embedded lists* (untuk permasalahan penjadwalan (*scheduling*), *variable element list* (untuk semi konduktor layout), dan even *LISP S-expressions*.

Selanjutnya beberapa kromosom dibentuk dan berkumpul membentuk populasi. Populasi inilah populasi awal bagi Algoritma Genetika untuk awal melakukan pencarian.

#### **B. Fungsi *Fitness* (Fungsi Evaluasi)**

Dalam Algoritma Genetika, sebuah fungsi *fitness*  $f(x)$  harus dirancang untuk masing-masing permasalahan yang akan diselesaikan. Dengan menggunakan kromosom tertentu, fungsi obyektif atau fungsi evaluasi akan mengevaluasi status masing-masing kromosom. Setiap gen  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) dipergunakan untuk menghitung  $f_k(x)$  ( $k = 1, 2, \dots, \text{POPSIZE}$ ).

Pada permulaan optimasi, biasanya nilai *fitness* masing-masing individu masih mempunyai rentang yang lebar. Seiring dengan bertambah besar generasi, beberapa kromosom mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai *fitness* semakin kecil. Hal ini dapat mengakibatkan konvergensi dini (*premature convergence*).

Permasalahan klasik dalam Algoritma Genetika adalah beberapa kromosom dengan nilai *fitness* yang tinggi (tetap bukan nilai optimum) mendominasi populasi dan mengakibatkan Algoritma Genetika konvergen pada lokal optimum. Ketika mencapai konvergen, kemampuan Algoritma Genetika untuk mencari solusi yang lebih baik menghilang. Tukar silang antara kromosom induk yang hampir identik. Dalam hal ini hanya operasi mutasi yang mampu menghasilkan kromosom yang relatif baru dan merupakan cara untuk menghindari kromosom tertentu mendominasi populasi.

### C. Seleksi

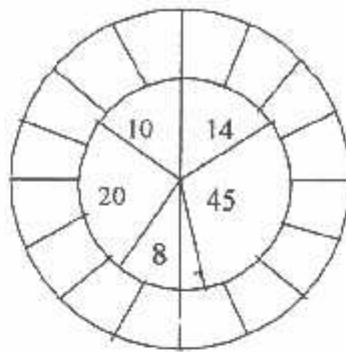
Pada Algoritma Genetika terdapat proses seleksi yaitu proses pemilihan kromosom yang akan di-crossover-kan dengan kromosom dari individu lain. Masalah yang paling mendasar pada proses ini adalah bagaimana proses penyeleksiannya. Menurut teori Darwin proses seleksi individu adalah : "*individu terbaik akan tetap hidup dan menghasilkan keturunan*". Pada proses seleksi ini dapat menggunakan banyak metode seperti *roulette wheel selection*, *rank selection*, *elitesm* dan lain sebagainya.

#### ➤ Roulette Wheel Selection

Dimana setiap individual memiliki harga fitness sehingga didapatkan probabilitas individual  $(f(i)/\sum f(i))$  tersebut dicopykan pada populasi yang baru. Untuk individual yang memiliki probabilitas 20% untuk jumlah populasi 10 maka kemungkinan individual tersebut dapat terpilih sebanyak dua kali. Ilustrasi kerja operator ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.1.

Adapun algoritma dari *roulette-wheel* adalah sebagai berikut :

1. Menjumlahkan fitness dari seluruh anggota populasi.
2. Membangkitkan nilai k, suatu nilai random antara 0 dan total fitnessnya.
3. Menjumlahkan fitness dari kromosom-kromosom dari populasi mulai 0 hingga total fitness lebih besar atau sama dengan nilai k lalu ambil kromosom tersebut.



**Gambar 3.1.** Roulette-Wheel<sup>[6]</sup>

### ➤ Rank Selection

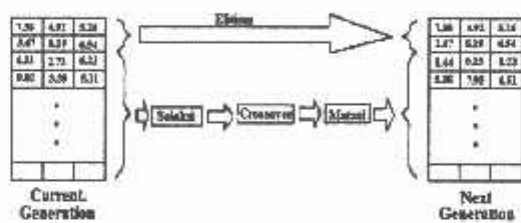
Apabila fitness yang dimiliki oleh suatu kromosom dalam populasi berbeda terlalu jauh dari kromosom lainnya maka hal ini dapat menjadi permasalahan. Misalnya bila kromosom terbaik mempunyai fitness yang menyebabkan besarnya tempat yang dimilikinya dalam *roulette wheel* sebesar 90% maka kromosom-kromosom yang lain akan mempunyai peluang yang terlalu kecil untuk diseleksi.

Rank selection pertama kali merangking populasi dan kemudian setiap kromosom diberi nilai fitness baru berdasarkan hasil rangking tersebut. Yang pertama akan mempunyai *fitness* 1, yang kedua akan mempunyai fitness 2 dan seterusnya sampai yang terakhir akan mempunyai *fitness* N. Dengan demikian semua kromosom akan mempunyai peluang untuk diseleksi..

### D. Elitism

Selama membuat populasi baru dengan crossover dan mutasi, kemungkinan akan terjadi kehilangan kromosom terbaik (*best/few best*). Elitism

adalah metode yang pertama kali meng-copy-kan kromosom terbaik (*best/few best*) kedalam populasi baru. Sisanya dikerjakan dengan cara biasa, yaitu melalui seleksi, *crossover* dan mutasi. Elitism dapat secara cepat meningkatkan performansidari Algoritma Genetika karena *elitism* menghindarkan hilangnya hilangnya solusi terbaik (*best / few best*) yang telah ditemukan. Ilustrasi kerja operator ini dapat digambarkan seperti pada gambar 3.3.

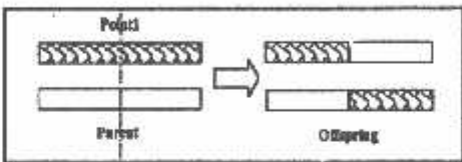


**Gambar 3.2.** Pembentukan *Next Generation* dalam Algoritma Genetika<sup>[6]</sup>

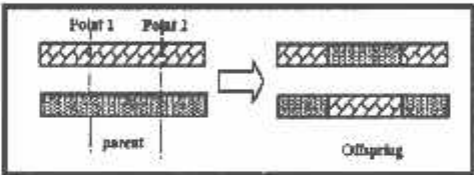
**E. Crossover (Pindah Silang)**

Fungsi dari *crossover* adalah menghasilkan kromosom anak dari kombinasi materi-msteri gen dua kromosom induk. Cara kerjanya dengan membangkitkan sebuah nilai random  $r_k$  dimana  $k = 1,2,...,POPSIZE$ . Probabilitas *crossover* ( $P_c$ ) ditentukan dan digunakan untukmengendalikan frekuensi operator *crossover*. Apabila nilai  $r_k < P_c$  maka kromosom ke-k terpilih untuk mengalami *crossover*. *Crossover* yang paling sederhana adalah *one point crossover*. Posisi titik persilangan (point) ditentukan secara random pada range satu sampai panjang kromosom. Kemudian nilai *offspring* diambil dari dua parent tersebut dengan batas titik persilangan tersebut. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.4.

Kemudian ditingkatkan lagi dengan menggunakan *two point crossover*. Penentuan posisi titik persilangan sama seperti sama seperti *one point crossover* sebelumnya. Pemilihan secara random dilakukan 2 kali. Kemudian nilai *offspring* diambil dari dua parent tersebut dengan batas dua titik persilangan tersebut. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.5.

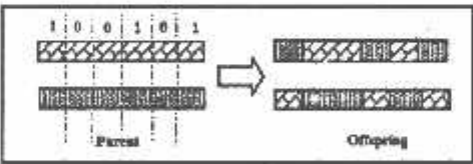


Gambar 3.3. Ilustrasi operator dengan *One Point Crossover*<sup>[6]</sup>



Gambar 3.4. Ilustrasi operator dengan *Two Point Crossover*<sup>[6]</sup>

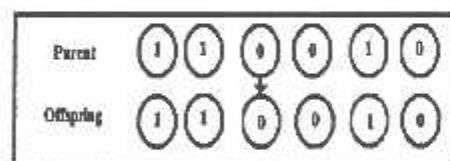
Untuk *crossover* uniform dibangkitkan suatu nilai random 0 dan 1 sepanjang jumlah kromosom untuk nilai loci. Jika nilai yang dibangkitkan mempunyai nilai 1 maka *allele* parent 2 dan *offspring* 2 untuk loci tersebut diambil dari *allele* parent 1 dan *offspring* 2 untuk loci tersebut diambil dari *allele* parent 2. Ilustrasi kerja operator ini digambarkan seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.5. Ilustrasi operator *crossover* dengan *uniform crossover*<sup>[6]</sup>

## F. Mutation (Mutasi)

Operator mutasi digunakan untuk memodifikasi satu atau lebih nilai gen dalam satu individu. Cara kerjanya dengan membangkitkan sebuah nilai random  $r_k$  dimana  $k = 1, 2, \dots, NVAR$  (panjang kromosom). Probabilitas mutasi ( $P_m$ ) ditentukan dan digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator mutasi. Apabila nilai random  $r_k < P_m$  maka gen ke- $k$  kromosom tersebut terpilih untuk mengalami mutasi. Mutasi dengan mengganti gen 0 dengan 1 atau sebaliknya gen 1 dengan 0. Biasanya disebut flip yaitu membalik nilai ke 1 atau 1 ke 0. Ilustrasi kerja operator untuk representasi string biner digambarkan pada gambar 3.7. Untuk bentuk representasi integer atau floating point, atau selain string biner, seperti gambar 3.8, proses mutasi terjadi apabila nilai  $r_k < P_m$  memenuhi maka gen ke- $k$  digantikan oleh suatu nilai random yang dibangkitkan pada range tertentu sesuai dengan pembentukan populasi awal.



**Gambar 3.6.** Ilustrasi operator mutasi untuk representasi string biner<sup>[6]</sup>

Untuk kromosom induk seperti gambar 3-8 diatas yaitu 5-1-7-8-9-2, proses mutasi adalah dibangkitkan sebuah nilai random  $r_k$ , [ $k = 1 \dots NVAR$ ]. Misalkan pada saat  $k = 3$  nilai  $r_3 < P_m$  maka gen ke-3 yang bernilai 7 akan bermutasi dengan gen hasil random pada range  $\{1 \dots x\}$  dan diperoleh nilai 4.



Maka bentuk kromosom barunya adalah 5-1-4-8-9-2. Dimana  $x$  adalah nilai sembarang integer.

Fungsi dari operator mutasi adalah untuk menghindari agar solusi masalah yang diperoleh bukan merupakan solusi optimum lokal. Seperti halnya pada operator *crossover*, tipe dan implementasi dari operator mutasi bergantung pada jenis pengkodean dan permasalahan yang dihadapi. Seberapa sering mutasi dilakukan dinyatakan dengan suatu probabilitas mutasi,  $P_m$ . Posisi elemen pada kromosom yang akan mutasi ditentukan secara random. Mutasi dikerjakan dengan cara melakukan perubahan pada elemen tersebut.

### 3.3. Konsep Metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithm* <sup>[4][5]</sup>

Sebuah pendekatan baru didasarkan pada *Strenght Pareto Evolutionary Algorithms* (SPEA) dikembangkan. Metode tersebut, berhubungan erat dengan Genetic Algorithm didasarkan pada generasi sebuah populasi eksternal. Kelompok solusi eksternal ini sesuai dengan  $P_{\text{known}}$  (pareto-optimal), tersedia pada masing-masing momen perhitungan. SPEA mengevaluasi sebuah kesesuaian individual tergantung pada jumlah vektor keputusan yang mendominasi sebuah populasi evolusioner, misalnya vektor keputusan yang tidak lebih baik dalam beberapa fungsi sasaran  $F_i$ , tetapi dengan fungsi sasaran buruk  $f_i$  untuk setidaknya satu nilai dari  $i$ . Solusi dikatakan Pareto-optimal (memiliki Pareto-Optimal front, atau sekumpulan solusi), jika dengan perubahannya tidak satupun fungsi sasaran dapat diperbaiki tanpa mengurangi seluruh lainnya. Semua solusi yang membentuk Pareto-Optimal front dikatakan sebagai nondominasi (oleh solusi lainnya).

### 3.3.1 Fungsi dan Tujuan (*Objective Functions*)

Untuk tujuan skripsi ini , asumsi berikut dipertimbangkan dalam formulasi problem :

- Biaya shunt capasitor / bank reaktor per kVAr adalah sama untuk keseluruhan busbar dari sitem daya
- Sistem daya dianggap hanya pada beban puncak

Didasar kan pada pertimbangan ini , terdapat empat fungsi sasaran antara lain

### 3.3.2 Investasi dalam Peralatan Kompensasi

$$F_1 = \sum_{i=1}^n k|B_i| \dots\dots\dots(3.9)$$

$$k = \begin{cases} \alpha & \text{if } 0 \leq B_i < B_m \\ \beta & \text{if } -B_m < B_i < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$F_1 \leq F_{1m}$$

Dimana

$F_{1m}$  = jumlah maksimum yang tersedia untuk investasi

$B_i$  = kompensasi pada busbar i diukur dalam kVAr

$B_m$  = nilai absolut jumlah kompensasi maksimum dalam kVAr

$\alpha$  = biaya per kVAr dari bank kapasitor

$\beta$  = biaya per kVAr dari bank reaktor

$n$  = jumlah busbar

### 3.3.3. Kerugian Daya Aktif

$$F_2 = P_g - P_l \geq 0 \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana

$F_2$  = kerugian daya aktif total dalam kW

$P_g$  = total daya aktif yang dihasilkan dalam kW

$P_l$  = total beban dari sistem dalam kW

### 3.3.4 Penyimpangan Tegangan Rata-rata

$$F_3 = \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - v_i^*|}{n} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana

$F_3$  = perbedaan tegangan rata-rata per unit (pu)

$v_i$  = tegangan aktual pada busbar i dalam (pu)

$v_i^*$  = tegangan yang diinginkan pada busbar i dalam (pu)

### 3.3.5 Penyimpangan Tegangan Maximum

$$F_4 = \max_i (v_i - v_i^*) = \|v - v^*\|_\infty \geq 0 \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana

$F_4$  = penyimpangan tegangan maksimum dari nilai yang diinginkan dalam ( pu)

$v \in R^n$  = vektor tegangan (tidak diketahui)

$v^* \in R^n$  = vektor tegangan yang diinginkan

Ringkasnya problem optimasi yang dipecahkan adalah sebagai berikut :

$$\min F = [F_1 \quad F_2 \quad F_3 \quad F_4]$$

Dimana

$$F = \left[ \sum_{i=1}^n B_i \quad P_g - P_l \quad \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - v_l^*|}{n} |v - v^*| \right] \dots \dots \dots (3.14)$$

Persamaan Aliran Daya

$$P_k = V_k \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \cos(\delta_k - \delta_i - \theta_{ki}) \dots \dots \dots (3.15)$$

$$Q_k = V_k \sum_{i=1}^n Y_{ki} V_i \sin(\delta_k - \delta_i - \theta_{ki}) \dots \dots \dots (3.16)$$

Di mana  $V_k$  adalah magnitudo tegangan pada node :  $y_{ki}$  adalah matriks masuk admitansi yang berhubungan dengan node k dan i;  $\delta_k$  adalah sudut fase tegangan pada node k;  $\theta_{ki}$  adalah matrik masuk admitansi yang berhubungan dengan node k dan i;  $P_k$  adalah daya aktif yang diinjeksi kepada node k;  $Q_k$  adalah daya reaktif yang diinjeksi kepada node k.

Untuk menampilkan jumlah kompensasi reaktif yang dialokasikan pada masing-masing busbar i, sebuah vektor B tidak diketahui, dikenal sebagai vektor keputusan , digunakan untuk menunjukkan ukuran masing-masing bank reaktif dalam sistem daya, misalnya

$$B = \left[ B_1 \quad B_2 \dots B_n \right], B_i \in \mathbb{R}, |B_1| \leq B_m$$

Himpunan solusi dari problem optimisasi multi-sasaran terdiri dari seluruh vektor keputusan B di mana vektor sasaran F yang berhubungan dapat diperbaiki pada beberapa dimensi tanpa mengurangi lainnya. Himpunan vektor keputusan ini

dikenal sebagai Pareto optimal diistilakan dengan  $P_{\text{know}}$ . Himpunan vektor sasaran  $F$  yang berhubungan dihitung dengan menggunakan persamaan 3.9 sampai dengan 3.13 untuk menekankan himpunan yang dikenal sebagai Optimal Pareto front, ditunjukkan oleh PF dengan Pareto Front  $PF_{\text{Known}}$  yang berhubungan, cukup dekat dengan solusi optimal sesungguhnya

Untuk memecahkan masalah pendekatan baru didasarkan pada SPEA. Pendekatan ini memperkenalkan beberapa aspek antara lain :

1. **Inisialisasi Heuristic.** Sebuah metode heuristic spesifik digunakan untuk menghasilkan populasi awal guna memperoleh individual yang dikompensasi dengan baik secara elektrik. Heuristic yang diajukan didasarkan pada penggunaan kompensasi pada busbar dengan sejumlah besar cabang dan profile tegangan yang jauh dari nilai yang diinginkan. Ini dilakukan dengan menggunakan metode yang diringkas sebagai berikut:

- a. Pilih jumlah total kompensasi  $B_{\text{tot}}$ .
- b. Untuk masing-masing busbar  $i$  dari sistem, hitung faktor  $K_i$  dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_i = \begin{cases} (V_i - V_i^*) I_i & \text{if } V_i < V_i^* \\ 0 & \text{if } V_i \geq V_i^* \end{cases} \dots\dots\dots (3.17)$$

di mana  $I_i$  adalah jumlah cabang yang terhubung kepada node  $i$ .  $K_i = 0$  menunjukkan bahwa tidak ada kompensasi reaktif yang ditentukan secara heuristic kepada busbar  $i$

- c. Normalisasi  $K_i$  dengan menggunakan

$$K_i' = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} \dots\dots\dots(3.18)$$

- d. Kompensasi masing-masing busbar  $i$  dengan  $B_i$  yang dihitung sebagai berikut:

$$B_i = K_i' B_{TOT} \dots\dots\dots(3.19)$$

**2. Dua Populasi Eksternal.** Jika hanya satu populasi eksternal digunakan, memungkinkan :

- a. menyimpan seluruh solusi Pareto, tetapi populasi ini mungkin menjadi terlalu besar dan populasi evolusioner kehilangan kepentingan genetic dalam proses pencarian, atau
- b. kesulitan menemukan solusi dengan menggunakan clustering untuk mempertahankan angka  $g$  dari solusi eksternal (pendekatan SPEA asli)

Dalam proposal baru ini, dua populasi eksternal disimpan, satu dengan semuanya solusi non dominasi dan lainnya dengan jumlah  $g$  maksimum dari individual non dominasi, ditentukan oleh cluster, yang berpartisipasi dalam proses evolusioner.

**3. Pembekuan.** Didasarkan pada teknik Simulated Annealing, probabilitas (mutasi  $P_m$ , persilangan  $P_c$  dan penggunaan optimisasi local  $P_{lo}$ ) perubahan dengan angka generasi , nilai kesesuaian, dibekukan pada akhir perhitungan untuk memperbaiki konvergensi atau menggunakan persilangan dan mutasi dimana operator genetic standar diaplikasikan

Dua populasi eksternal disimpan, satu dengan semuanya solusi non dominasi dan lainnya dengan jumlah  $g$  maksimum dari individual non dominasi, ditentukan oleh cluster, yang berpartisipasi dalam proses evolusioner.

4. **Pembekuan.** Didasarkan pada teknik Simulated Annealing, probabilitas (mutasi  $P_m$ , persilangan  $P_c$  dan penggunaan optimisasi local  $P_{lo}$ ) perubahan dengan angka generasi, nilai kesesuaian, dibekukan pada akhir perhitungan untuk memperbaiki konvergensi atau menggunakan persilangan dan mutasi dimana operator genetic standar diaplikasikan

### 3.4. Algoritma Program<sup>[4]</sup>

#### 3.4.1 Algoritma Pemecahan Masalah

1. Masukan Data Beban  $P$ ,  $Q$ , Data Saluran  $R$ ,  $X$ , Daya Dasar ( $P$ ) dan Tegangan Dasar ( $V$ ) dan Data Kapasitas Kapasitor
2. Melakukan proses Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Newton Raphson
3. Mengecek apakah ada pelanggaran tegangan
  - a. 'Ya' lanjutkan ke langkah 4
  - b. 'Tidak' Langsung ke langkah 5
4. Melakukan Sub Routine Algoritma *SPEA*
5. Cetak hasil
6. Stop

### **3.4.2 Algoritma Program Pemecahan Kompensasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Strength Pareto Evolutionary Algorithm**

1. Masukan Data Beban P, Q, Data Saluran R, X, Daya Dasar (P) dan Tegangan Dasar (V) dan Data Kapasitas Kapasitor
2. Menentukan Parameter SPEA yaitu. Maksimum Generasi (Max Gen), Jumlah populasi (Pop Size) Probabilitas Crossover (Pc), Probabilitas Mutasi (Pm), dan panjang kromosom tiap individu (NVAR)
3. Melakukan Proses Inisialisasi Populasi Dengan Metode Heuristic
4. Copy Non Dominasi Member Ke Pknow dan SPknow
5. Menghilangkan Individu Diantara SPknow Yang Didominasi Oleh Anggota Dari SPknow
6. Menghilangkan Solusi Diantara Pknow Yang Didominasi Oleh Anggota-anggota SPknow
7. Jika Number Dari Non Dominasi Eksternal Di Pknow Mencapai g Maksimum Clastering Diaplikasikan Untuk Mengurangi Populasi Eksternal
8. Hitung Fitness Setiap Individu Pada Pknow Menggunakan SPEA Prosuder Fitness
9. Melakukan Proses Seleksi
10. Melakukan Proese Crossover
11. Melakukan Proses Mutasi
12. Apakah gen maks sudah terpenuhi
  - a. “Ya” Maka Lanjutkan ke langkah selanjutnya



- b. “Tidak” hitung Gen+1 kembali ke langkah 4

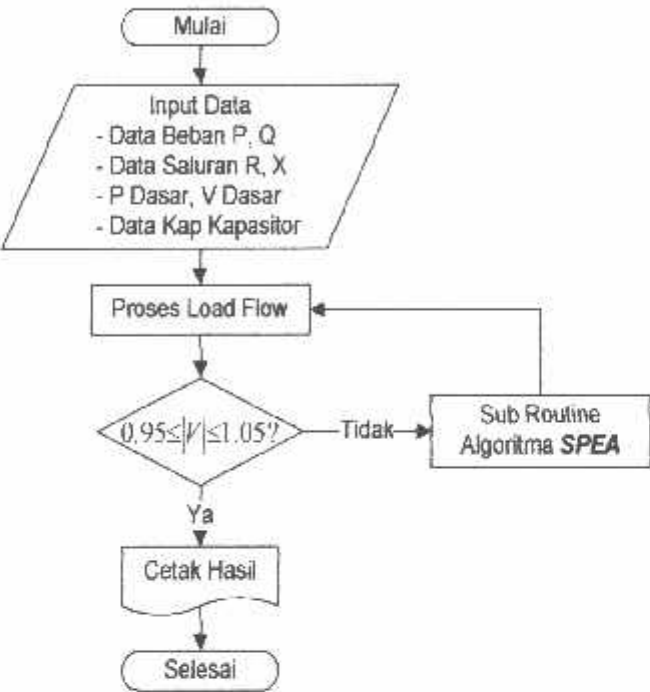
13. Stop

### 3.4.3 Algoritma Program Fitness (SPEA)

1. Baca Data Kromosom
2. Ubah Data beban Dari Data Kromosom
3. Melakukan Proses *Load Flow*
4. Hitung Nilai F1 (*Investment Cost*) Dengan Menggunakan Persamaan (3.9) dan (3.10),
5. Hitung Nilai F2 (*Active Power Losses*) Dengan Menggunakan Persamaan (3.11),
6. Hitung Nilai F3 (*Average Voltage Deviation* ) Dengan Menggunakan Persamaan (3.12)
7. Hitung Nilai F4 (*Max Voltage Deviation* ) Dengan Menggunakan Persamaan (3.13)
8. Stop

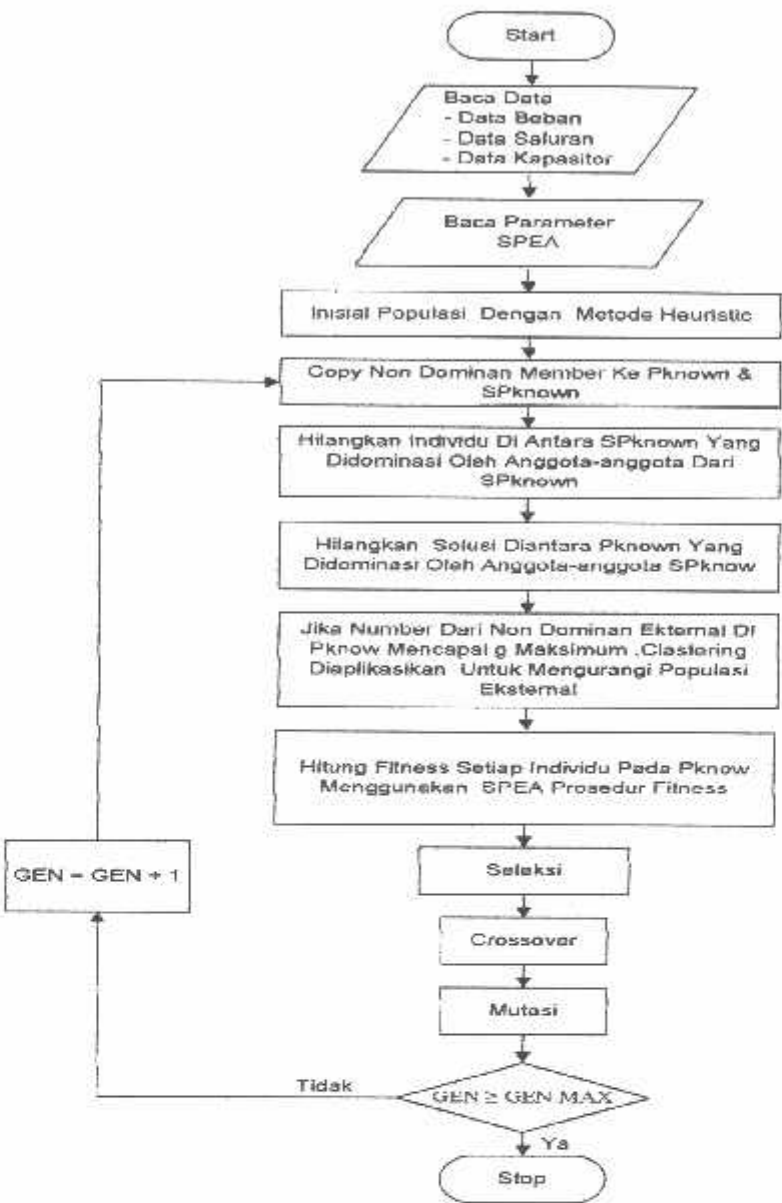
3.4.4 Flowchart Program<sup>[4]</sup>

3.4.4.1 Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah



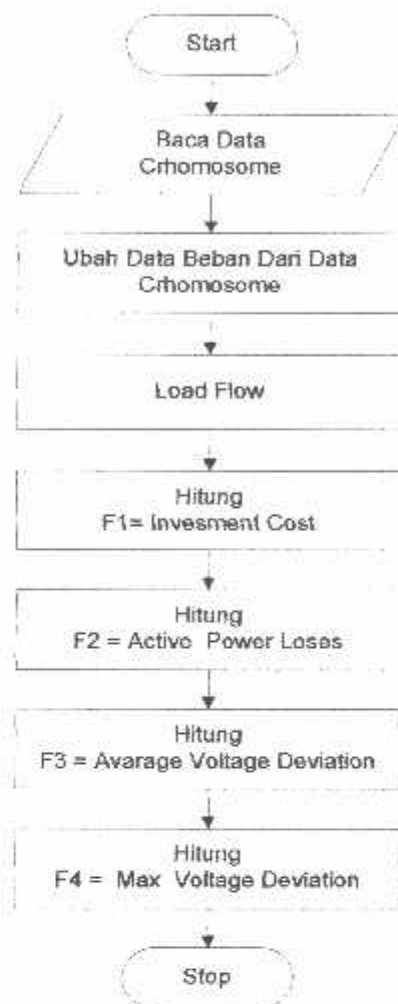
Gambar 3-7  
Flowchart Algoritma Pemecahan Masalah

3.3.4.2. Flowchart Algoritma *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*



Gambar 3-8  
Flowchart Metode *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*

### 3.3.4.3. Flowchart Algoritma Fitness (SPEA)



**Gambar 3-9**  
**Flowchart Algoritma Fitness (SPEA)**

**BAB IV**  
**KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI**  
**MENGUNAKAN METODE *STRENGTH PARETO***  
***EVOLUTIONARY ALGORITHM* PADA GI SENGKALING**  
**PENYULANG PUJON**

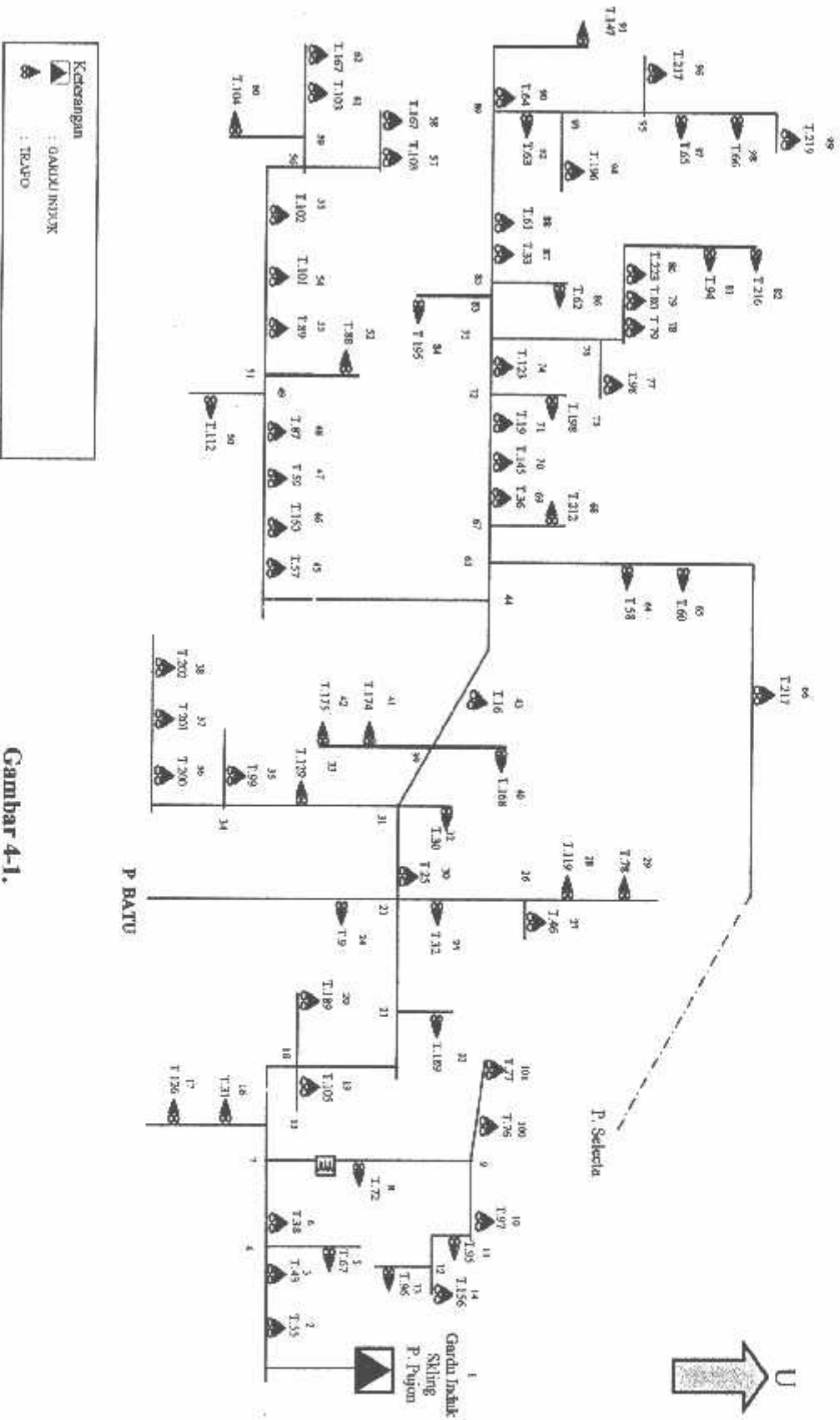
**4.1. Sistem Distribusi Tenaga listrik 20kV GI Sengkaling Penyulang Pujon**

Dalam perhitungan aliran daya Data yang diambil dari GI Sengkaling Malang yang melayani 6 (enam) buah penyulang dengan 2 (dua) buah Trafo yang masing-masing 150/20kV-30MVA dan 150/20kV-30MVA.

Namun pada skripsi ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang Pujon. Sistem Distribusi Radial GI Sengkaling yang memakai tegangan Distribusi 20kV. Untuk menyelesaikan perhitungan Aliran Daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* sesuai dengan gambar 4-1 yang akan dianalisis. Agar memudahkan perhitungan maka digunakan system per-unit (pu),dimana dasar yang digunakan:

1. Tegangan Dasar : 20kV
2. Daya Dasar : 100kVA

Selanjutnya bus-bus yang diklasifikasikan, yaitu busbar GI Sengkaling diasumsikan sebagai *slack bus*, sedangkan bus-bus yang lain sepanjang saluran Radial sebagai *load bus*. Dalam hal ini tidak ada bus generator karena sepanjang saluran tidak terdapat pembangkitan.



Gambar 4-1.  
Single Line Diagram Penyulang Pujon Sebelum  
Penempatan Kapasitor

4.2. Data Saluran

Jaringan distribusi Penyulang Pujon menggunakan kabel saluran udara dengan spesifikasi yang seperti pada tabel.4-1

Tabel 4-1  
Spesifikasi Saluran

Jenis Konduktor	Penampang nominal (mm <sup>2</sup> )	Impendansi saluran (Ω /km)
AAAC	150	0.2162 + j 0.3305
AAAC	120	0.2688 + j 0.3376
AAAC	70	0.4608 + j 0.3572
AAAC	50	0.6452 + j 0.3678
AAAC	35	0.9217 + j 0.3790

Dari data spesifikasi saluran pada penyulang pujon diketahui bahwa jenis konduktor yang digunakan adalah AAAC (*all-aluminium-alloyconductors*) dengan penampang nominal 150 mm<sup>2</sup> dan impedansi saluran 0.2162 + j0.3305 Ω /km.

Untuk perhitungan Impedansi saluran diberikan contoh pada *node* 1 ke 2 sebagai berikut:

Jarak antara node dari 1 ke 2 dengan panjang = 580.3 m =0.5803 km

$$R = 0.5803 \text{ km} \times 0.2162 \text{ } \Omega/\text{km} = 0.1255 \text{ } \Omega$$

$$X = 0.5803 \text{ km} \times 0.3305 \text{ } \Omega/\text{km} = 0.1918 \text{ } \Omega$$

Selanjutnya untuk contoh perhitungan Impedansi Saluran dalam *per-unit* (*pu*) pada *node* 1 ke 2 sebagai berikut:

**Ditentukan :**

$$V_{\text{dasar}} = 20 \text{ kV}$$

$$P_{\text{dasar}} = 100 \text{ kVA}$$

**Untuk mencari  $Z$  (impedansi) dasar :**

$$Z = \frac{V_{\text{dasar}}^2}{P_{\text{dasar}}} = \frac{(\text{kV})^2}{\text{kVA}}$$

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{20^2}{100} = 4, \text{ pu}$$

**Untuk merubah impedansi dalam *per-unit* (*pu*)**

Dari hasil perhitungan impedansi saluran diatas, pada node 1 ke node 2

diketahui nilai :

$$R = 0,1255 \, \Omega$$

$$X = 0,1918 \, \Omega$$

Untuk merubah  $Z_{1,2}$  (impedansi pada nomor saluran 1) dalam *pu*

$$Z_{1,2} = \frac{0,1255 + j0,1918}{4} = 0,03138 + j0,04795 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama seperti pada contoh diatas maka diperoleh hasil seperti pada tabel 4-2.



**Tabel 4-2**  
**Data Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Pujon**

No Saluran	Node		Panjang (m)	Impedansi Saluran			
	Dari	Ke		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	R (pu)	X (pu)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918	0.03138	0.04795
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735	0.07743	0.11838
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855	0.04670	0.07138
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282	0.00463	0.00705
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258	0.03693	0.05645
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884	0.11258	0.17210
7	7	8	154.4	0.0334	0.051	0.00835	0.01275
8	8	9	414.5	0.0896	0.137	0.02240	0.03425
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963	0.04845	0.07408
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532	0.02505	0.03830

Tabel 4-2 Selanjutnya untuk No saluran 11-100 Dapat dilihat pada Lampiran

### 4.3. Pembebanan Sistem 20 kVPenyulang Pujon

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada node tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan, dengan mengasumsikan factor daya 0,86.

Dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada *Node 2*

Kapasitas Trafo = 150 kVA

Beban Gardu = 35%

Factor Daya =  $\cos \phi = 0,86$

$\sin \phi = 0,5102$

Pembebanan =  $150 \times 35\% = 52 \text{ kVA}$

Beban Aktif ( $P_2$ ) =  $52 \times \cos \phi = 52 \times 0,86 = 44,7200 \text{ kW}$

Beban Reaktif ( $Q_2$ ) =  $52 \times \sin \phi = 52 \times 0,5102 = 26,5304 \text{ kVAR}$

**Tabel 4-3**  
**Data Hasil Perhitungan Pembebanan Sistem 20kV Penyulang Pujon**

No Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan			Type Bus
			S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	-	-	0	0.000	0.000	Slack
2	T55	Jl Raya Ngandat	52	44.720	26.530	Load
3	T43	Jl Raya Mojorejo	70	60.200	35.714	Load
4	-	-	0	0.000	0.000	Load
5	T67	Dk Beji	43	36.980	21.939	Load
6	T38	Jl Raya Beji	32	27.520	16.326	Load
7	-	-	0	0.000	0.000	Load
8	T72	Emanuel temas	63	54.180	32.143	Load
9	-	-	0	0.000	0.000	Load
10	T97	Ds Temas Klerek	142	122.120	72.448	Load

Tabel 4-3 Selanjutnya untuk No Node 11-101 Dapat dilihat pada Lampiran A-1

#### 4.4. Prosedur Pelaksanaan Program Perhitungan

Prosedur menjalankan program perhitungan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dapat dilakukan sebagai berikut

##### 1. Tampilan Utama Program



**Gambar 4-2. Tampilan Utama Program**

2. Tekan tombol *New* untuk memasukkan data baru atau tekan *Open* untuk data yang tersimpan

Tampilkan Data

General | Data Bus | Data Saluran | Data Generator

Jumlah Bus: 101

Jumlah Saluran: 100

Tegangan Dasar: 20 kV

Daya Dasar: 100 kVA

Parameter Saluran: John

New Close

Gambar 4-3. Tampilan Inputan Data (General)

Tampilkan Data

General | Data Bus | Data Saluran | Data Generator

Bus	abV (pu)	sudV (deg)	Pg (kW)	Qg (kVAR)	PL (kW)	QL (kVAR)	Cap (ohm)	Type Bus
1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	44.72	26.53	0	3
3	0	0	0	0	90.2	35.714	0	3
4	0	0	0	0	0	0	0	3
5	0	0	0	0	36.98	21.939	0	3
6	0	0	0	0	27.52	16.326	0	3
7	0	0	0	0	0	0	0	3
8	0	0	0	0	54.18	32.143	0	3
9	0	0	0	0	0	0	0	3
10	0	0	0	0	122.14	72.448	0	3
11	0	0	0	0	79.98	47.449	0	3
12	0	0	0	0	0	0	0	3
13	0	0	0	0	68.8	40.816	0	3
14	0	0	0	0	0	0	0	3
15	0	0	0	0	0	0	0	3

New Close

Gambar 4-4. Tampilan Inputan Data (Data Pembebanan)

Tampilan Data

General   Data Bus   Data Saluran   Data Generator										
No	Da	Ka	R (ohm)	X (ohm)	Lc (ohm)	Ti	Tu	Su (deg)	Kap (kVA)	
1	1	2	0.1235	0.7918	0	0	0	C	10000	
2	2	3	0.3092	0.4735	0	0	0	F	10000	
3	3	4	0.1858	0.2655	0	0	0	C	10000	
4	4	5	0.0185	0.0282	0	0	0	C	10000	
5	4	6	0.1477	0.2259	0	0	0	C	10000	
6	6	7	0.4903	0.6894	0	0	0	C	10000	
7	7	8	0.0334	0.051	0	0	0	C	10000	
8	8	9	0.3896	0.137	0	0	0	C	10000	
9	9	10	0.1938	0.2963	0	0	0	C	10000	
10	10	11	0.1002	0.1532	0	0	0	C	10000	
11	11	12	0.3977	0.1494	0	0	0	C	10000	
12	12	13	0.306	0.4708	0	0	C	C	10000	
13	12	14	0.2668	0.4075	0	0	C	C	10000	
14	13	15	0.2691	0.4114	0	0	C	C	10000	

Next Close

Gambar 4-5. Tampilan Inputan Data (Data Saluran)

3. Tekan Tombol **Next** kemudian tekan tombol **LF Awal** untuk melihat hasil perhitungan aliran daya *Newton Raphson* sebelum kompensasi.

Hasil Loadflow

LF Awal   Aliran Daya   Summary   Parameter   LF Akhir   Aliran Daya   Summary   Grafik V   Hasil Program										
Bus	absV (pu)	angV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)	Su (pu)	Type Bus		
70	0.94913	-1.37277	0.000	0.000	40.420	22.979	0.300	3		
71	0.94837	-1.33530	0.000	0.000	71.380	42.347	0.300	3		
72	0.94035	-1.33404	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	3		
73	0.94834	-1.33520	0.000	0.000	47.300	28.061	0.300	3		
74	0.94806	-1.34353	0.000	0.000	50.300	50.571	0.300	3		
75	0.94786	-1.34960	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	3		
76	0.94731	-1.36636	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	3		
77	0.94728	-1.36706	0.000	0.000	60.200	35.714	0.000	3		
78	0.94717	-1.37051	0.000	0.000	105.790	62.755	0.000	3		
79	0.94708	-1.37280	0.000	0.000	40.420	22.979	0.000	3		
80	0.94698	-1.37508	0.000	0.000	13.760	8.163	0.000	3		
81	0.94686	-1.37898	0.000	0.000	46.440	27.551	0.000	3		
82	0.94676	-1.38204	0.000	0.000	66.220	39.285	0.000	3		
83	0.94764	-1.05603	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3		
84	0.94753	-1.05618	0.000	0.000	24.340	14.736	0.000	3		

Hitung LF Awal Close

Gambar 4-6. Tampilan Hasil Loadflow Sebelum Kompensasi

Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Parameter | LF Akhir | Aliran Daya | Summary | Grafik V | Hasil Program

No	Das	Ke	P (kW)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)	Des	Ke	P (kW)	Q
1	1	2	3943.982	2427.659	197.499	121.383	2	1	-3543.738	-2
2	2	3	3698.518	2390.822	195.255	120.051	3	2	-3692.247	-2
3	3	4	3622.047	2330.231	192.231	116.238	4	3	-3612.532	-2
4	4	5	3698.518	2192.9	188.5	111.20	5	4	-3698.0	-2
5	4	6	3775.552	2293.750	190.367	117.118	6	4	-3768.174	-2
6	6	7	3740.554	2266.144	188.976	116.280	7	6	-3718.464	-2
7	7	8	411.223	244.076	20.900	12.717	8	7	-411.204	-2
8	8	9	357.024	211.905	18.146	11.042	9	8	-356.983	-2
9	9	10	270.965	160.012	13.774	8.362	10	9	-270.915	-2
10	10	11	143.736	88.287	7.525	4.604	11	10	-143.787	-2
11	11	12	68.807	40.626	3.498	2.129	12	11	-68.805	-2
12	12	13	68.805	40.624	3.498	2.129	13	12	-68.800	-2
13	12	14	-0.000	0.000	-0.000	0.000	14	12	0.000	-2
14	7	15	-3307.261	-900.174	168.370	103.563	15	7	-3296.773	-2

Hitung LF Awal Done

Gambar 4-7. Tampilan Hasil Aliran Daya Sebelum Kompensasi

Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Parameter | LF Akhir | Aliran Daya | Summary | Grafik V | Hasil Program

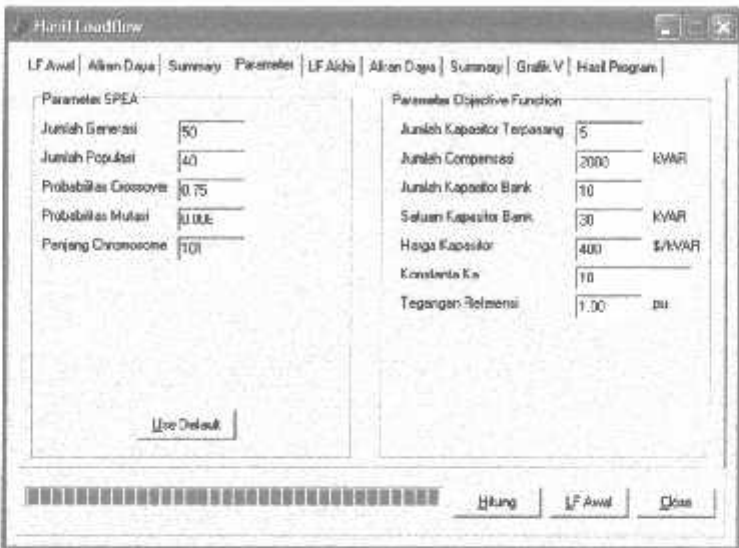
Summary Loadflow

Jumlah Pembangkitan	3543.982+ j2427.659	kVA
Jumlah Pembebanan	3820.120+ j2256.297	kVA
Jumlah Rugi-Rugi	125.862+ j151.362	kVA
Iterasi	3	
Waktu Hitung	0.0.541	

Hitung LF Awal Done

Gambar 4-8. Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Sebelum Kompensasi

4. Kemudian tekan tombol **Parameter dan Use Default** untuk melihat parameter dari *SPEA* dan parameter *Objective Function* yang digunakan.



Gambar 4.9. Tampilan Parameter Yang Digunakan

5. Kemudian pilih tombol **Hitung** untuk memperoleh hasil perhitungan Loadflow dan Aliran Daya *Newton Raphson* setelah kompensasi.

The screenshot shows the same "Hasil Loadflow" window, but now displaying the results of the calculation. The "Hitung" button has been pressed, and the data is shown in a table with 15 rows (buses) and 10 columns. The table includes voltage magnitude (V), voltage angle (δ), active power (P), reactive power (Q), and other parameters for each bus.

Bus	V (pu)	δ (deg)	Pg (kW)	Qg (KVAR)	PL (kW)	QL (KVAR)	Supn (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	3918.366	1128.576	0.000	0.000	0.000	1
2	0.98823	-0.18792	0.000	0.000	44.720	26.530	0.000	3
3	0.98394	-0.30304	0.000	0.000	80.200	35.714	0.000	3
4	0.99141	-0.43235	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
5	0.99141	-0.43244	0.000	0.000	36.900	21.839	0.000	3
6	0.98944	-0.53434	0.000	0.000	27.520	16.326	0.000	3
7	0.98252	-0.94607	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
8	0.98346	-0.94737	0.000	0.000	54.180	32.143	0.000	3
9	0.98030	-0.95240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
10	0.98305	-0.85968	0.000	0.000	122.120	72.448	0.000	3
11	0.98297	-0.96175	0.000	0.000	79.980	47.449	0.000	3
12	0.98294	-0.96268	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
13	0.98284	-0.96262	0.000	0.000	68.800	40.816	0.000	3
14	0.98294	-0.96268	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
15	0.98053	-1.01869	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3

Gambar 4-10. Tampilan Hasil Setelah Kompensasi

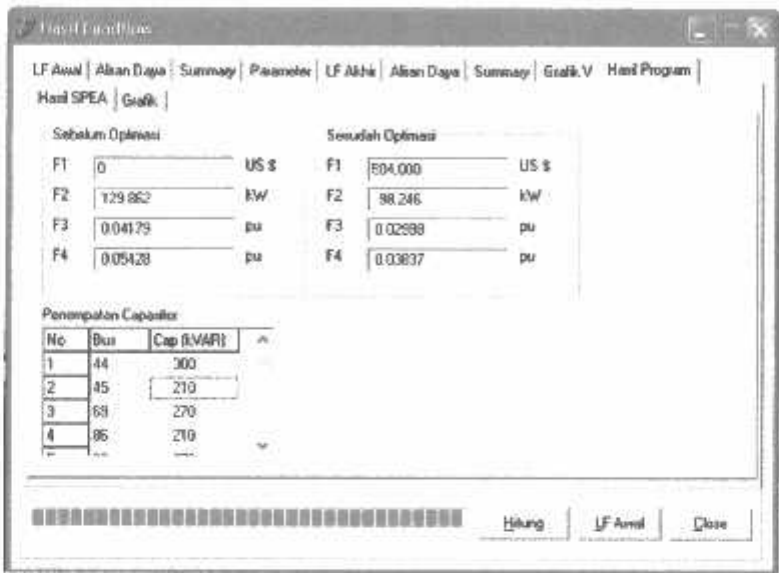
No	Dari	Ke	P (MW)	Q (MVAR)	Angle (A)	Angle (A)	Dari	Ke	P (MW)	Q (MVAR)	Angle (A)
1	1	2	3918.366	11285.576	190.918	56.423	2	1	-3918.366	-11285.576	190.918
2	2	3	3868.430	1094.073	193.680	65.097	3	2	-3868.430	-1094.073	193.680
3	3	4	3795.672	1039.160	130.602	53.264	4	3	-3795.672	-1039.160	130.602
4	4	5	36.980	21.939	1.857	1.120	5	4	-36.980	-21.939	1.857
5	4	6	375.371	1006.032	186.805	52.163	6	4	-375.371	-1006.032	186.805
6	5	7	3710.185	981.042	197.422	51.325	7	5	-3710.185	-981.042	197.422
7	7	8	411.222	244.076	20.720	12.716	8	7	-411.222	-244.076	20.720
8	8	9	257.022	211.902	17.990	11.041	9	8	-257.022	-211.902	17.990
9	9	10	270.964	160.811	12.665	6.381	10	9	-270.964	-160.811	12.665
10	10	11	140.704	80.207	7.500	4.604	11	10	-140.704	-80.207	7.500
11	11	12	69.307	40.626	3.468	2.129	12	11	-69.307	-40.626	3.468
12	12	13	69.305	40.624	3.468	2.129	13	12	-69.305	-40.624	3.468
13	12	14	0.000	0.000	0.000	-0.000	14	12	0.000	0.000	0.000
14	7	15	3269.960	713.971	166.702	38.610	15	7	-3269.960	-713.971	166.702

Gambar 4-11. Tampilan Hasil Aliran Daya Setelah Kompensasi

Summary Loadflow		
Jumlah Pembangkitan	3918.366 + j1288.576	MVA
Jumlah Pembebanan	3023.120 + j2258.297	MVA
Jumlah Rugi-Rugi	58.286 + j22.279	MVA
Iterasi	3	
Waktu Hitung	0:0:2.30	

Gambar 4-12. Tampilan Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Rugi-rugi Setelah Kompensasi

6. Kemudian pilih tombol **Hasil Program** untuk mengetahui hasil penempatan kapasitor pada saluran.



Gambar 4-13. Hasil Penempatan Kapasitor Dengan Metode *SPEA*

4.6. Analisis Perhitungan

Perhitungan penempatan kapasitor diawali dengan melakukan studi aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson*. Studi aliran daya dilakukan untuk mengetahui harga tegangan dan sudut fasa tiap-tiap bus, arus yang mengalir pada saluran, dan aliran daya tiap saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan, barulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor terlebih dahulu menentukan rugi daya saluran terbesar yang digunakan sebagai input untuk menjalankan metode *Strength Pareto Evolutionary Algorithm* agar kapasitor dapat diletakan pada lokasi yang memberikan profil tegangan yang paling optimum.



Perhitungan diawali dengan menampilkan *single line diagram* dari penyulang yang mewakili keadaan sistem yang sesungguhnya. Dari gambar 4-1 diperlihatkan *single line diagram* dari penyulang Pujon. Pada penyulang ini jumlah bus dan jumlah saluran masing-masing adalah:

- Slack bus                      = 1
- Load bus                      = 100
- Jumlah saluran                = 100

Setelah dilakukan analisis aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson* maka diperoleh profil tegangan tiap-tiap bus, dan aliran daya tiap saluran seperti pada table 4-4 sampai tabel 4-5

**Tabel 4-4.**  
**Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon**  
**Sebelum Kompensasi**

Bus	Tegangan Abs (pu)	Sudut $V'$ (deg)
1	1.00000	0.00000
2	0.99760	-0.06503
3	0.99174	-0.22509
4	0.98826	-0.32095
5	0.98826	-0.32104
6	0.98554	-0.39650
7	0.97732	-0.62770
8	0.97725	-0.62962
9	0.97710	-0.63441
10	0.97684	-0.64148

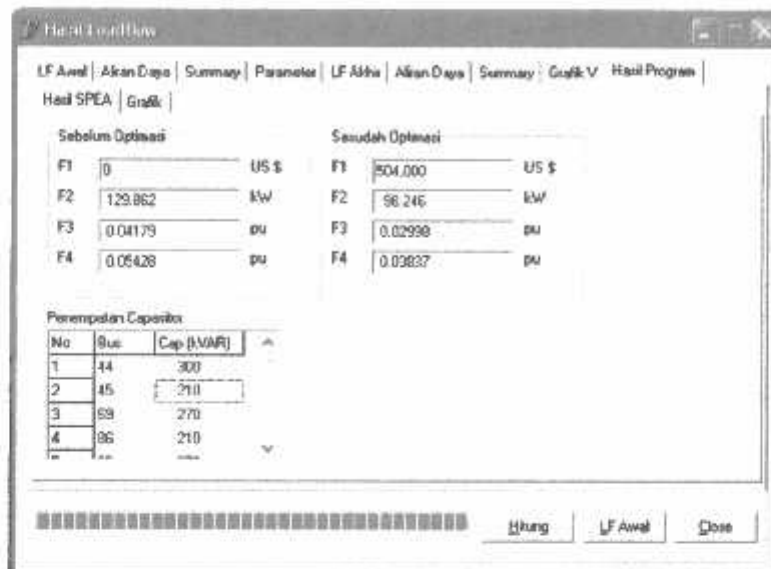
Tabel 4-4 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 4-5**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon**  
**Sebelum Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)	Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke			Dari	Ke		
1	2	3949.982	2427.659	2	1	-3943.238	-2417.352
2	3	3898.518	2390.822	3	2	-3882.247	-2365.945
3	4	3822.047	2330.231	4	3	-3812.532	-2315.690
4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
4	6	3775.552	2293.750	6	4	-3768.174	-2282.470
6	7	3740.654	2266.144	7	6	-3718.484	-2232.252
7	8	411.223	244.078	8	7	-411.204	-244.048
8	9	357.024	211.905	9	8	-356.983	-211.843
9	10	270.965	160.812	10	9	-270.915	-160.735
10	11	148.795	88.287	11	10	-148.787	-88.275

Tabel 4-5 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran.

Dari hasil analisa diatas dapat disimpulkan bahwa penyulang Pujon perlu dipasang kapasitor untuk menaikkan profil tegangan yang dianggap kritis yang beroperasi diluar batas yang diijinkan oleh PLN (0.95% - 1.05%) yang terjadi pada bus 70-99. dan mengurangi rugi-rugi daya saluran. Seperti terlihat pada gambar 4-14 tampilan hasil perhitungan dengan metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithms (SPEA)*



**Gambar 4-14**

### **Hasil Penempatan Dengan Metode *Strenght Pareto Evolutionary Algorithms***

Dari gambar 4-14 diatas dapat dilihat bahwa kapasitor dipasang pada node 44,45,69,86, dan 88 dengan kapasitas masing-masing sebesar 300,210,270,210 dan 270 kVAR.

Jumlah Investasi peralatan dalam kompensasi daya reaktif sebelum penempatan kapasitor diasumsikan nol ,dan sesudah penempatan kapasitor jumlah investasi peralatan dalam kompensasi daya reaktif sebesar 504.000 US\$

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor diperoleh profil tegangan dan aliran daya tiap saluran seperti pada tabel 6 sampai tabel 7

**Tabel 4-6**  
**Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon**  
**Setelah Kompensasi**

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut V (rad)
1	1.00000	0.00000
2	0.99823	-0.08752
3	0.99394	-0.30304
4	0.99141	-0.43235
5	0.99141	-0.43244
6	0.98944	-0.53434
7	0.98352	-0.84607
8	0.98346	-0.84797
9	0.98330	-0.85240
10	0.98305	-0.85968

Tabel 4 -6 selanjutnya dapat diliha pada lampiran.

**Tabel 4-7**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon**  
**Setelah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)	Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke			Dari	Ke		
1	2	3918.366	1128.576	2	1	-3913.150	-1120.603
2	3	3868.430	1094.073	3	2	-3855.872	-1074.874
3	4	3795.672	1039.160	4	3	-3788.351	-1027.971
4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
4	6	3751.371	1006.032	6	4	-3745.704	-997.368
6	7	3718.185	981.042	7	6	-3701.181	-955.047
7	8	411.222	244.076	8	7	-411.202	-244.045
8	9	357.022	211.902	9	8	-356.982	-211.841
9	10	270.964	160.811	10	9	-270.914	-160.735
10	11	148.794	88.287	11	10	-148.787	-88.275

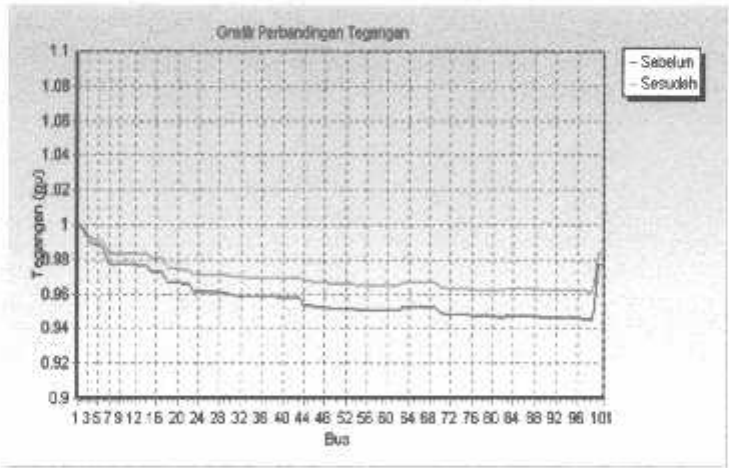
Tabel 4 -7 selanjutnya dapat dilihat pada lampiran.

Setelah ditentukan penempatan kapasitor pada jaringan 20 kV Sistem Distribusi Radial Penyulang Pujon Gardu Induk Sengkaling dengan menggunakan metode *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*, maka didapatkan beberapa hasil pada tabel 4-8:

**Tabel 4-8**  
**Hasil Program Metode *Strength Pareto Evolutionary Algorithm***

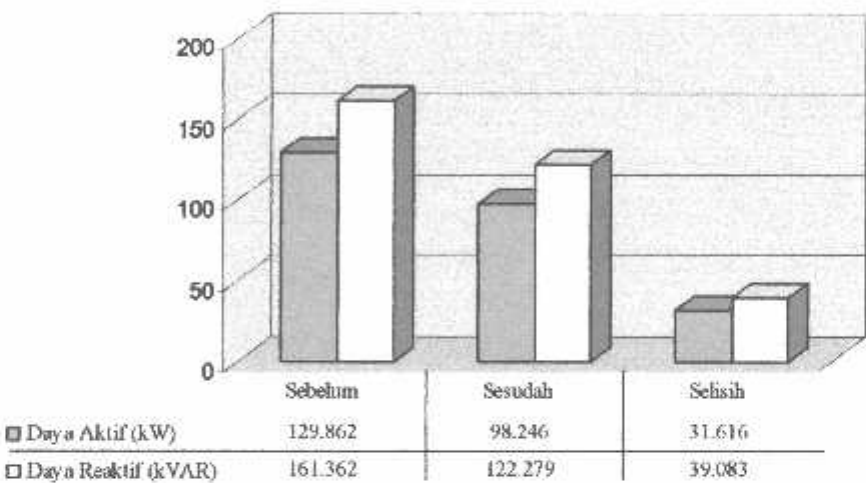
No		Sebelum	Sesudah	
1	Lokasi dan kapasitas,kapasitor		Bus	Kapasitor (kVAR)
			44	300
			44	210
			69	270
			86	210
			88	270
2	Tegangan Terendah Pada Bus 99 (pu)	0.94572	0.96163	
3	Rugi Daya Aktif (kW)	129.862	98.246	
	Pengurangan Daya (%)		24.34 %	
	Rugi DayaReaktif (kVAR)	161.362	122.279	
	Pengurangan Daya (%)		24.22%	

**Grafik 4-1.** Tegangan Tiap-Tiap Bus Terhadap Asumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum dan Sesudah Kompensasi.



Dari grafik 4-1 terlihat bahwa tegangan terendah terjadi pada 99 sebesar 0.94572 pu dan setelah kompensasi naik menjadi 0.96163 pu. Batas tegangan yang diijinkan oleh PLN adalah sebesar 0.95 pu sampai 1.05 pu.

**Grafik 4-2. Rugi-Rugi Saluran Sebelum dan Sesudah Kompensasi**



Dari grafik 4-2 terlihat bahwa penurunan rugi daya aktif adalah 31.616 kW dari 129.862 kW menjadi 98.246 kW sehingga terjadi penurunan sebesar 24.34 %, Sedangkan untuk daya reaktif juga terjadi penurunan sebesar 28.308 kVAR dari 161.362 kVAR menjadi 122.279 kVAR sehingga terjadi penurunan sebesar 24.22 %.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis mengenai penentuan lokasi, kapasitas, dan setting kapasitor yang optimal pada sistem distribusi 20 kV dengan menggunakan metode *Streght Pareto Evolutionary Algorithm* dari uji coba program, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Streght Pareto Evolutionary Algorithm* , letak kapasitor yang optimal terletak pada kapasitor dipasang pada node 44,45,69,86, dan 88 dengan kapasitas masing-masing sebesar 300,210,270,210 dan 270 kVAR. Jumlah Investasi peralatan dalam kompensasi daya reaktif sebelum penempatan kapasitor diasumsikan nol ,dan sesudah penempatan kapasitor jumlah investasi peralatan dalam kompensasi daya reaktif sebesar 504.000 US\$
2. Dari hasil perhitungan aliran daya sebelum kompensasi dengan metode *Newton Raphson* pada penyulang Pujon, tegangan yang beroperasi diluar batas yang diijinkan (0.95% - 1,05%), tidak terjadi pada semua bus. Tegangan terendah saluran yang terjadi sebesar 0.94572 pu atau sebesar 18.9144 kV pada bus 99 dan setelah kompensasi diperbaiki menjadi 0.96163 pu atau sebesar 19.2326 kV.
3. Besarnya penurunan rugi-rugi daya setelah kompensasi dengan metode *Streght Pareto Evolutionary Algorithm* : rugi daya aktif sebesar 24.34 % dari 129.862 kW menjadi 98.246 kW , dan daya reaktif sebesar 24.22 % dari 161.362 kVAR menjadi 122.279 kVAR.

## 5.2 Saran

Penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi primer tipe radial dengan menggunakan metode *Streght Pareto Evolutionary Algorithm* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada maupun untuk perencanaan perluasan jaringan.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Marsudi Djiteng," Operasi sistem tenaga Listrik", Balai Penerbit Dan Humas ISTN, 1990.
  - [2]. Basri Hasan, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik".
  - [3]. Stevenson William D, Jr. "Analisa Sistem Tenaga Listrik", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1993.
  - [4]. Benjamin Baran ,Jose Vallejos , Rodrigo .Ramos ,Ubaldo Fernandez  
"Multi-Objective Reactive Power Compensation" National Computing Center (CNC) of the National University Of Asuncion (UNA) Paraguay 2001
  - [5]. E Zitzler and L Thiele "Multiobjective Evolutionary Algorithms:A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach" *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol 3 no 4, November 1999
-

# Lampiran

---

Tabel 4-2  
Data Hasil Perhitungan Saluran Penyulang Pujon

No Saluran	Node		Panjang (m)	Impedansi Saluran			
	Dari	Ke		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	R (pu)	X (pu)
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918	0.03138	0.04795
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735	0.07743	0.11838
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855	0.04670	0.07138
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282	0.00463	0.00705
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258	0.03693	0.05645
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884	0.11258	0.17210
7	7	8	154.4	0.0334	0.051	0.00835	0.01275
8	8	9	414.5	0.0896	0.137	0.02240	0.03425
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963	0.04845	0.07408
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532	0.02505	0.03830
11	11	12	452	0.0977	0.1494	0.02443	0.03735
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708	0.07700	0.11770
13	12	14	1233	0.2666	0.4075	0.06665	0.10188
14	7	15	1244.8	0.2691	0.4114	0.06728	0.10285
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299	0.00490	0.00748
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067	0.00110	0.00168
17	15	18	338	0.0731	0.1117	0.01828	0.02793
18	18	19	182.2	0.049	0.0615	0.01225	0.01538
19	18	20	402.8	0.1083	0.136	0.02708	0.03400
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006	0.01645	0.02515
21	21	22	293.7	0.079	0.0992	0.01975	0.02480
22	21	23	1257.4	0.2719	0.4156	0.06798	0.10390
23	23	24	406.5	0.0879	0.1344	0.02198	0.03360
24	23	25	154.2	0.0995	0.0567	0.02488	0.01418
25	23	26	627.4	0.5783	0.2378	0.14458	0.05945
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024	0.00148	0.00060
27	26	28	204.2	0.1882	0.0774	0.04705	0.01935
28	28	29	1145	1.0562	0.4343	0.26405	0.10858
29	23	30	868.2	0.1877	0.2869	0.04693	0.07173
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467	0.00763	0.01168
31	31	32	848.8	0.1835	0.2805	0.04588	0.07013
32	31	33	272.5	0.1758	0.1002	0.04395	0.02505
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145	0.18180	0.10363
34	34	35	102.2	0.0659	0.0376	0.01648	0.00940
35	34	36	496.35	0.1073	0.164	0.02683	0.04100
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934	0.01528	0.02335
37	37	38	294.5	0.0637	0.0973	0.01593	0.02433
38	31	39	943.3	0.039	0.3118	0.00975	0.07795
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112	0.04878	0.02780
40	39	41	648.11	0.1185	0.1812	0.02963	0.04530
41	41	42	105.9	0.0229	0.035	0.00573	0.00875
42	39	43	40.5	0.0088	0.0134	0.00220	0.00335
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465	0.08938	0.13663
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595	0.04245	0.06488
45	45	46	335	0.0726	0.111	0.01815	0.02775

46	46	47	793.2	0.1715	0.2622	0.04288	0.06555
47	47	48	571	0.1235	0.1887	0.03088	0.04718
48	48	49	365.5	0.079	0.1208	0.01975	0.03020
49	49	50	729.8	0.1578	0.2412	0.03945	0.06030
50	49	51	54.1	0.0117	0.0179	0.00293	0.00448
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403	0.00658	0.01008
52	51	53	940.35	0.2033	0.3108	0.05083	0.07770
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127	0.19760	0.15318
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426	0.13740	0.10650
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713	0.06073	0.09283
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4473	0.07315	0.11183
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527	0.05768	0.08818
58	56	59	396.5	0.0857	0.131	0.02143	0.03275
59	59	60	296.8	0.0642	0.0981	0.01605	0.02453
60	59	61	1093.4	0.2364	0.3614	0.05910	0.09035
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842	0.06285	0.06920
62	44	63	497.1	0.1075	0.1643	0.02688	0.06745
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885	0.03083	0.06570
64	64	65	907	0.1961	0.2998	0.04903	0.06395
65	65	66	1769.8	0.3826	0.5849	0.09565	0.06223
66	63	67	135.2	0.0292	0.0447	0.00730	0.06048
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715	0.04440	0.05873
68	67	69	110.15	0.0238	0.0364	0.00595	0.05698
69	69	70	891.3	0.927	0.2946	0.23175	0.05525
70	70	71	603.2	0.1304	0.1994	0.03260	0.05350
71	71	72	27.3	0.0059	0.0009	0.00148	0.05175
72	72	73	233.1	0.0504	0.077	0.01260	0.05000
73	72	74	258.7	0.0559	0.0855	0.01398	0.04825
74	74	75	198.1	0.0428	0.0655	0.01070	0.04653
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083	0.08313	0.04478
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261	0.02238	0.04303
77	76	78	472	0.1021	0.156	0.02553	0.04128
78	78	79	449.6	0.0972	0.1486	0.02430	0.03955
79	79	80	721.4	0.156	0.2384	0.03900	0.03780
80	80	81	940.5	0.2033	0.3108	0.05083	0.03605
81	81	82	1428.3	0.3088	0.4721	0.07720	0.03430
82	75	83	322.1	0.0696	0.1065	0.01740	0.03255
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616	0.01008	0.03083
84	83	85	98.5	0.0213	0.326	0.00533	0.02908
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806	0.01318	0.02733
86	85	87	205.3	0.0444	0.0679	0.01110	0.02558
87	87	88	590.3	0.1276	0.1951	0.03190	0.02383
88	88	89	856.6	0.1852	0.2831	0.04630	0.02210
89	89	90	458.3	0.0991	0.1515	0.02478	0.02035
90	90	91	1162.2	0.2513	0.3841	0.06283	0.01860
91	89	92	207.4	0.0448	0.0686	0.01120	0.01685
92	92	93	1061.5	0.225	0.3508	0.05625	0.01513
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861	0.21318	0.01338
94	93	95	385.1	0.2485	0.1416	0.06213	0.01163
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759	0.07715	0.00988

96	95	97	332.6	0.2146	0.1223	0.05365	0.00813
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272	0.18735	0.00640
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332	0.00543	0.00465
99	9	100	785.8	0.507	0.289	0.12675	0.00290
100	100	101	285.3	0.1841	0.1049	0.04603	0.00115

**Tabel 4-3**  
**Data Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Pujon**

No Node	Kode Trafo	Lokasi	Pembebanan Trafo (kVA)	Data Pembebanan		
				P (kW)	Q (kVAR)	Type Bus
1	-	-	0	0	0	Slack
2	T55	Jl Raya Ngandat	52	44.720	26.530	Load
3	T43	Jl Raya Mojorejo	70	60.200	35.714	Load
4	-	-	0	0	0.00	Load
5	T67	Dk Beji	43	36.980	21.936	Load
6	T38	Jl Raya Beji	32	27.520	16.326	Load
7	-	-	0	0	0.00	Load
8	T72	Emanuel temas	63	54.180	32.143	Load
9	-	-	0	0	0.00	Load
10	T97	Ds Temas Klerek	142	122.120	72.448	Load
11	T95	Ds Torong Rejo	93	79.980	47.449	Load
12	-	-	0	0	0.00	Load
13	T96	Ds Torong Rejo tutup	80	68.800	40.816	Load
14	T156	Ds wukir	0	0	0.00	Load
15	-	-	0	0	0.00	Load
16	T31	Jl Sudiro	38	32.680	19.388	Load
17	T126	Jl Sudiro	138	118.680	70.408	Load
18	-	-	0	0	0.00	Load
19	T105	R. S Paru-paru	73	62.780	37.245	Load
20	T189	Jl Kasiman	78	67.080	39.796	Load
21	-	-	0	0	0.00	Load
22	T188	Jl Lesti	90	77.400	45.857	Load
23	-	-	0	0	0.00	Load
24	T9	jl Hasanudin	167	143.620	85.203	Load
25	T32	Jl Indragiri	84	72.240	42.857	Load
26	-	-	0	0	0.00	Load
27	T46	Ds. Sumberejo	113	97.180	57.653	Load
28	119	Ds. Sumberejo	0	0	0.00	Load
29	78	Ds Satrehan	122	104.920	62.244	Load
30	25	Jl Trunojoyo	26	22.360	13.265	Load
31	-	-	0	0	0.00	Load
32	30	Ds Songgoriti	39	33.540	19.989	Load
33	T129	Jl Flamboyan	110	94.600	56.122	Load
34	-	-	0	0	0.00	Load
35	99	Jl Flamboyan	67	57.620	34.183	Load
36	200	Ds Tanbuh	10	8.600	5.102	Load
37	201	Ds Tanbuh	8	6.880	4.082	Load
38	202	Ds Tanbuh	2	1.720	1.020	Load
39	-	-	0	0	0.00	Load
40	168	Bukit Pinus	12	10.320	6.122	Load
41	174	Jl Songgoriti	94	80.840	47.959	Load
42	175	Jl Songgoriti	16	13.760	8.163	Load
43	16	Jl Songgoriti	71	61.060	36.224	Load
44	-	-	0	0	0.00	Load
45	57	Dk Sebaluh	65	55.900	33.163	Load
46	153	Dk Sebaluh	83	71.380	42.347	Load
47	59	Dk Maron	69	59.340	35.204	Load
48	87	Dk Maron	65	55.900	33.163	Load
49	-	-	0	0	0.00	Load
50	112	Ds Gunung Sari	55	47.300	28.061	Load

51	-	-	0	0	0.00	Load
52	88	Ds Pujon Kidul	34	29.240	17.347	Load
53	89	Ds Pujon Kidul	103	88.580	52.551	Load
54	101	Dk Biyan	33	28.380	16.837	Load
55	102	Dk Bakir	82	70.520	41.836	Load
56	-	-	0	0	0.00	Load
57	103	Dk Cukal	38	32.680	19.388	Load
58	167	Dk dadapan	12	10.320	6.122	Load
59	-	-	0	0	0.00	Load
60	104	Ds Cukal	45	38.700	22.959	Load
61	166	Dk Tretes	23	19.780	11.735	Load
62	167	Dk Dadapan	12	10.320	6.122	Load
63	-	-	0	0	0.00	Load
64	58	Dk Pandemas	36	30.960	18.367	Load
65	60	Ds Jurang Rejo	120	103.200	61.222	Load
66	217	Ds Brau	14	12.040	7.143	Load
67	-	-	0	0	0.00	Load
68	212	Dk Don Bayi	16	13.760	8.163	Load
69	36	Ds Pandesari	108	92.880	55.102	Load
70	145	Dk Watu Gong	47	40.420	23.978	Load
71	19	Jl Raya Pujon	83	71.380	42.347	Load
72	-	-	0	0	0.00	Load
73	198	Pasar Baru	55	47.300	28.0761	Load
74	123	Jl Raya Pujon	105	90.300	53.571	Load
75	-	-	0	0	0.00	Load
76	-	-	0	0	0.00	Load
77	98	Dk Kalangan	70	60.200	35.714	Load
78	79	Ds Wiyun Rejo	123	105.780	62.755	Load
79	80	Ds Madirejo	47	40.420	23.979	Load
80	223	Dk Sobo	16	13.760	8.163	Load
81	94	Dk Delik	54	46.440	27.551	Load
82	216	Dk Delik	77	66.220	39.285	Load
83	-	-	0	0	0.00	Load
84	195	KOP SAE	29	24.940	14.796	Load
85	-	-	0	0	0.00	Load
86	62	KOP SAE	114	98.040	58.163	Load
87	33	Ds Ngroto	132	113.520	67.346	Load
88	61	Ds Ngroto	72	61.920	36.734	Load
89	-	-	0	0	0.00	Load
90	64	Dk lebaksari	36	30.960	18.367	Load
91	147	Dk Torong	29	24.940	14.796	Load
92	63	Dk Mantung	43	36.980	21.939	Load
93	-	-	0	0	0.00	Load
94	196	Dk Bunder	16	13.760	8.163	Load
95	-	-	0	0	0.00	Load
96	197	Dk Ngebrong	16	13.760	8.163	Load
97	65	Ds Ngabab	123	105.780	62.755	Load
98	66	Ds Ngabab	63	54.180	32.143	Load
99	219	Ds Manting	46	39.560	23.469	Load
100	76	Ds Manting	0	0	0.00	Load
101	77	Dk Gerih	100	86.000	51.020	Load

**Tabel 4-4**  
**Kondisi Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon**  
**Sebelum Kompensasi**

Nomor Node	Tegangan Abs (pu)	Sudut V (deg)
1	1.00000	0.00000
2	0.99760	-0.06503
3	0.99174	-0.22509
4	0.98826	-0.32095
5	0.98826	-0.32104
6	0.98554	-0.39650
7	0.97732	-0.62770
8	0.97725	-0.62962
9	0.97710	-0.63411
10	0.97684	-0.64148
11	0.97677	-0.64357
12	0.97674	-0.64452
13	0.97663	-0.64750
14	0.97674	-0.64452
15	0.97295	-0.75206
16	0.97294	-0.75248
17	0.97294	-0.75255
18	0.96651	-0.59598
19	0.96650	-0.59630
20	0.96648	-0.59672
21	0.96553	-0.62396
22	0.96550	-0.62458
23	0.96160	-0.73713
24	0.96154	-0.73896
25	0.96157	-0.73711
26	0.96122	-0.73384
27	0.96122	-0.73382
28	0.96122	-0.73384
29	0.96086	-0.73071
30	0.95928	-0.80431
31	0.95890	-0.81519
32	0.95887	-0.81609
33	0.95880	-0.81508
34	0.95861	-0.81489
35	0.95859	-0.81487
36	0.95858	-0.81514
37	0.95858	-0.81521
38	0.95858	-0.81523
39	0.95758	-0.91658
40	0.95757	-0.91657
41	0.95752	-0.91821
42	0.95752	-0.91826
43	0.95748	-0.91931
44	0.95376	-1.02832
45	0.95323	-1.04379
46	0.95303	-1.04981
47	0.95261	-1.06225
48	0.95234	-1.07451
49	0.95219	-1.07520
50	0.95215	-1.07561
51	0.95217	-1.07508

Nomor Node	Tegangan Abs (pu)	Sudut V (deg)
52	0.95217	-1.07520
53	0.95187	-1.08408
54	0.95123	-1.08887
55	0.95084	-1.09176
56	0.95071	-1.09578
57	0.95064	-1.09765
58	0.95063	-1.09800
59	0.95068	-1.09666
60	0.95066	-1.09703
61	0.95064	-1.09771
62	0.95063	-1.09810
63	0.95297	-1.05144
64	0.95288	-1.05410
65	0.95277	-1.05744
66	0.95275	-1.05812
67	0.95278	-1.05711
68	0.95277	-1.05747
69	0.95263	-1.06168
70	0.94913	-1.01277
71	0.94837	-1.03530
72	0.94835	-1.03484
73	0.94834	-1.03520
74	0.94806	-1.04353
75	0.94786	-1.04960
76	0.94731	-1.06636
77	0.94728	-1.06706
78	0.94717	-1.07051
79	0.94708	-1.07293
80	0.94698	-1.07588
81	0.94686	-1.07898
82	0.94676	-1.08204
83	0.94764	-1.05603
84	0.94763	-1.05618
85	0.94729	-1.08516
86	0.94726	-1.08593
87	0.94718	-1.08845
88	0.94693	-1.09573
89	0.94663	-1.10459
90	0.94660	-1.10542
91	0.94657	-1.10636
92	0.94657	-1.10367
93	0.94631	-1.11426
94	0.94627	-1.11422
95	0.94612	-1.11406
96	0.94611	-1.11404
97	0.94597	-1.11390
98	0.94572	-1.11364
99	0.94572	-1.11377
100	0.97695	-0.63396
101	0.97689	-0.63392



**Tabel 4-5**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon**  
**Sebelum Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)	Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke			Dari	Ke		
1	2	3949.982	2427.659	2	1	-3943.238	-2417.352
2	3	3898.518	2390.822	3	2	-3882.247	-2365.945
3	4	3822.047	2330.231	4	3	-3812.532	-2315.690
4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
4	6	3775.552	2293.750	6	4	-3768.174	-2282.470
6	7	3740.654	2266.144	7	6	-3718.484	-2232.252
7	8	411.223	244.078	8	7	-411.204	-244.048
8	9	357.024	211.905	9	8	-356.983	-211.843
9	10	270.965	160.812	10	9	-270.915	-160.735
10	11	148.795	88.287	11	10	-148.787	-88.275
11	12	68.807	40.826	12	11	-68.805	-40.824
12	13	68.805	40.824	13	12	-68.800	-40.816
12	14	0.000	0.000	14	12	0.000	0.000
7	15	3307.261	1988.174	15	7	-3296.773	-1972.140
15	16	151.362	89.799	16	15	-151.360	-89.796
16	17	118.680	70.408	17	16	-118.680	-70.408
15	18	3145.411	1882.341	18	15	-3119.471	-1878.378
18	19	62.781	37.246	19	18	-62.780	-37.245
18	20	67.082	39.798	20	18	-67.080	-39.796
18	21	2989.608	1801.333	21	18	-2987.463	-1798.054
21	22	77.402	45.920	22	21	-77.400	-45.918
21	23	2910.061	1752.133	23	21	-2901.648	-1739.268
23	24	143.627	85.213	24	23	-143.620	-85.203
23	25	72.242	42.858	25	23	-72.240	-42.857
23	26	202.229	119.950	26	23	-202.143	-119.915
26	27	97.180	57.653	27	26	-97.180	-57.653
26	28	0.000	0.000	28	26	0.000	0.000
26	29	104.963	62.262	29	26	-104.920	-62.244
23	30	2483.550	1491.246	30	23	-2479.292	-1484.737
30	31	2456.932	1471.472	31	30	-2456.252	-1470.431
31	32	33.541	19.899	32	31	-33.540	-19.898
31	33	169.455	100.529	33	31	-169.436	-100.519
33	34	74.836	44.397	34	33	-74.821	-44.388
34	35	74.821	44.388	35	34	-74.820	-44.387
35	36	17.200	10.204	36	35	-17.200	-10.204
36	37	8.600	5.102	37	36	-8.600	-5.102
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
31	39	2253.256	1350.003	39	31	-2252.525	-1344.154
39	40	10.320	6.122	40	39	-10.320	-6.122
39	41	94.604	56.128	41	39	-94.600	-56.122
41	42	13.760	8.163	42	41	-13.760	-8.163
39	43	2147.601	1281.904	43	39	-2147.451	-1281.675
43	44	2086.391	1245.451	44	43	-2080.635	-1236.652
44	45	619.240	368.051	45	44	-618.998	-367.681
45	46	563.098	334.521	46	45	-563.012	-334.390
46	47	491.632	292.043	47	46	-491.478	-291.807
47	48	432.138	256.603	48	47	-432.052	-256.472

48	49	376.152	223.309	49	48	-376.110	-223.245
49	50	47.301	28.063	50	49	-47.300	-28.061
49	51	328.809	195.182	51	49	-328.804	-195.175
51	52	29.240	17.347	52	51	-29.240	-17.347
51	53	299.564	177.827	52	51	-299.496	-177.723
53	54	210.916	125.172	54	53	-210.785	-125.071
54	55	182.405	108.234	55	54	-182.336	-108.181
55	56	111.816	66.351	56	55	-111.805	-66.333
56	57	43.002	25.513	57	56	-43.000	-25.510
57	58	10.320	6.122	58	57	-10.320	-6.122
56	59	68.803	40.820	59	56	-68.801	-40.818
59	60	38.700	22.960	60	59	-38.700	-22.959
59	61	30.101	17.868	61	59	-30.100	17.857
61	62	10.320	6.122	62	61	-10.320	-6.122
44	63	1461.395	868.601	63	44	1460.541	-867.296
63	64	146.220	86.760	64	63	-146.210	-86.745
64	65	115.250	68.378	65	64	-115.240	-68.363
65	66	12.040	7.143	66	65	-12.040	-7.143
63	67	1314.321	780.536	67	63	-1314.133	-780.249
67	68	13.760	8.163	68	67	-13.760	-8.163
67	69	1300.373	772.085	69	67	-1300.223	-771.856
69	70	1207.343	716.754	70	69	-1202.309	-715.154
70	71	1161.889	691.175	71	70	-1161.228	-690.164
71	72	1089.848	647.817	72	71	-1089.821	-647.813
72	73	47.300	28.062	73	72	-47.300	-28.061
72	74	1042.521	619.751	74	72	-1042.292	-619.402
74	75	951.992	565.831	75	74	-951.846	-565.607
75	76	333.021	197.757	76	75	-332.886	-197.545
76	77	60.201	35.716	77	76	-60.200	-35.714
76	78	272.684	161.829	78	76	-272.656	-161.786
78	79	166.876	99.031	79	78	-166.866	-99.015
79	80	126.446	75.036	80	79	-126.436	-75.022
80	81	112.676	66.859	81	80	112.665	-66.844
81	82	66.225	39.293	82	81	-66.220	-39.285
75	83	618.825	367.850	83	75	-618.725	-367.696
83	84	24.940	14.796	84	83	-24.940	-14.796
83	85	593.784	352.900	85	83	-593.743	-352.467
85	86	98.042	58.166	86	85	-98.040	-58.163
85	87	495.701	294.301	87	85	-495.660	-294.238
87	88	382.140	226.892	88	87	-382.070	-226.785
88	89	320.150	190.051	89	88	320.078	-189.942
89	90	55.902	33.166	90	89	-55.901	-33.164
90	91	24.941	14.797	91	90	-24.940	-14.796
89	92	264.176	156.776	92	89	-264.165	-156.758
92	93	227.185	134.819	93	92	-227.141	-134.751
93	94	13.761	8.163	94	93	-13.760	-8.163
93	95	213.380	126.587	95	93	-213.338	-126.563
95	96	13.760	8.163	96	95	-13.760	-8.163
95	97	199.577	118.400	97	95	-199.545	-118.381
97	98	93.765	55.626	98	97	-93.740	-55.612
98	99	39.560	23.469	99	98	-39.560	-23.469
9	100	86.018	51.030	100	9	-86.005	-51.023
100	101	86.005	51.023	101	100	-86.000	-51.020

**Tabel 4-6**  
**Kondisi Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Bus Penyulang Pujon**  
**Setelah Kompensasi**

Nomor Node	Tegangan Abs (pu)	Sudut V (deg)	Nomor Node	Tegangan Abs (pu)	Sudut V (deg)
1	1.00000	0.00000	52	0.96611	-1.66208
2	0.99823	-0.08752	53	0.96582	-1.97071
3	0.99394	-0.30304	54	0.96519	-1.67537
4	0.99141	-0.43235	55	0.96481	-1.67817
5	0.99141	-0.43244	56	0.96467	-1.68208
6	0.98944	-0.53434	57	0.96461	-1.68389
7	0.98352	-0.84607	58	0.96460	-1.68423
8	0.98346	-0.84797	59	0.96464	-1.68293
9	0.98330	-0.85240	60	0.96463	-1.68328
10	0.98305	-0.85968	61	0.96461	-1.68395
11	0.98297	-0.86175	62	0.96460	-1.68432
12	0.98294	-0.86268	63	0.96709	-1.64586
13	0.98284	-0.86562	64	0.96700	-1.64845
14	0.98294	-0.86268	65	0.96689	-1.65169
15	0.98053	-1.01869	66	0.96686	-1.65235
16	0.98052	-1.01910	67	0.96698	-1.65472
17	0.98052	-1.01917	68	0.96697	-1.65507
18	0.97452	-1.00436	69	0.96690	-1.66188
19	0.97451	-1.00467	70	0.96383	-1.63290
20	0.97449	-1.00509	71	0.96333	-1.71439
21	0.97388	-1.04438	72	0.96331	-1.71439
22	0.97386	-1.04499	73	0.96330	-1.71473
23	0.97135	-1.20733	74	0.96313	-1.72695
24	0.97129	-1.20912	75	0.96301	-1.73601
25	0.97132	-1.20730	76	0.96247	-1.75224
26	0.97098	-1.20409	77	0.96244	-1.75292
27	0.97097	-1.20408	78	0.96233	-1.75626
28	0.97098	-1.20409	79	0.96225	-1.75861
29	0.97062	-1.20103	80	0.96215	-1.76146
30	0.96999	-1.30905	81	0.96203	-1.76447
31	0.96977	-1.32554	82	0.96193	-1.76743
32	0.96974	-1.32641	83	0.96293	-1.74740
33	0.96967	-1.32543	84	0.96293	-1.74754
34	0.96948	-1.32524	85	0.96299	-1.77791
35	0.96946	-1.32522	86	0.96301	-1.78036
36	0.96945	-1.32548	87	0.96293	-1.78294
37	0.96945	-1.32556	88	0.96282	-1.79531
38	0.96945	-1.32557	89	0.96253	-1.80388
39	0.96948	-1.43189	90	0.96250	-1.80468
40	0.96947	-1.43188	91	0.96247	-1.80559
41	0.96942	-1.43349	92	0.96247	-1.80889
42	0.96942	-1.43353	93	0.96222	-1.81319
43	0.96943	-1.43624	94	0.96218	-1.81319
44	0.96754	-1.61108	95	0.96203	-1.81304
45	0.96716	-1.63157	96	0.96202	-1.81302
46	0.96696	-1.63743	97	0.96618	-1.81288
47	0.96655	-1.64951	98	0.96164	-1.81263
48	0.96628	-1.65715	99	0.96163	-1.81275
49	0.96614	-1.66142	100	0.98315	-0.85225
50	0.96610	-1.66249			
51	0.96612	-1.66197			

**Tabel 4-7**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon**  
**Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)	Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke			Dari	Ke		
1	2	3918.366	1128.576	2	1	-3913.150	-1120.603
2	3	3868.430	1094.073	3	2	-3855.872	-1074.874
3	4	3795.672	1039.160	4	3	-3788.351	-1027.971
4	5	36.980	21.939	5	4	-36.980	-21.939
4	6	3751.371	1006.032	6	4	-3745.704	-997.368
6	7	3718.185	981.042	7	6	-3701.181	-955.047
7	8	411.222	244.076	8	7	-411.202	-244.045
8	9	357.022	211.902	9	8	-356.982	-211.841
9	10	270.964	160.811	10	9	-270.914	-160.735
10	11	148.794	88.287	11	10	-148.787	-88.275
11	12	68.807	40.826	12	11	-68.805	-40.824
12	13	68.805	40.824	13	12	-68.800	-40.816
12	14	0.000	0.000	14	12	0.000	0.000
7	15	3289.960	710.971	15	7	-3282.081	-698.925
15	16	151.362	89.799	16	15	-151.360	-89.796
16	17	118.680	70.408	17	16	-118.680	-70.408
15	18	3130.720	609.120	18	15	-3111.384	-606.165
18	19	62.781	37.246	19	18	-62.780	-37.245
18	20	67.082	39.798	20	18	-67.080	-39.796
18	21	2981.525	529.127	21	18	-2979.937	-526.698
21	22	77.402	45.920	22	21	-77.400	-45.918
21	23	2902.536	480.778	23	21	-2896.332	-471.291
23	24	143.626	85.213	24	23	-143.620	-85.203
23	25	72.242	42.858	25	23	-72.240	-42.857
23	26	202.227	119.949	26	23	-202.142	-119.914
26	27	97.180	57.653	27	26	-97.180	-57.653
26	28	0.000	0.000	28	26	0.000	0.000
26	29	104.962	62.261	29	26	-104.920	-62.244
23	30	2478.239	223.271	30	23	-2475.159	-218.564
30	31	2452.800	205.299	31	30	-2452.309	-204.547
31	32	33.541	19.899	32	31	-33.540	-19.898
31	33	169.454	100.529	33	31	-169.436	-100.518
33	34	74.836	44.396	34	33	-74.821	-44.388
34	35	74.821	44.388	35	34	-74.820	-44.387
35	36	17.200	10.204	36	35	-17.200	-10.204
36	37	8.600	5.102	37	36	-8.600	-5.102
37	38	1.720	1.020	38	37	-1.720	-1.020
31	39	2249.310	84.122	39	31	-2248.784	-79.923
39	40	10.320	6.122	40	39	-10.320	-6.122
39	41	94.604	56.128	41	39	-94.600	-56.122
41	42	13.760	8.163	42	41	-13.760	-8.163
39	43	2143.866	17.669	43	39	-2143.758	-17.506
43	44	2082.699	-18.719	44	43	-2078.574	25.025
44	45	619.165	157.938	45	44	-618.980	-157.655
45	46	563.078	334.496	46	45	-562.995	-334.369
46	47	491.615	292.022	47	46	-491.465	-291.793
47	48	432.125	256.589	48	47	-432.042	-256.461



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

## BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : HENDRY CAHYO UTOMO  
N.I.M. : 01.12.094  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SISTEM  
DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*STRENGHT PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM*  
PADA GI SENGKALING PENYULANG PUJON

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Kamis  
Tanggal : 22 Maret 2007  
Dengan Nilai : 81,25 (A)

### Panitia Ujian Skripsi



**Ketua Majelis Penguji**  
**(Ir. Mochtar Asroni, MSME)**  
NIP. P. 1018100036



**Sekretaris Majelis Penguji**  
**(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)**  
NIP. P. 1039500274

### Anggota Penguji

**Penguji Pertama**

**(Ir. Eko Nurcahyo, MT)**  
NIP.Y. 1028700172

**Penguji Kedua**

**(Bambang Prio H, ST, MT)**  
NIP.Y. 1028400082





## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang beranda tangan dibawah ini :

Nama : HENDRY CAHYO UTOMO  
NIM : 01-12-094  
Semester : X  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik  
Alamat :

Dengan ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk membuat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama kami lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.

Adapun persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

1. Telah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya (.....)
2. Telah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja (.....)
3. Telah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya (.....)
4. Telah menempuh mata kuliah  $\geq 134$  sks dengan IPK  $\geq 2$  dan tidak ada nilai E (.....)
5. Telah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan (.....)
6. Memenuhi persyaratan administrasi (.....)

Demikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas  
Recording Teknik Elektro

(.....)

Malang, 15 Mei 2006

Pemohon

(.....)

Disetujui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Jr. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. P. 1039500274

Mengetahui  
Dosen Wali

(.....)

### Catatan :

Bagi mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat proposal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1

1. IPK  $\frac{366}{138} = 2.65$
- 2.
3. praktikum Lem. Lap.



## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: HENDRY CARYO LIMPRONO	Nim: 01-13-094		
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu	Tempat
	Pelaksanaan	20/06/2020	13-00- selesai	Ruang:
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)			
	(a) Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen		
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer		
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi		
	d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	ANALISA DARI REAKTIFIVE KOMPENSASI DANA REAKTIF PADA SISTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE TRENDING DITOLUONG ALGORITMA PADA G-1 TERSEBUT UNTUK PENYALANG PUSAK		
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	2		
6.	Catatan:			
	Catatan:			
7.	Persetujuan Judul Skripsi			
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II		
	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs		
	Ir. F. Yudi Limpraptono MT NIP. P. 1039500274			

Perhatian:

- Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
\*\*) dilingkari a, b, c, ..... atau g sesuai bidang keahlian

Form S-3c



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hendry Cahyo Utomo  
Nim : 01.12.094  
Masa Bimbingan : 1 Juli 2006 s/d 1 Januari 2007  
Judul Skripsi : ANALISA MULTI-OBJEKTIF KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITMA PADA GL. SENGKALING PENYULANG PUJON

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	28-8-06	BAB I (revisi: rekomendasi masalah dan BAB II). Cek gambar	JA
2.	5-12-06	BAB I, II masih ada revisi	JA
3.	6-12-06	Konsultasi BAB III	JA
4.	10-12-06	Konsultasi BAB IV	JA
5.	14-12-06	Konsultasi BAB IV	JA
6.	19-12-06	Konsultasi BAB V	JA
7.		Acc. & diserahkan	JA
8.			
9.			
10.			

Malang 20-12-2006  
Dosen Pembimbing,

Ir. H. Choiri  
NIP. 130703042





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Hendry Cahyo Utomo  
Nim : 01.12.094  
Masa Bimbingan : 1 Januari 2007 s/d 1 Juli 2007  
Judul Skripsi : **KOMPENSASI DAYA REAKTIF PADA SYSTEM  
DISTRIBUSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
STRENGTH PARETO EVOLUTIONARY ALGORITHM PADA  
GL SENGKALING PENYULANG PUJON**

No	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1	12/1/07		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Malang 20-3-2007  
Dosen Pembimbing

**Ir. H. Choiri**  
NIP.130703042

**PT. PLN ( PERSERO )**

DISTRIBUSI JAWA TIMUR

AREA PELAYANAN & JARINGAN MALANG



Certificate No.: **QSC**  
**00475**

: 0341 - 326034 ( Hunting )  
Pos : 211

Facsimile : 0341 - 362046

Nomor : *1248* /330/ APJ-MLG/ 2006  
Surat Sdr.No : ITN-1921/III.TA/2/2006  
Lampiran : -  
Perihal : Ijin Survey

Malang, *14* Agustus 2006

Kepada  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Malang  
Jl. Raya Karanglo, Km 2  
Di  
Malang

Dengan Hormat,

Menindaklanjuti surat Saudara nomor ITN-1921/III.TA/2/2006 tanggal 3 Agustus 2006 perihal tersebut di atas, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa saudara atas nama :

**Hendry Cahyo Utomo**

**NIM : 01.12.094**

Untuk melaksanakan Survey di PT. PLN ( PERSERO ) Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 14 Agustus 2006 sampai dengan 15 September 2006 dengan catatan PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.

Sebelumnya diminta agar mahasiswa tersebut mengisi surat pernyataan, dilengkapi dengan pas photo ukuran 3 X 4 Cm di SDM & Administrasi PT. PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Malang.

Demikian agar menjadikan maklum.



Tembusan :

1. Supervisor Terkait
2. Manajer UJ dan UPJ Terkait

