

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



**OPTIMASI PENEMPATAN LETAK DAN KAPASITAS  
KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE  
RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK  
DAN TABU SEARCH DI GARDU INDUK SENGKALING  
PENYULANG PUJON**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*

**SUPRIYADI  
NIM. 99.12.112**

**MARET 2005**



## **LEMBAR PERSETUJUAN**

### **OPTIMASI PENEMPATAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK DAN TABU SEARCH DI G.I SENGKALING PENYULANG PUJON**

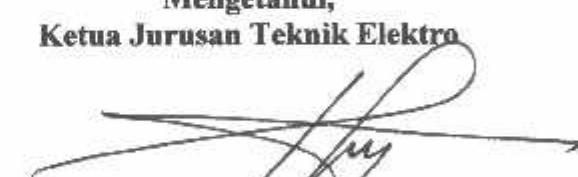
## **SKRIPSI**

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

**Disusun Oleh :**

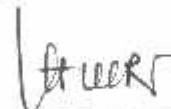
**SUPRIYADI  
NIM 99.12.112**

**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  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

## ABSTRAKSI

### OPTIMASI PENEMPATAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK DAN TABU SEARCH DI G.J SENGKALING PENYULANG PUJON

(SUPRIYADI, Nim 99.12.112, Teknik Elektro/T.Energi Listrik, 61 Halaman)  
(Dosen Pembimbing : Ir. H. CHOIRI)

Kata Kunci : Sistem Distribusi Radial, Penempatan Letak dan Kapasitas Kapasitor, Besar Rugi Daya, Node Sensitif, Fixed Capacitor, Heuristik dan Tabu Search system.

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. Bertambahnya industri-industri menyebabkan peran penggunaan alat-alat listrik akan semakin luas, misalnya motor-motor listrik, trafo, AC, lampu-lampu TL dan lain-lain. Beban industri sangat banyak membutuhkan daya reaktif induktif.

Seiring dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka daya reaktif yang ada di jaringan akan semakin besar yang selanjutnya akan memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan. Untuk mereduksi rugi daya solusinya dengan pemasangan kapasitor. Dalam skripsi ini digunakan metode Strategi Pencarian Heuristik dan Tabu Search untuk penempatan kapasitor dan besar kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan. Perhitungan aliran daya Newton Raphson diterapkan untuk mengetahui perubahan hasil dari pemasangan kapasitor.

Dengan menggunakan data jaringan pada PT. PLN (Persero) Distribusi cabang Malang pada Penyulang Pujon, diperoleh hasil pemasangan kapasitor yang optimal pada *node* 99, *node* 56, *node* 26 sebesar 1200 kVAR, 450 kVAR, 300 kVAR, dimana diperoleh penurunan rugi daya aktif sebesar 22,385 kW yaitu dari 102.020 kW menjadi 79,635 kW sedangkan untuk daya reaktif sebesar 37,723 kVAR dari 155.259 menjadi 117.536 kVAR, biaya sebelum pemasangan sebesar 17.293 US \$ atau sebesar Rp. 155.637.000,-/tahun, sedangkan total biaya setelah pemasangan sebesar 13.802 US \$ atau sebesar Rp. 124.218.000,-/tahun (asumsi 1 US \$ adalah Rp. 9.000,-) sehingga keuntungan yang di dapat adalah sebesar 3.491 US \$ per tahun atau sebesar Rp. 31.419.000,-/tahun.

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, “*OPTIMASI PENEMPATAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK DAN TABU SEARCH DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG PUJON*”.

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. **Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. **Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
4. **Ir. H. CHOIRI**, sebagai dosen pembimbing.
5. **Ugro, ST**, sebagai *programmer*.
6. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendo'akanku sampai terwujud cita-citaku serta kakak dan ade Erni eliawati *terima kasih* ya atas do'a dan bantuannya sekali lagi m'atur nu'un yo.

7. Rekan-rekan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam penggerjaan skripsi ini terutama *thank's to* Ruli & mega Flores atas c'omputernya, a'bleh bersaudara ardi lampung & boy D'jakarte, a'conk, wahyu n'ug, dwi n'gawi, o'don, yudi, rapzan t,oa, boy panjang, ozy, wakid, johanes, mas oyi sekeluarga, and s'mua a'rek-a'rek qos sigura2 07 m'atur n'uun "yo"

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

Malang, Maret 2005

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman :

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAKSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Rumusan Masalah .....	2
1.3.    Tujuan .....	3
1.4.    Batasan Masalah .....	3
1.5.    Metodologi Pembahasan .....	4
1.6.    Sistematika Penulisan .....	5
1.7.    Kontribusi Penelitian .....	6
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1.    Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2.2.    Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	8
2.3.    Sistem Jaringan Distribusi Radial .....	9

2.3.1.	Sistem Radial Pohon .....	10
2.3.2.	Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah .....	10
2.3.3.	Sistem Radial dengan Pembagian Phase Area .....	11
2.3.4.	Sistem Radial Dengan Beban Terpusat .....	12
2.4.	Faktor Daya .....	13
2.5.	Kapasitor Daya .....	15
2.5.1.	Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt .....	15
2.6.	Pengaruh Pemasangan Kapasitor Shunt .....	16
2.6.1.	Pengurangan Rugi-Rugi dengan Kapasitor Shunt .....	17
2.6.2.	Perbaikan Tegangan .....	18
2.6.3.	Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem .....	19
2.6.3.1.	Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya .....	22
2.6.3.2.	Penentuan Rating Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya .....	23
2.7.	Sistem Per-Unit .....	24
<b>BAB III</b>	<b>ANALISIS OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DENGAN METODE STRATEGI PENCARIAN HEURISTIK BARU .....</b>	<b>26</b>
3.1.	Analisa Aliran Daya Jaringan .....	26
3.1.1.	Metode Newton Raphson .....	26
3.1.2.	Dengan Alir Aliran Daya Newton Raphson .....	30
3.2.	Metode Strategi Pencarian Heuristik .....	31
3.3	Metode Tabu Search .....	32

3.4	Total Biaya Sebelum dan sesudah Pemasangan Kapasitor .....	36
3.5	Biaya Daya ( $K_p$ ) .....	36
3.6	Biaya Instalasi Ekivalen Kapasitor ( $K_e$ ) .....	37
3.7	Algoritma Penyelesaian Masalah .....	38
<b>BAB IV</b>	<b>STUDI OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER .....</b>	<b>40</b>
4.1.	Analisis Penempatan Kapasitor Dengan Metode Heuristik dan Tabu Search .....	40
4.1.2.	Diagram Alir Algoritma Metode Heuristik .....	41
4.1.3.	Diagram Alir Algoritma Metode Tabu Search.....	42
4.2.	Data Perhitungan .....	45
4.2.1.	Data Saluran .....	45
4.2.2.	Data Pembebanan .....	46
4.3.	Tampilan Program .....	48
4.4.	Hasil dan Analisa Perhitungan .....	53
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>60</b>
5.1.	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran .....	61

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
2-1. Diagram satu garis penyaluran energi listrik ke pelanggan .....	7
2-2. Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial .....	9
2-3. Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah .....	11
2-4. Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan Phase Area .....	12
2-5. Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat .....	13
2-6. Segitiga Daya .....	14
2-7. Segitiga Arus .....	15
2-8. Saluran Primer Dengan Beban Terpusat .....	17
2-9. Vektor Diagram Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan .....	19
2-10. Perbaikan Faktor Daya .....	20
2-11. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi .....	22
3-1. Diagram Alir Aliran Daya Newton Raphson .....	30
3-2. Diagram Kurva Durasi Beban Tersendiri .....	33
3-3. Diagram Fungsi Biaya Penempatan Kapasitor .....	33
4-1. Diagram Alir Aliran Algoritma Metode Heuristik .....	41
4-2. Diagram Alir Aliran Algoritma Metode Tabu Search.....	43
4-3. Single Line Diagram Sistem 20 KV Penyulang Pujon .....	44
4-4. Tampilan Utama Program .....	48

4-5.	Tampilan Inputan Data .....	50
4-6.	Hasil Aliran Daya Menggunakan Newton Raphson .....	51
4-7.	Hasil Loadflow Akhir dan Aliran Daya Setelah Menggunakan Perhitungan Tabu Search .....	52
4-8.	Hasil Akhir Metode Strategi Pencarian Tabu Search Dalam Menentukan Lokasi dan Besar Kapasitas Kapasitor .....	53
4-9.	Hasil Akhir Metode Strategi Pencarian Tabu Search .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman :
3-1. Kapasitas Kapasitor dan Biaya instalasinya .....	37
4-1. Data Saluran Sistem 20 kV GI Sengkaling Penyulang Pujon .....	46
4-2. Data Penghantar AAAC .....	46
4-3. Data Pembebanan Penyulang Pujon .....	47
4-4. Data Kapasitor .....	47
4-5. Hasil Impedensi Saluran Penyulang Pujon .....	54
4-6. Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi .....	55
4-7. Aliran Daya Saluran Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi .....	55
4-8. Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sebelum Kompensasi .....	55
4-9. Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi .....	57
4-10. Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi .....	57
4-11. Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi .....	57
4-12. Perbandingan Kondisi Sebelum dan Setelah Kompensasi .....	59

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke pusat beban atau konsumen. Dengan meningkatnya usaha di sektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi semakin meningkat pula, sehingga diperlukan penyediaan energi listrik beserta jaringan dan penyaluran yang sangat baik. Bertambahnya industri-industri menyebabkan peran penggunaan alat-alat listrik akan semakin luas, misalnya motor-motor listrik, trafo, Ac, lampu-lampu TL, dan lain-lain. Dengan meningkatnya beban-beban induktif, maka daya reaktif yang ada dijaringan akan semakin besar yang selanjutnya akan memperbesar komponen rugi-rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan.

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki kondisi jaringan akibat adanya rugi-rugi tersebut adalah dengan memasang sumber 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 primer, diantaranya seperti metode Fuzzy, Genetik Algoritma, Algoritma Memetic dan lain-lain. Sedangkan pada skripsi ini akan dibahas teknik pencarian penggabungan dengan menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Salah satu cara pemasangan sumber daya reaktif tambahan di sisi beban adalah dengan pemasangan kapasitor shunt pada jaringan distribusi primer, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi saluran. Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana cara untuk menentukan letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada jaringan distribusi primer agar rugi-rugi saluran dan biaya instalasi kapasitor tersebut sedemikian rupa sehingga didapat keuntungan dari segi teknis maupun ekonomis.

Oleh karena itu pada skripsi ini akan menganalisa hal tersebut dengan suatu alternatif pencarian penggabungan dengan menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search*. Kedua metode ini merupakan suatu algoritma yang dapat menentukan lokasi, jumlah, kapasitas dan biaya pemasangan kapasitor yang dipasang pada jaringan distribusi.

Dari permasalahan yang timbul diatas, maka skripsi ini di beri judul :

**"OPTIMASI PENEMPATAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DENGAN  
MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK DAN TABU SEARCH DI  
GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG PUJON"**

## 1.3 Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan dari pembahasan skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui kondisi tegangan sebelum dan sesudah kompensasi.
2. Untuk mengetahui rugi-rugi daya sebelum dan sesudah kompensasi.

3. Untuk menentukan letak dan jumlah kapasitor yang optimal.
4. Untuk menentukan kapasitas kapasitor yang optimal.
5. Untuk mengetahui dampak pemasangan kapasitor tersebut dari segi biaya (ekonomis).

#### **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 primer tipe radial 20 kV di penyulang Pujon, Gardu Induk Sengkaling.
2. Jenis kapasitor yang digunakan dalam analisa adalah kapasitor tetap
3. Analisa penentuan letak dan kapasitas kapasitor shunt menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search*.
4. Tidak membahas secara detail masalah aliran daya yang digunakan yaitu metode Newton Raphson.

#### **1.5 Metodelogi Penelitian**

Metodelogi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

1. Kajian pustaka, bahan untuk memahami pengaruh yang terjadi akibat penggunaan kapasitor shunt pada sistem distribusi radial.
2. Pengumpulan data lapangan yang dipakai dalam objek penelitian yakni pada PT. PLN (Persero) Unit Bisnis Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan Malang GA Batu Sub UPJ Batu, Penyulang Pujon.

- a. Data Gardu dan Persentase Pembebanan Penyulang Pujon.
  - b. Data Saluran Penyulang Pujon.
  - c. Data Pembebanan Sistem 20 kV Penyulang Pujon.
3. Melakukan analisa dengan menggunakan bahasa program Delphi 7.0
    - a. Analisa aliran daya pada penyulang Pujon sistem 20 kV menggunakan Metode *Newton Raphson*.
    - b. Analisa penentuan letak, kapasitas dan jumlah kapasitor menggunakan Metode *Heuristik* dan *Tabu Search*.
    - c. Analisa pengaruh pemasangan kapasitor terhadap sistem distribusi radial diantaranya perbaikan profil tegangan, pengurangan rugi-rugi serta penghematan maksimal dan menganalisa aliran daya kembali sistem menggunakan Metode *Newton Raphson*.
  4. Menarik kesimpulan apakah metode ini cukup efektif dalam menghasilkan perbaikan-perbaikan pada sistem dan penghematan yang optimal.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas, maka skripsi ini disusun sebagai berikut :

### BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah, Metodologi Penulisan dan Sistematika Penulisan.

### BAB II : SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DAN APLIKASI KAPASITOR

Disini akan diuraikan mengenai sistem jaringan distribusi, faktor daya, penjelasan teori tentang kapasitor, perbaikan tegangan dan faktor daya dan sistem per-unit.

### BAB III : ANALISA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK DAN TABU SEARCH

Pada bab ini akan dibahas metode aliran daya Newton Raphson, teori-teori mengenai metode *Heuristik* dan *Tabu Search* beserta algoritmanya.

### BAB IV : STUDI PERHITUNGAN PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL

Pada bab ini akan dibahas mengenai penentuan letak dan kapasitas kapasitor yang akan dibahas analisa perhitungan dengan

menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search* untuk perbandingan profil tegangan sebelum dan sesudah kompensasi.

## 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

Dengan diperkenalkannya metode *Heuristik* dan *Tabu Search*, maka didalam penulisan skripsi ini diharapkan akan dapat memberikan alternatif penentuan jumlah, ukuran dan lokasi kapasitor yang optimal dengan lebih mudah sehingga menghasilkan perhitungan yang lebih valid (mendekati sempurna) dan mendapatkan nilai penghematan yang maksimal, sehingga kemungkinan dapat diaplikasikan di lapangan dan dapat membantu PT. PLN (Persero) untuk mengoptimalkan penggunaan kapasitor dalam sistem distribusi radial.

## BAB II

### SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER DAN APLIKASI KAPASITOR

#### 2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Di Indonesia tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat pembangkit tenaga listrik, seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada dipusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi di PLN mempunyai tegangan 150 kV dan 500 kV, selanjutnya tegangan tersebut diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV di Gardu Induk, dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step down transformer*), setelah melalui jaringan distribusi, tegangan diturunkan lagi pada gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah sebesar 380/220 V untuk selanjutnya disalurkan kepada pelanggan PLN.

Sebagai gambaran, diagram satu garis sistem tenaga listrik dapat diperjelas seperti gambar 2.1 dibawah ini<sup>[4]</sup>:



Gambar 2-1

Diagram satu garis penyaluran energi listrik ke pelanggan  
Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

Jaringan setelah keluar dari G.L biasa disebut jaringan distribusi. Jaringan distribusi dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian sistem, yaitu :

1. Sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah.
2. Sistem distribusi sekunder atau sistem distribusi tegangan rendah.

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

#### **2.1.1. Sistem Distribusi Primer**

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**

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.

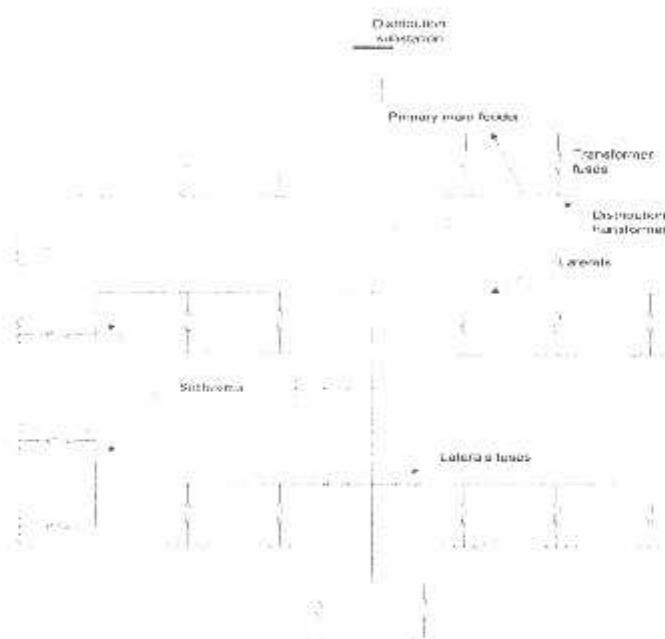
#### **2.2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

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

1. Sistem jaringan distribusi radial
2. Sistem jaringan distribusi rangakuian tertutup (*loop*)
3. Sistem jaringan distribusi *mesh*

### 2.3. 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 dilayani. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*main feeder*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2-2.



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

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

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.

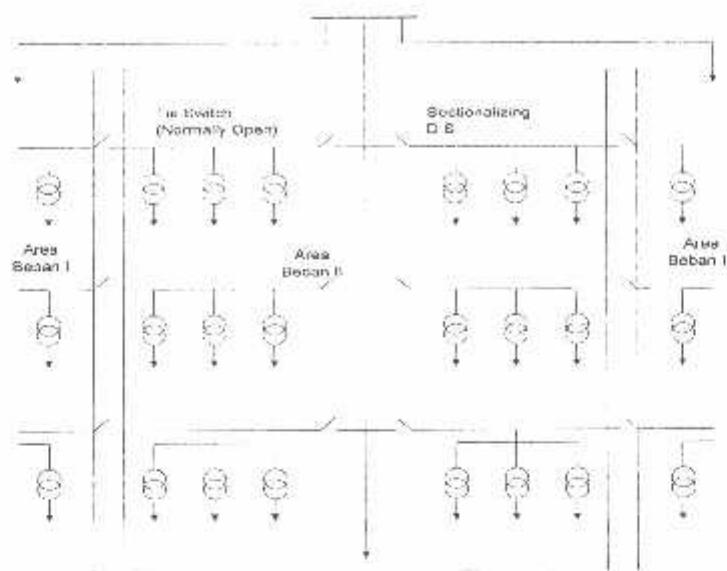
Kelemahan yang dimiliki oleh sistem radial adalah jatuh tegangan yang cukup besar dan bila terjadi gangguan pada sistem akan dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau bahkan keseluruhan beban sistem.

### 2.3.1. Sistem Radial Pohon

Sistem radial jaringan pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) di tarik dari suatu Gardu Induk sesuai dengan kebutuhan kemudian di cabangkan melalui saluran cabang (*lateral feeder*), selanjutnya di cabangkan lagi melalui saluran anak cabang (*sub-lateral feeder*). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari kerapatan arus yang ditanggung. Dari gambar 2-2, *main feeder* merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada tiap cabang tergantung dari besarnya beban.

### 2.3.2. Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka *feeder* yang terganggu akan di lokalisir sedangkan area yang semula dilayani *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang sehat atau yang tidak terganggu. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah dapat dilihat pada gambar 2-3.



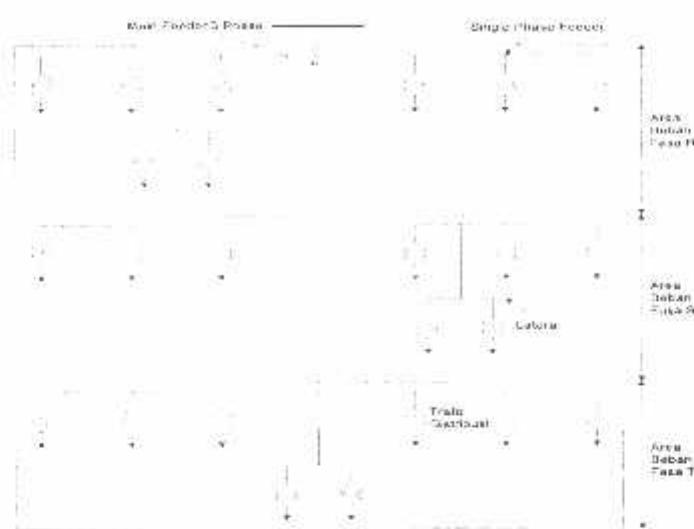
**Gambar 2-3**

**Contoh Sistem Jaringan Distribusi Radial  
Dengan Tie dan Switch Pemisah**

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

### 2.3.3. Sistem Radial dengan Pembagian Phase Area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebananya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2-4.



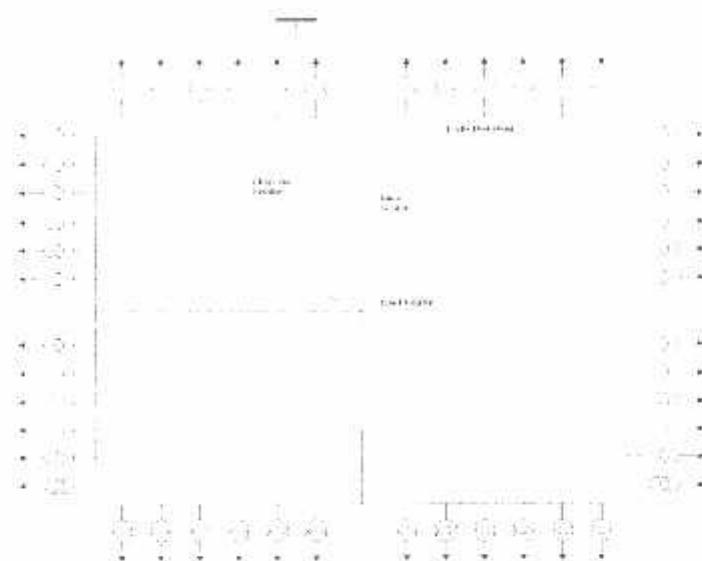
Gambar 2-4

#### Contoh Jaringan Distribusi Radial Dengan Phase Area

Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

#### 2.3.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat

Bentuk dari sistem ini mensuplai daya dengan menggunakan *main feeder* yang disebut *express feeder* langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebut dengan menggunakan *back feeder* secara radial seperti terlihat pada gambar 2-5.



Gambar 2-5

**Contoh Jaringan Distribusi Radial Dengan Beban Terpusat**

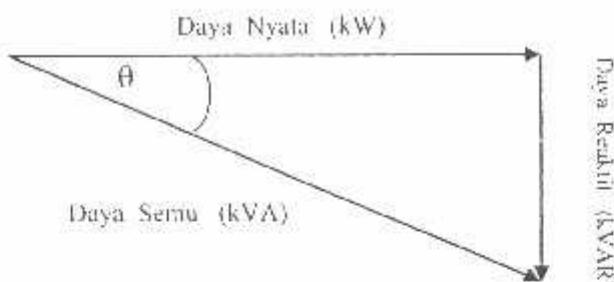
Sumber : Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", University of Missouri at Columbia

**2.4. Faktor Daya [4]**

Faktor daya pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara daya nyata dan daya semu, dan dinyatakan oleh persamaan :

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya nyata (kW)}}{\text{Daya semu (kVA)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (KW) dan komponen daya reaktif (kVAR). Hubungan ini dapat digambarkan sebagai berikut:

**Gambar 2-6****Segitiga Daya**

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

$$\text{Dengan faktor daya } - \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Dimana:

 $P$  = Daya nyata (kW) $S$  = Daya semu (kVA) $Q$  = Daya reaktif (kVAR) $\varphi$  = Sudut phase

Faktor daya dapat pula dilihat hubungannya dengan arus nyata dan arus total. Arus nyata ( $I_N$ ) adalah arus yang mengalir pada beban yang diubah menjadi tenaga. Sedangkan arus total ( $I$ ) adalah arus yang mengalir pada jaringan dan merupakan jumlah vektor antara arus magnetisasi dan arus nyata. Arus magnetisasi ( $I_X$ ) merupakan arus yang mengalir pada beban dan menimbulkan medan magnet. Arus yang terbaca dalam ampere meter adalah arus total ( $I$ ) hubungan ketiga arus tersebut seperti pada gambar 2-7 sebagai berikut :

### b. Kapasitor Saklar

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

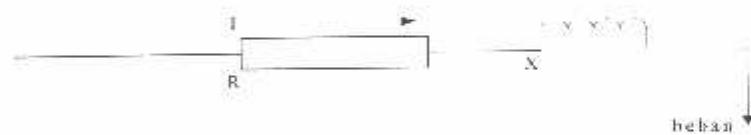
#### 2.6.1. Pengurangan rugi daya dengan Kapasitor Shunt<sup>[4]</sup>

Rugi-rugi saluran per fasa dari saluran 3 fasa seimbang dengan beban terpusat seperti pada gambar 2-8 adalah  $I^2(R-jX)$  atau dapat dibedakan menjadi:

- Rugi daya aktif ( $I^2R = (I_R^2 + I_X^2)R$ )
- Rugi daya reaktif ( $I^2X = (I_R^2 + I_X^2)X$ )

Dimana :  $I_R$  adalah komponen arus aktif

$I_X$  adalah komponen arus reaktif



Gambar 2-8

#### Saluran Primer Dengan Behan Terpusat

Sumber : Hasan Basri, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik"

Rugi daya ( $I^2R$ ) dapat dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen arus aktif dan komponen arus reaktif

Rugi daya karena komponen arus aktif tidak akan mempengaruhi penciptaan kapasitor shunt pada saluran hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Diasumsikan bahwa rugi daya ( $I^2R$ ) disebabkan oleh arus saluran (*lagging*)  $I$ , yang mengalir pada resistansi  $R$ , sehingga :

$$I^2R = (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

Setelah dipasang kapasitor shunt dengan arus  $I_c$ , didapat arus saluran baru  $I_l$ , dan rugi daya  $I^2R$  sebagai berikut :

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

Sehingga pengurangan rugi daya sebagai akibat pemasangan kapasitor didapat :

$$\begin{aligned} \Delta P_{ls} &= I^2R - I_l^2R \\ &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R - (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \\ &= 2(I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R \dots \dots \dots \quad (2.4) \end{aligned}$$

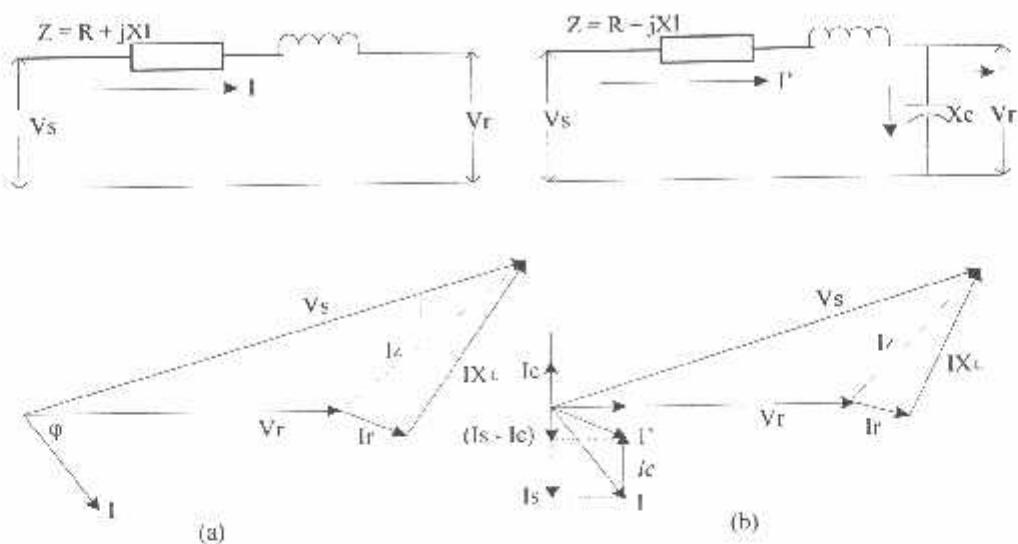
maka hanya komponen arus reaktif ( $I \sin \theta$ ) saja yang berpengaruh terhadap pengurangan rugi daya  $I^2R$  akibat pemasangan kapasitor shunt pada saluran distribusi.

Pengurangan rugi daya saluran 3 fasa adalah :

$$\Delta P_{ls} = 3R(2(I \sin \theta)I_c - I_c^2) \text{ Watt} \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

### 2.6.2. Perbaikan Tegangan<sup>[4]</sup>

Pemakaian kapasitor shunt dalam sistem tenaga listrik selain untuk perbaikan faktor daya juga bertujuan menaikkan tegangan. Dan secara vektoris dapat digambarkan sebagai berikut :



**Gambar 2-9**  
**Vektor Diagram Sebelum (a) dan Sesudah (b) Pemasangan Kapasitor Shunt Pada Jaringan**

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

Jatuh tegangan yang disebabkan arus beban  $I$  sebelum kapasitor dipasang :

$$\delta V = IR + j IX_L \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

Jatuh tegangan setelah kapasitor dipasang :

$$\delta V = IR + IX_L - IX_C \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

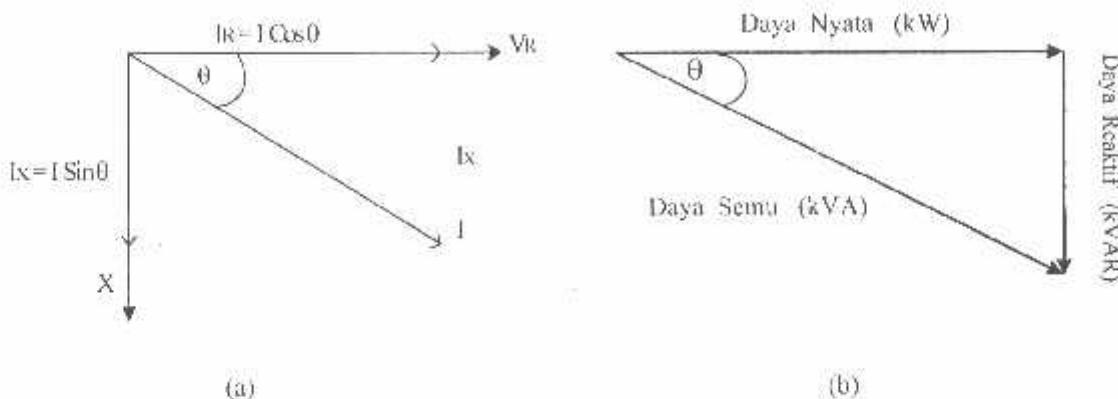
### 2.6.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem [4]

Mansfaat terbesar yang dipcroleh dari perbaikan faktor daya berasal dari pengurangan daya reaktif dalam sistem. Hal ini menghasilkan pengurangan biaya pemakaian daya yang lebih rendah, kenaikan kapasitas sistem, perbaikan tegangan dan pengurangan rugi daya dalam sistem. Satu – satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif dijaringan. Jika komponen daya



### 2.6.3.1. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya<sup>[4]</sup>

Diagram fasor dari dua komponen arus nyata, arus aktif dan arus reaktif dapat dilihat pada gambar 2-11 berikut :



**Gambar 2-11**

#### Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi

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

Penjumlahan secara vektor dari arus aktif dan reaktif menghasilkan arus-arus total yang dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} I &= \text{Arus Semu} = \sqrt{(\text{arus aktif})^2 + (\text{arus reaktif})^2} \\ &= \sqrt{(I \cos \theta)^2 + (I \sin \theta)^2} \end{aligned}$$

Pada suatu tegangan  $V$ , daya aktif, daya reaktif dan daya semu adalah sebanding dengan arus, dimana hubungannya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Daya semu (kVA)} &= \sqrt{(\text{Daya aktif})^2 + (\text{Daya reaktif})^2} \\ (\text{VI}) \quad &= \sqrt{(VI \cos \theta)^2 + (VI \sin \theta)^2} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{kW}{kVA}$$

Daya aktif = Daya semu x Faktor daya

$$kW = kVA \times \text{Faktor daya}$$

$$kW = kVA \cos \theta$$

### 2.6.3.2. Penentuan Rating Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Beban

Dari hubungan fasor diagram daya aktif dan reaktif dapat ditulis beberapa persamaan matematis sebagai berikut :

$$\cos \theta = \frac{\text{Daya aktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kW)}{(kVA)}$$

$$\sin \theta = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya semu}} = \frac{(kVAR)}{(kVA)}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{Daya reaktif}}{\text{Daya aktif}} = \frac{(kVAR)}{(kW)}$$

Karena komponen daya aktif biasanya konstan, dan daya semu serta komponen daya reaktif berubah sesuai dengan faktor daya, maka persamaan yang dinyatakan dalam komponen daya aktif yang paling tepat digunakan. Persamaan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Daya reaktif pada faktor daya mula-mula} = \text{Daya aktif} \times \tan \theta_1$$

$$= (kW) \times \tan \theta_1$$

$$\text{Daya reaktif pada faktor daya baru} = \text{Daya aktif} \times \tan \theta_2$$

$$= (kW) \times \tan \theta_2$$

Dengan  $\theta_1$  = sudut dari faktor daya mula-mula

$\theta_2$  = sudut dari faktor daya yang telah diperbaiki

Rating kapasitor yang dibutuhkan perbaikan faktor daya :

$$\begin{aligned}\text{Daya reaktif (kVAR)} &= \text{Daya aktif} \times (\tan \theta_1 - \theta_2) \\ (\text{kVAR}) &= (\text{kW}) \times (\tan \theta_1 - \theta_2)\end{aligned}$$

Untuk penyederhanaan ( $\tan \theta_1 - \tan \theta_2$ ) sering ditulis  $\Delta \tan$ , yang merupakan suatu faktor pengali untuk menentukan daya reaktif.

$$\begin{aligned}\text{Daya reaktif (kVAR)} &= \text{Daya aktif} \times \Delta \tan \\ (\text{kVAR}) &= (\text{kW}) \times \Delta \tan\end{aligned}$$

### 2.7. Sistem Per-Unit<sup>[6]</sup>

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

$$\text{Besaran per-unit} = \frac{\text{Besaran Sebenarnya}}{\text{Besaran dasar dengan dimensi yang sama}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Rumus yang digunakan untuk penentuan arus dasar dan impedansi dasar adalah:

➤ Untuk data 1 fasa

Arus dasar

$$I_d = \frac{\text{KVA dasar 1 fasa}}{\text{kV dasar L-N}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Impedansi dasar

$$\begin{aligned} Z_d &= \frac{(kV \text{ dasar } L - N)^2 \times 1000}{kVA \text{ dasar } 1 \text{ fasa}} \\ &= \frac{(kV \text{ dasar } L - N)^2}{MVA \text{ dasar } 1 \text{ fasa}} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (2.14)$$

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

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

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{Impedansi dasar } Z_d} \text{ pu} \quad \dots \dots \dots \quad (2.15)$$

### BAB III

## ANALISA PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER 20 KV TIPE RADIAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *HEURISTIK DAN TABU SEARCH*

### 3.1 Analisa Aliran Daya Jaringan Radial

Sebelum melakukan optimasi dengan menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search* dilakukan suatu proses analisa aliran daya untuk mengetahui kondisi suatu sistem distribusi radial. Adapun tujuan mempelajari analisa aliran daya ini adalah untuk mengetahui profil tegangan pada setiap bus dari sistem jaringan, mengetahui besarnya daya yang mengalir pada saluran, untuk mengetahui rugi daya aktif dan rugi daya reaktif dari saluran.

#### 3.1.1 Metode Newton Raphson

Secara matematis persamaan aliran daya *Newton Raphson* dapat diselesaikan dengan menggunakan koordinat rectangular, koordinat polar atau bentuk hibrid (gabungan antara 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 :

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

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 :

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

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

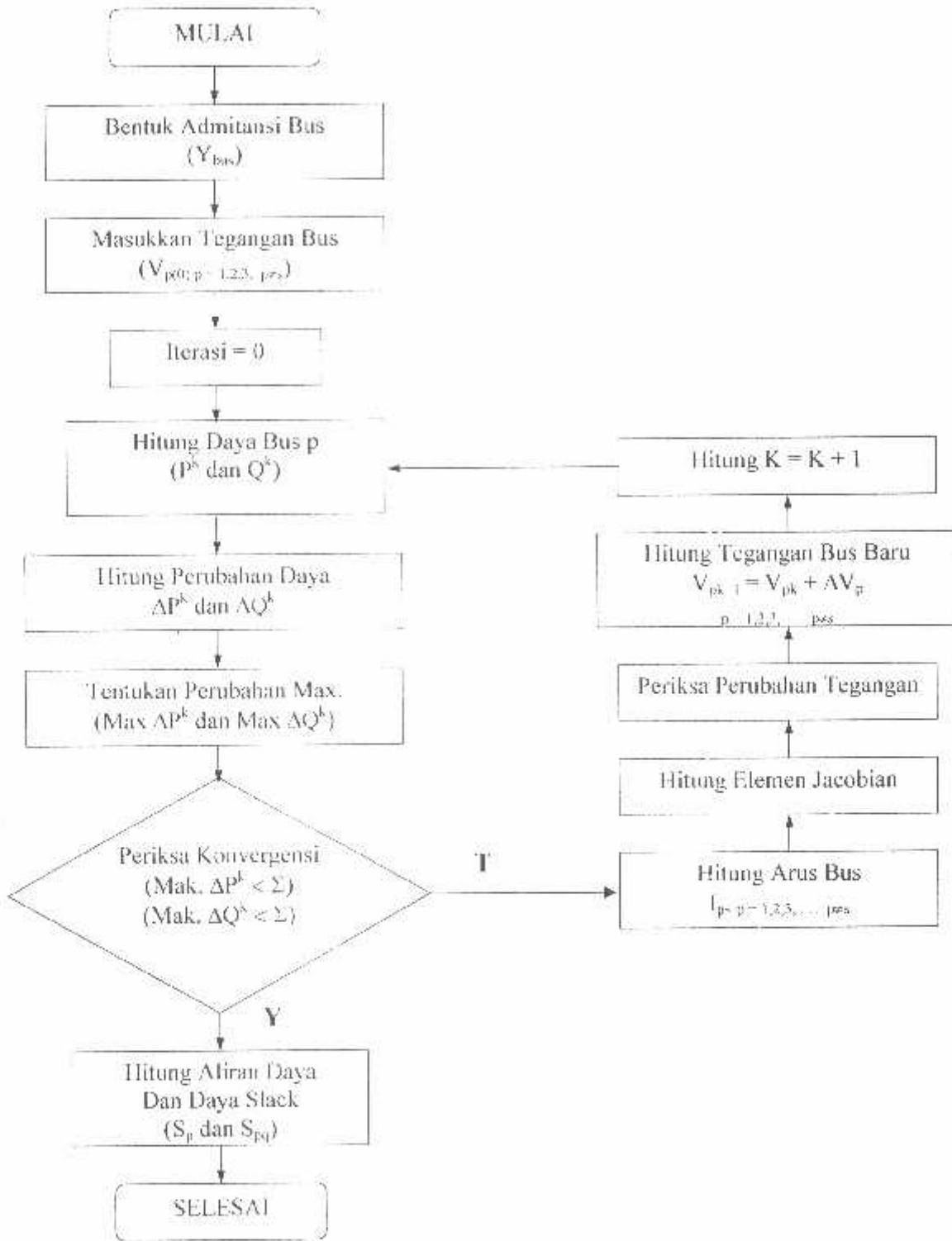
Kedua persamaan diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (simultan) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui magnitude tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) disetiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) yang dilinierkan dengan metode *Newton Raphson* yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

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.

Algoritma aliran daya *Newton Raphson*:

1. Tentukan nilai  $P_{P(\text{ditetapkan})}$  dan  $Q_{P(\text{ditetapkan})}$  yang mengalir ke dalam sistem pada setiap rel untuk nilai yang ditentukan atau perkiraan dari besar dan sudut tegangan untuk iterasi pertama atau tegangan yang ditentukan paling akhir untuk iterasi berikutnya.
2. Hitung  $\Delta P$  pada setiap rel.
3. Hitung nilai-nilai matrik Jacobian dengan menggunakan nilai-nilai perkiraan atau yang ditentukan dari besar dan sudut tegangan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan differensial persamaan (3.5) dan (3.6).
4. Balikkan Jacobian itu dan hitung koreksi-koreksi tegangan  $\Delta\delta_q$  dan  $\Delta|V_q|$  pada nilai sebelumnya.
5. Hitung nilai baru dari  $\delta_q$  dan  $|V_q|$  dengan menambahkan  $\Delta\delta_q$  dan  $\Delta|V_q|$  pada nilai sebelumnya.
6. Kembali ke langkah pertama dan ulangi proses itu dengan menggunakan nilai untuk besar dan sudut tegangan yang ditentukan paling akhir sehingga semua nilai  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  atau semua nilai  $\Delta\delta$  dan  $\Delta|V|$  lebih kecil dari suatu indeks ketetapan yang telah dipilih.

### 3.1.2. Diagram Alir Aliran Daya Newton Raphson



**Gambar 3-1. Diagram Alir Aliran Daya Newton Raphson**

Sumber : Sulastri, "Analisis Sistem Tenaga Listrik", Cetakan Kesatu, Satya Wacana, Semarang, 1993.

### 3.2. Metode Strategi Pencarian *Heuristik*

Pemasangan kapasitor shunt pada sistem distribusi radial adalah sangat penting antara lain adalah memperbaiki stabilitas sistem, perbaikan faktor daya, perbaikan profil tegangan dan meminimalkan rugi-rugi. Oleh karena itu penting untuk mencari ukuran optimal dan lokasi kapasitor yang dibutuhkan untuk meminimalkan rugi-rugi feeder (daya dan energi). *Heuristik* atau metode *Heuristik* pada dasarnya adalah aturan ibu jari yang mengkodekan bagian dari pengetahuan tentang bagaimana menyelesaikan suatu masalah dalam beberapa domain (wewenang). Dibidang alokasi kapasitor, aturan *Heuristik* menghasilkan strategi yang cepat dan praktis yang menurunkan ruang pencarian mendalam dan dapat menghasilkan penyelesaian yang mendekati optimal. Strategi *Heuristik* menyajikan pengurangan rugi-rugi sistem dengan mengidentifikasi node yang sensitive dimana kapasitor akan diletakkan. Node-node ini ditentukan pertama kali dengan mengidentifikasi cabang pada sistem dengan rugi-rugi terbesar yang disebabkan oleh arus reaktif, node yang memberikan beban terbesar yang mempengaruhi rugi-rugi pada cabang tersebut, dipilih sebagai node calon. Ukuran kapasitor adalah nilai yang menghasilkan rugi-rugi nyata sistem minimum. Aliran beban dilakukan kemudian untuk menjamin bahwa tidak ada pelanggaran tegangan yang terjadi. Proses diulang untuk node calon berikutnya sampai tidak ada pengurangan rugi-rugi lebih lanjut yang dicapai.

Metode *Heuristik* mencari lokasi kapasitor secara sekuensial/berurutan, sekali kapasitor ditentukan ukuran kapasitor optimal pada tiap lokasi yang dipilih

untuk semua kapasitor ditentukan secara simultan, untuk mencegah kompensasi berlebih pada salah satu lokasi.

### 3.3. Metode Tabu Search (TS)

Metode *Tabu Search* yang menyediakan cara yang lebih baik dalam menganalisa masalah penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi primer. Pada prinsipnya metode *Tabu Search* lebih dititik beratkan pada masalah biaya yang paling rendah (ekonomis). Selain itu juga metode *Tabu Search* waktu yang digunakan dalam perhitungan lebih cepat, karena dalam perhitungannya kita diarahkan hanya kesatu titik saja, yaitu ketitik yang memberikan hasil dengan biaya termurah dari penempatan kapasitor.

Dalam metode ini yaitu bagaimana cara semaksimal mungkin menekan rugi-rugi saluran dan untuk meminimalkan biaya investasi kapasitor, sehingga didapat keuntungan dari segi teknis maupun ekonomis. Ini dapat dilihat dari formulasi yang dideskripsikan seperti dibawa ini :

$$\text{Min } v = k \sum_{i=0}^n T_i P_i(x_i) + \sum_{k=1}^m f(\mu_k), \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana :  $G^i(x_i, u_i) = 0; \quad i = 0, 1, \dots, n_1, \dots \dots \dots (3.9)$

$H^i(x_i) \leq 0; \quad i = 0, 1, \dots, n_1$

$0 \leq u_i' \leq u_i''; \quad k \in C_1$  atau

$0 \leq u_i' - u_i''; \quad k \in C_2$

Keterangan :  $K_c$  menyajikan biaya energi dalam SUS/Kwh.

$T_i P_i(x_i)$  = biaya kerugian waktu beban yang berbeda pada level  $i$ .

### 3.3.1. Perpindahan dan seleksi

Langkah pertama dari Tabu Search (TS) adalah mendefinisikan sekelompok perpindahan yang mungkin diaplikasikan untuk solusi bersifat coba-coba guna menghasilkan perpindahan yang baru. Diantara semua solusi yang dihasilkan, TS mencari satu perpindahan yang menjadi lebih baik yang berarti ada beberapa obyektif local, maka TS memilih satu diantara mereka yang memberikan fungsi obyektif.

Dalam problem penempatan kapasitor, proses pencarian dari solusi coba-coba menunjukkan calon lokasi dari kapasitor, kapasitas tegangan, kehilangan daya, besarnya tegangan, dan nilai fungsi obyektif yang berkaitan dengan perpindahan ini.

### 3.2.2. Daftar Tabu.

Guna menghindari kembali ke solusi yang baru saja dilakukan, maka perpindahan-perpindahan solusi yang telah dicoba harus diingat. Hal ini dilakukan dengan menyimpan perpindahan pada struktur data, seperti panjang struktur pertama yang disebut daftar tabu. Elemen-elemen daftar tabu disebut perpindahan tabu. Segera setelah solusi coba-coba dibangkitkan, maka solusi coba-coba ini dicek apakah ada dalam daftar tabu atau tidak. Jika ada, maka ruang pencarian yang berhubungan akan dikurangi, begitu seterusnya.

Dimensi daftar tabu ini disebut dengan ukuran daftar tabu. Pilihan daftar tabu sangat penting. Jika ukurannya terlalu besar maka solusi dengan kualitas yang lebih tinggi tidak dapat dicapai. Sedangkan jika terlalu kecil maka

perputaran kembali bisa terjadi dalam proses pencarian dan proses ini sering kembali kembali kesolusi yang baru saja dilakukan/ dikunjungi. Dalam skripsi kali ini menggunakan daftar perpaduan yang dimanis yang berperan sebagai daftar tabu, yang ukurannya adalah 20 untuk mencatat solusi yang baru saja dilakukan/dikunjungi. Hal ini berarti bahwa perpindahan akan disimpan dalam tabu untuk durasi waktu selama 20 perpindahan. Untuk perpindahan waktu yang keselanjutannya dicek apakah ada dalam daftar tabu apa tidak, jika ada maka periksa kembali apakah lebih baik dari yang ada dalam daftar tabu apa tidak, dan jika lebih baik diambil dan dipilih dari ketujuh yang ada dalam daftar tabu yang terjelek di buang dan apabila tidak proses dilanjutkan.

### 3.3.3. Kriteria Aspirasi

Karena daftar tabu melarang adanya perpindahan tertentu yang menarik dan berharga yang mungkin mengarah kesolusi yang lebih baik dari pada yang terbaik yang pernah ditemukan selama ini, oleh karena itu kriteria aspirasi digunakan untuk memungkinkan perpindahan tabu yang diberikan jika perpindahan tersebut dinilai berharga atau menarik. Dengan kata lain, kriteria aspirasi adalah untuk memungkinkan perpindahan tabu yang sangat baik untuk diseleksi menjadi yang terbaik sebagai hasil optimal.

### 3.6. Biaya Instalasi Ekivalen Kapasitor ( $K_C$ )

Biaya instalasi kapasitor merupakan hubungan antara kapasitas kapasitor, umur guna kapasitor serta biaya pemeliharaan dan operasinya. Berdasarkan referensi yang ada, tabel di bawah ini menunjukkan 27 macam ukuran kapasitor dan biaya instalasinya.

**Tabel 3.1**  
**Kapasitas kapasitor dan Biaya instalasinya**

No.	Kapasitas Kapasitor (kVAr)	Biaya (K\$) (\$/kVAr/Tahun)
1	150	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25300
4	600	0.22000
5	750	0.27600
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.18700
13	1950	0.21100
14	2100	0.17600
15	2250	0.19700
16	2400	0.17000
17	2550	0.18900
18	2700	0.18700
19	2850	0.18300
20	3000	0.18000
21	3150	0.19500
22	3300	0.17400
23	3450	0.18800
24	3600	0.17000
25	3750	0.18300
26	3900	0.18200
27	4050	0.17900

Sumber : S.F. Mekhamer, M.E. El-Hawary, S.A. Soliman, M.A. Moustafa, and M.M. Mansour, "New Heuristic Strategies for Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders", IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 17, no. 4, October 2002.



### 3.7. Algoritma Penyelesaian Masalah

Urutan langkah-langkah yang digunakan dalam program komputer dapat dilihat pada algoritma program sebagai berikut :

Phase 1 strategi *Heuristik* :

1. Masukan data jaringan distribusi penyulang pujon.
2. Menentukan  $n_p$ , ukuran populasi.
3. Melakukan aturan metode *Heuristik*.
4. Membuat konfigurasi dasar dengan menempatkan kapasitor yang sensitivitas tertinggi dari kapasitas kapasitor sampai loss naik, kemudian ulangi proses tersebut sampai didapat loss yang optimal (terkecil).
5. Membangun turunan dari konfigurasi dasar diatas.
6. Apakah jumlah konfigurasi sama dengan  $n_p$ , apabila ya teruskan ke step selanjutnya (7), apabila tidak kembali ke step sebelumnya (5).
7. Kemudian memilih elit konfigurasi dengan syarat  $n_e < n_p$ .
8. Selesai.

Dilanjutkan ke Phase 2 strategi *Tabu search* :

1. Melakukan konfigurasi pencarian *Tabu Search (TS)*.
2. Jalankan *Load Flow*.
3. Menentukan high sensitivitas bus.
4. Membangun konfigurasi tetangga sebanyak  $n_p$
5. Uji fisible setiap konfigurasi tetangga memenuhi syarat atau tidak.
6. Mengubah kapasitas kapasitor.

7. Memilih dari  $n_p$  konfigurasi tetangga yang terbaik.
8. Menguji dengan memasukkan metode *TS*.
9. Apakah  $\text{improve} < \text{improve}_{\max}$  apabila tidak lanjut ke step selanjutnya (10), apabila ya kembali ke step (2).
10. Memperbaharui daftar konfigurasi *TN*.
11. Apabila kriteria terpenuhi stop cetak hasil optimal, apabila tidak lakukan crossover kembali ke step (2).

## BAB IV

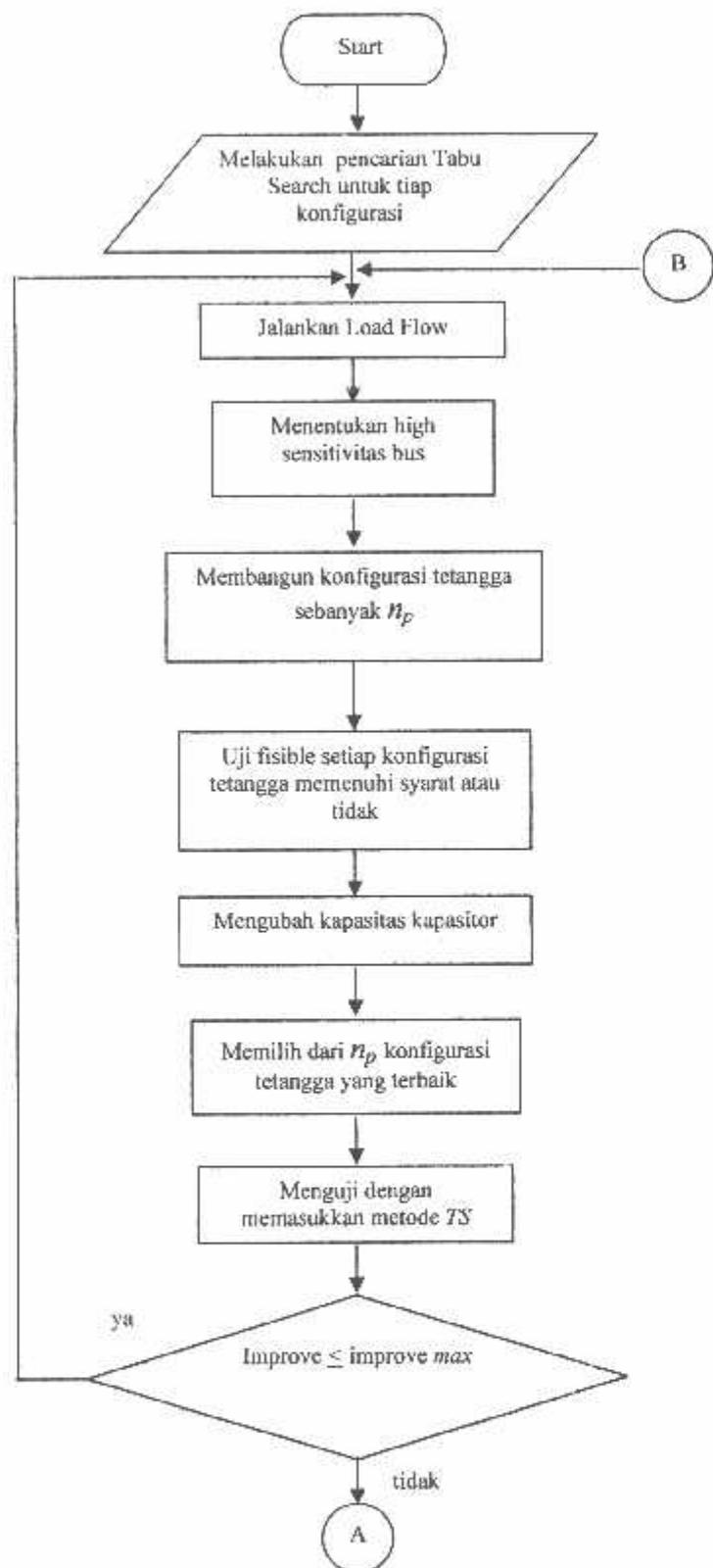
### STUDI OPTIMASI PENEMPATAN KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER

#### 4.1. Analisis Penempatan Kapasitor Dengan Penggabungan Metode *Heuristik* dan *Tabu Search*

Dalam memilih suatu metode solusi untuk aplikasi praktis sering sulit, pilihan itu memerlukan analisa yang cermat atas kelebihan-kelebihan dan kekurangan-kekurangan dari metode yang ada. Untuk solusi dari permasalahan di atas maka digunakan suatu alternatif penggabungan metode *Heuristik* dan *Tabu Search* yang menyediakan cara yang lebih baik dalam menganalisa masalah penempatan kapasitor.

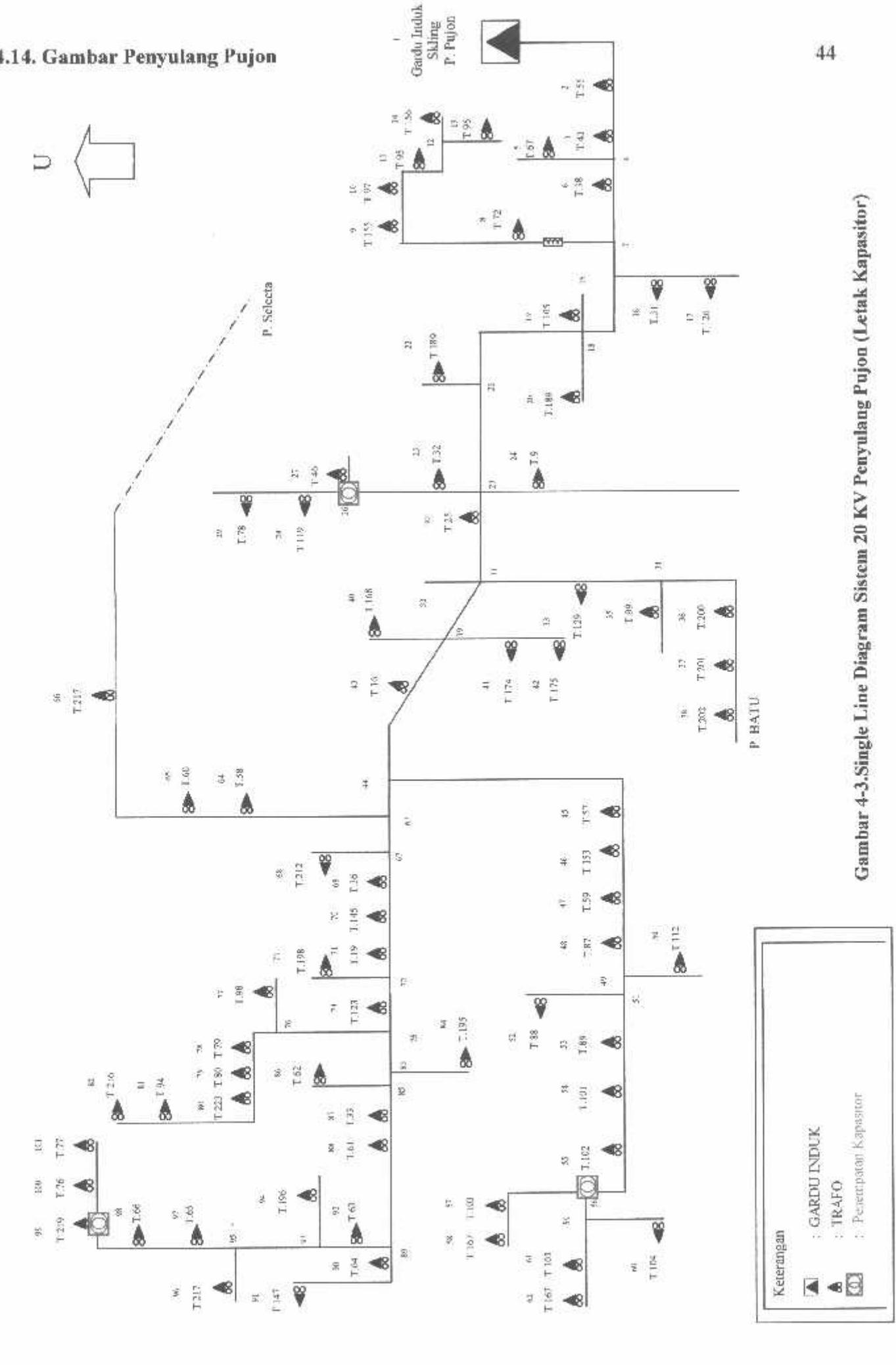
Dalam perhitungan analisis penempatan kapasitor disini menggunakan program komputer. Pada prinsipnya penggunaan program komputer dapat menganalisis sebuah jaringan distribusi radial dengan jumlah cabang atau jumlah bus yang tidak terbatas, tergantung dari memori yang tersedia dalam komputer yang digunakan.

#### 4.1.3. Diagram Alir Algoritma Metode Tabu Search



#### 4.14. Gambar Penyulang Pujon

44



## 4.2. Data Perhitungan

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 150/20 kV – 30 MVA dan 150/20 kV – 30 MVA.

Namun pada skripsi saya ini hanya menganalisa satu penyulang saja, yaitu pada penyulang Pujon. Sistem distribusi radial GI Sengkaling memakai tegangan distribusi 20 kV. Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya terlebih dahulu ditetapkan *single line diagram* yang akan dianalisis. Agar memudahkan perhitungan maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana dasar yang digunakan :

- Tegangan dasar : 20 kV
- Daya dasar : 100 kVA

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

### 4.2.1. Data Saluran

Jaringan distribusi primer GI Sengkaling menggunakan saluran kabel udara dengan spesifikasi seperti pada tabel 4-1

**Tabel 4-1**  
**Data Saluran Sistem 20 KV GI Sengkaling Penyulang Pujon**

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm <sup>2</sup> )	Resistansi Konduktor (r) (Ω/km)	GMR (mm)	Kuat Hantar Arus (A)
AAAC	35	0,9217	2,4227	170
AAAC	50	0,6452	2,8957	210
AAAC	70	0,4608	3,4262	255
AAAC	120	0,2688	4,6837	365
AAAC	150	0,2162	5,2365	425

Adapun data saluran penyulang Pujon seperti pada tabel 4-2.

**Tabel 4-2**  
**Data Penghantar AAAC**

Penampang nominal (mm <sup>2</sup> )	Jari-jari (mm)	Urat	GMR (mm)	Impedansi (Ω/km)
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 - j 0,3790
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 - j 0,3678
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 - j 0,3572
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305

Tabel 2 selengkapnya dapat diliat pada lampiran.

#### 4.2.2. Data Pembebanan

Data 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 bus tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan, adapun data pembebanan seperti pada table

**Tabel 4-3**  
**Data Pembebatan PenyulangPujon**

No. Node	Tegangan Awal		Pembangkitan		Pembebatan		Type Node
	V (pu)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Slack
2	1.0000	0.0000	-	-	36.12	21.24	Load
3	1.0000	0.0000	-	-	90.3	53.57	Load
4	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
5	1.0000	0.0000	-	-	0.000	0.000	Load
6	1.0000	0.0000	-	-	21.5	12.75	Load
7	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
8	1.0000	0.0000	-	-	50.74	30.10	Load
9	1.0000	0.0000	-	-	0.000	0.000	Load
10	1.0000	0.0000	-	-	121.26	71.93	Load

Tabel 4-3 Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.2.3. Data Kapasitor

Berdasarkan referensi, table 4-4 berikut menunjukkan 27 macam ukuran kapasitas kapasitor beserta biaya ekivalen instalasinya.

**Tabel 4-4**

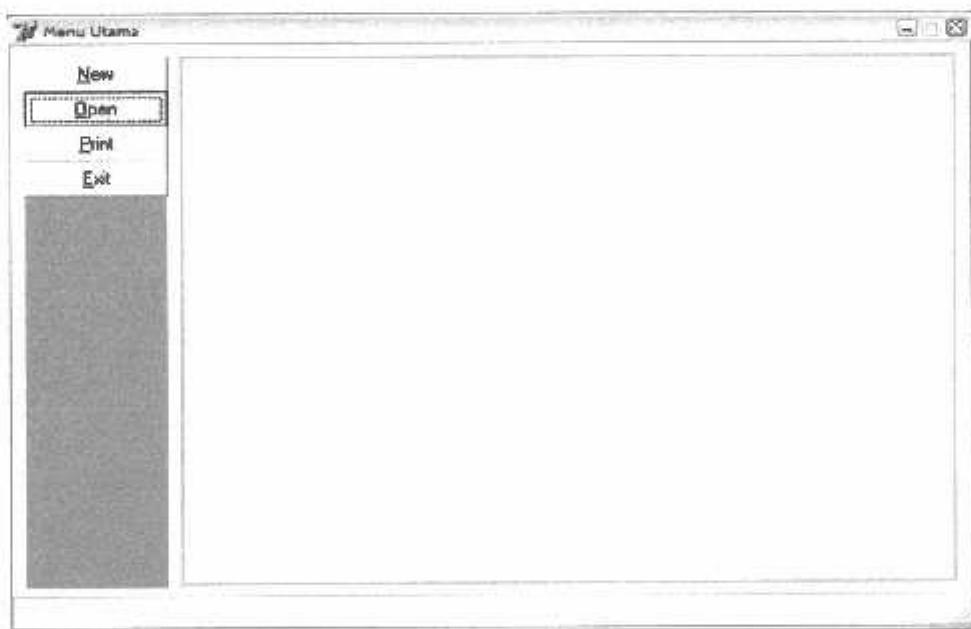
No	Kapasitas Kapasitor (KVAR)	Biaya (K\$) (\$/KVAR/TAHUN)
1	150	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25300
4	600	0.22000
5	750	0.27600
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.18700
13	1950	0.21100
14	2100	0.17600
15	2250	0.19700

16	2400	0.17000
17	2500	0.18900
18	2700	0.18700
19	2850	0.18300
20	3000	0.18000
21	3150	0.19500
22	3300	0.17400
23	3450	0.18800
24	3600	0.17000
25	3750	0.18300
26	3900	0.18200
27	4050	0.17900

#### 4.3 Tampilan Program

Dalam skripsi ini menggunakan bantuan bahasa pemrograman Borland Delphi versi 7.0 dan diaplikasikan pada komputer dengan Processor AMD Athlon XP 2000+, dengan memori 512 Mb. Mengenai jalannya program ikuti prosedur program sebagai berikut :

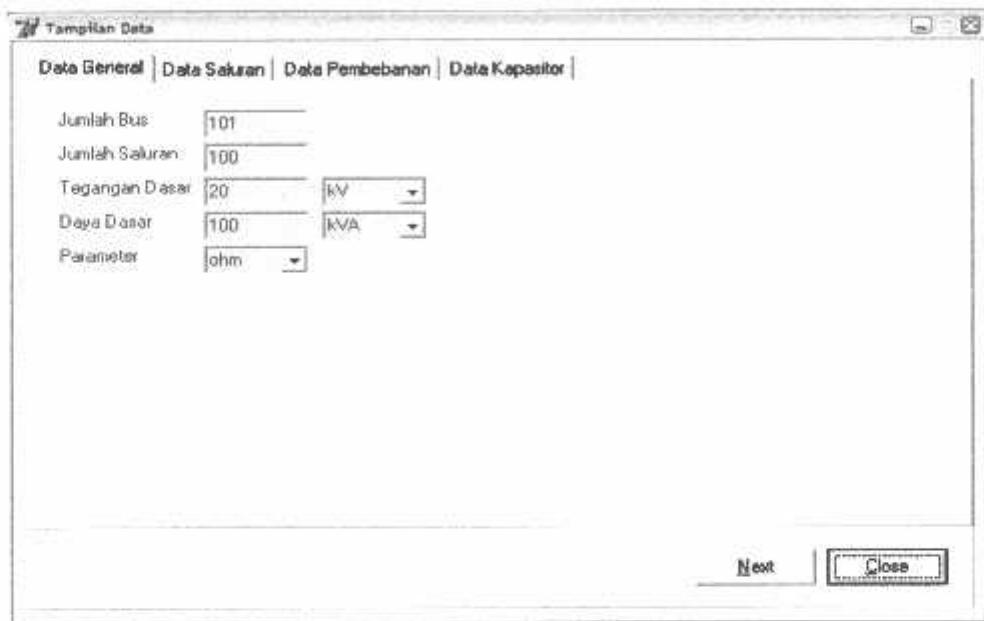
1. Tampilan utama dari program



Gambar 4-4 Tampilan Utama Program

2. Tekan tombol New untuk memasukan data baru atau tekan Open untuk data yang sudah tersimpan

### 2.1. Data General



### 2.2. Data Saluran Penyalang Pujon

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)	Lc (pu)	Ti
1	1	2	0,1255	0,1918	0	0
2	2	3	0,3097	0,4735	0	0
3	3	4	0,1868	0,2855	0	0
4	4	5	0,0185	0,0202	0	0
5	4	6	0,1477	0,2258	0	0
6	6	7	0,4503	0,6884	0	0
7	7	8	0,0334	0,051	0	0
8	8	9	0,0896	0,137	0	0
9	9	10	0,1938	0,2963	0	0
10	10	11	0,1002	0,1532	0	0
11	11	12	0,0977	0,1494	0	0
12	12	13	0,308	0,4708	0	0
13	12	14	0,2666	0,4075	0	0
14	7	15	0,2631	0,4114	0	0
15	15	16	0,0196	0,0299	0	0

### 2.3. Data pembebanan Penyulang Pujon

Tampilan Data

No	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Cap	Typ Bus
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	38,12	21,42	0	3
3	1	0	0	0	90,3	53,57	0	3
4	1	0	0	0	0	0	0	3
5	1	0	0	0	0	0	0	3
6	1	0	0	0	21,5	12,75	0	3
7	1	0	0	0	0	0	0	3
8	1	0	0	0	50,74	30,1	0	3
9	1	0	0	0	0	0	0	3
10	1	0	0	0	121,26	71,93	0	3
11	1	0	0	0	74,82	44,38	0	3
12	1	0	0	0	0	0	0	3
13	1	0	0	0	0	0	0	3
14	1	0	0	0	67,94	40,3	0	3
15	1	0	0	0	0	0	0	3

Next | Close

### 2.4. Data Kapasitor

Tampilan Data

No	Cap (kVAR)	Harga (kVAR/\$)
1	150	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25300
4	600	0.22000
5	750	0.27600
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.18700
13	1950	0.21100
14	2100	0.17600
...	...	...

Jumlah Kapasitor: 27  
Annual Cost of Losses (US \$/kW): 168,00

Next | Close

Gambar 4-5 Tampilan Inputan Data

3. Tekan Tombol Next kemudian tekan tombol hitung NR ( *Newton Raphson* ) untuk melihat hasil perhitungan aliran daya untuk Load Flow awal

### 3.1. Kondisi Tegangan Dan Sudut Fasa Tegangan Sebelum Kompensasi

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAR)	Qload (kVAR)
1	1.00000	0.00000	3793.000	2336.400	0.000	0.000
2	0.99793	-0.00274	0.000	0.000	36.120	21.420
3	0.98205	-0.21506	0.000	0.000	30.300	53.570
4	0.98874	-0.33997	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.98874	-0.33997	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.98611	-0.37910	0.000	0.000	21.500	12.750
7	0.97618	-0.60395	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.97813	-0.90243	0.000	0.000	50.740	30.100
9	0.97801	-0.90574	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.97776	-0.61291	0.000	0.000	121.250	71.930
11	0.97709	-0.61492	0.000	0.000	74.820	44.380
12	0.97756	-0.61506	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.97792	-0.61505	0.000	0.000	0.000	0.000

[Tabu Search] [Hitung NR] [Close]

### 3.2. Aliran Daya.

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)	Arus	Summary Result
1		2	-3799.080	2336.400	0.0	Total Pembangkitan 3799.080 + j2336.400 kVA
2	1	2	-3782.863	-2326.999	0.1	Total Pembebanan 3687.060 + j2181.141 kVA
3	2	3	3786.743	2305.478	0.0	Total Rugi-Rugi Saturan 102.020 + j155.259 kVA
4	3	2	-7711.686	-2282.463	0.0	Iterasi 3
5	3	4	3641.389	2228.823	0.0	Waktu Komputasi (jam:menit:detik:milidik)
6	4	3	-3632.740	-2215.873	0.0	0:0:0.250
7	3	5	0.000	-0.000	0.0	
8	4	6	3632.740	2215.873	0.0	
9	5	4	0.000	0.000	0.0	
10	6	4	-3635.901	-2205.210	0.0	
11	6	7	3604.401	2192.462	0.0	
12	7	8	-3603.798	-2180.968	0.0	

[Tabu Search] [Hitung NR] [Close]

Gambar 4-6 Hasil Aliran Daya Menggunakan Newton Raphson

4. Kemudian pilih Load Flow Akhir dan tekan tombol Tabu Search

4.1. Kondisi Tegangan Dan Sudut Fasa Tegangan Setelah Kompensasi

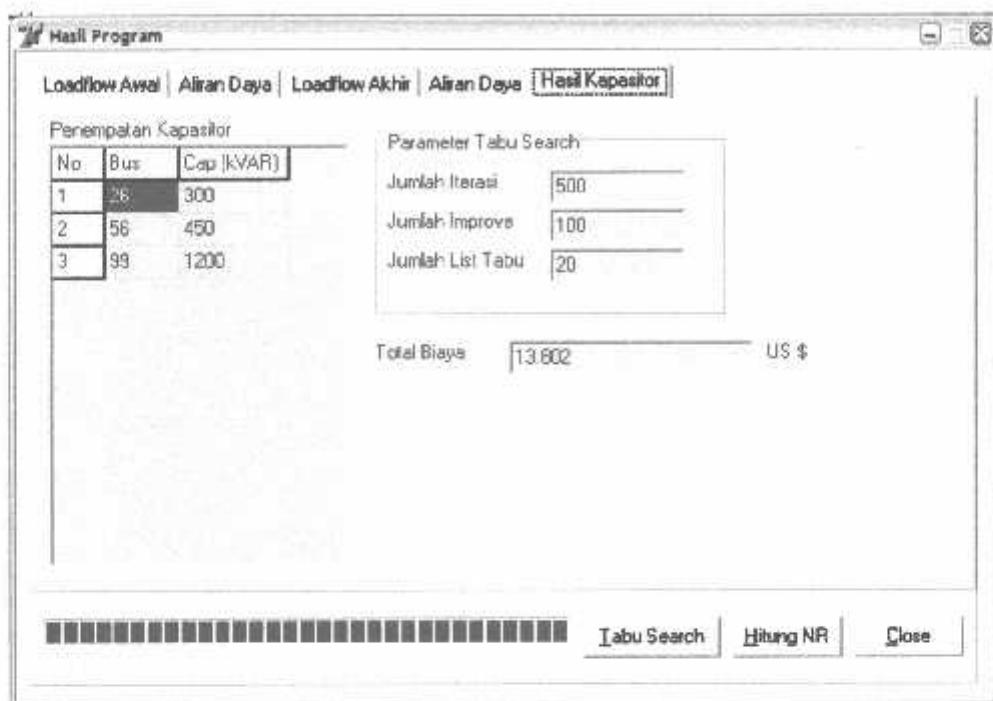
Bus	Abs V [pu]	Sud V [deg]	Pgen [kW]	Qgen [kVAr]	Pload [kVAr]	Qload [kVAr]
1	1.00000	0.00000	3766.695	348.677	0.000	0.000
2	0.99865	-0.09735	0.000	0.000	36.120	21.420
3	0.99539	0.33728	0.000	0.000	90.300	53.570
4	0.98352	-0.48041	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.99352	-0.48041	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.99204	-0.59393	0.000	0.000	21.500	12.750
7	0.98760	-0.94103	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.98754	-0.94247	0.000	0.000	50.740	30.100
9	0.98743	-0.94573	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.98718	-0.95276	0.000	0.000	121.260	71.990
11	0.98711	-0.95473	0.000	0.000	74.820	44.380
12	0.98708	-0.95564	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.98708	-0.95564	0.000	0.000	0.000	0.000

4.2. Aliran Daya.

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAr)	Aksi	Summary Result
1	1	2	3766.695	348.677	0.1	Total Pembangkitan 3766.695 + j298.677 kVA
2	2	1	-3762.205	-341.815	0.1	Total Pembebanan 3687.060 + j181.141 kVA
3	2	3	3726.685	320.395	0.1	Total Rugi Rugi Saluran 79.635 + j117.538 kVA
4	3	2	-3715.227	-303.794	0.1	Iterasi 3
5	3	4	3624.927	250.224	0.1	Waktu Komputasi (jam:minit:detik.mendek.) 0:0:251
6	4	3	-3618.704	-240.713	0.1	
7	4	5	0.000	0.000	0.1	
8	4	6	3618.704	240.713	0.1	
9	5	4	0.000	0.000	0.1	
10	6	4	-3613.784	-233.191	0.1	
11	6	7	3692.284	220.441	0.1	
12	7	6	-3577.467	-187.730	0.1	

Gambar 4-7 Hasil Load Flow akhir Dan Aliran Daya Setelah Menggunakan Perhitungan Tabu Search

## 5. Kemudian Pilih Hasil Kapasitor



**Gambar 4-8 Hasil Akhir Metode Pencarian Tabu Search Dalam Menentukan Lokasi Dan Besar Kapasitas Kapasitor**

### 4.4. Hasil Dan Analisa 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 di tiap-tiap bus. Setelah studi aliran daya dilakukan, barulah dilakukan perhitungan aliran daya dan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk memudahkan perhitungan dan analisa pada sistem tenaga, biasanya dipakai harga-harga dalam per-satuan. Harga per-satuan adalah harga yang sebenarnya dibagi dengan harga dasar, dimana harga dasar ini dapat dipilih sembarang. Harga yang dipilih pada studi ini adalah 20 kV dan 100 kVA sebagai

harga tegangan dasar dan daya dasar. Mengingat bahwa pada jaringan tidak dilakukan pengukuran faktor daya, maka pada perhitungan ini diambil harga faktor daya sebesar 0,8.

Perhitungan diawali dengan menampilkan single line diagram dari penyulang yang mewakili keadaan sistem yang sesungguhnya. Dari gambar 4-3 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

Dengan mengacu pada gambar single line diagram penyulang Pujon, maka dapat diperoleh hasil impedansi saluran seperti pada table 4-5 dibawah ini. Setelah itu baru kita lakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Raphson*.

**Tabel 4-5**

**Hasil Impedensi Saluran Penyulang Pujon**

No Node	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258

Tabel 4-4 Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Setelah dilakukan analisa aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson maka diperoleh besarnya tegangan tiap-tiap bus dan rugi-rugi

saluran seperti pada tabel 4-6 sampai tabel 4-8.

**Tabel 4-6**  
**Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node**  
**Penyalur Pujon Sebelum Kompensasi**

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)
1	1.00000	0.00000
2	0.99769	-0.06224
3	0.99205	-0.21566
4	0.98874	-0.30667
5	0.98874	-0.30667

Tabel 4-6 Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-7**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyalur Pujon Sebelum Kompensasi**

Saluran	P (kW)	Q (kVAr)
1-2	3789.000	2336.400
2-3	3746.743	2305.478
3-4	3641.389	2228.893
4-5	0.000	0.000
4-6	3632.740	2215.673

Tabel 4-7 Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-8**  
**Rugi Daya Tiap Saluran Penyalur Pujon Sebelum Kompensasi**

Saluran	P (kW)	Q (kVAr)
1-2	6.217	9.502
2-3	15.054	23.015
3-4	8.649	13.22
4-5	0.0000	0.0000
4-6	6.839	10.455

Tabel 4-8 Selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

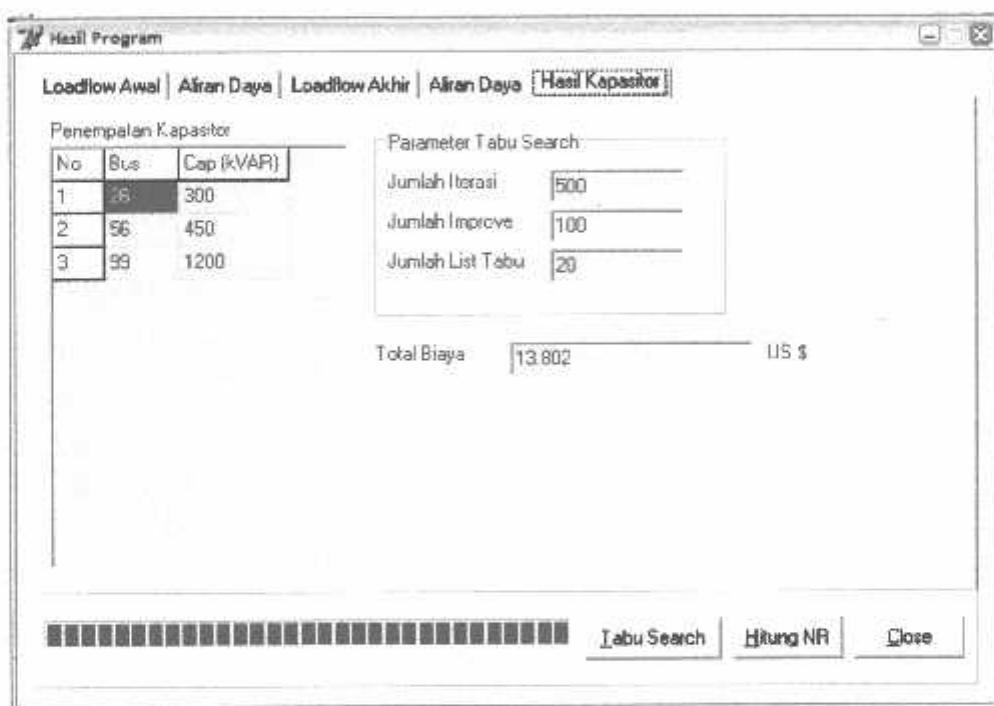
Banyaknya Saluran = 100

Banyaknya Bus = 101

Banyaknya Iterasi = 3

Rugi Total Saluran :  $102.020 + j 155.259$  KVA

Setelah dilakukan analisa dengan menggunakan metode *Tabu Search*, akan diperoleh hasil yaitu jumlah, letak, kapasitas dan total biaya tahunan setelah penempatan kapasitor tersebut. Seperti terlihat pada gambar 4-9.



**Gambar 4-9 Hasil Akhir Metode Pencarian Tabu Search**

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa kapasitor dipasang pada bus 99, bus 56, dan bus 26 dengan kapasitas masing-masing yaitu sebesar 1200 kVAR, 450 kVAR dan 300 kVAR. Total biaya setelah instalasi kapasitor tersebut sebesar \$13.802 per tahun.

Setelah dilakukan penempatan kapasitor maka diperoleh perbaikan profil tegangan, aliran daya tiap-tiap saluran dan rugi-rugi saluran. Dapat dilihat pada tabel 4-9 sampai dengan tabel 4-11.

**Tabel 4-9**  
**Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node**  
**Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi**

Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)
1	1.00000	0.00000
2	0.99872	-0.10004
3	0.99564	-0.34660
4	0.99387	-0.49370
5	0.99387	-0.49370

Tabel 4-9 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-10**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi**

Saluran	P (kW)	Q (kVAR)
1-2	3766.649	198.466
2-3	3726.065	170.225
3-4	3624.965	100.144
4-5	0.000	0.000
4-6	3618.770	90.675

Tabel 4-10 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-11**  
**Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Pujon Sesudah Kompensasi**

Saluran	P (kW)	Q (kVAR)
1-2	4.464	6.821
2-3	10.800	16.511
3-4	6.195	9.469
4-5	0.000	0.000
4-6	4.898	7.488

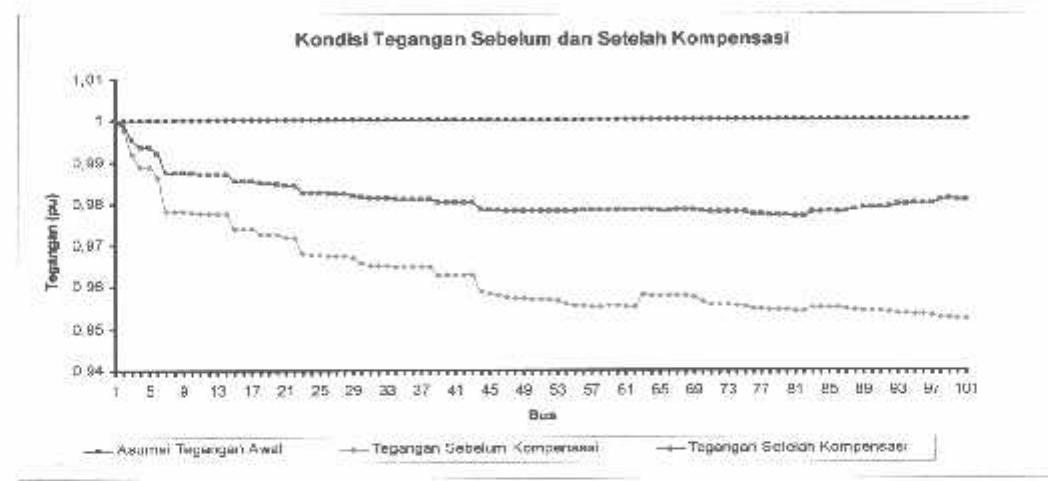
Tabel 4-11 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Banyaknya Saluran = 100

Banyaknya Bus = 101

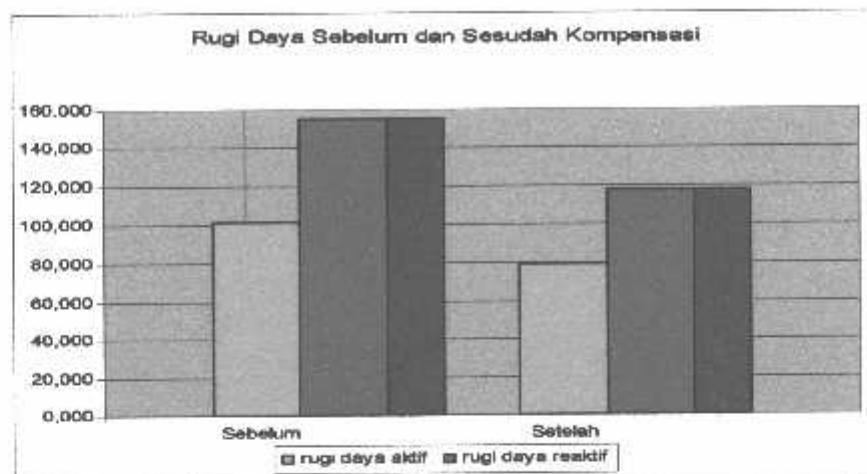
Banyaknya Iterasi = 3

Rugi Total Saluran :  $79.635 + j117.536 \text{ kVA}$



**Grafik 4-1 Tegangan Tiap-Tiap Node Terhadap Asumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum Dan Tegangan Sesudah Kompensasi**

Dari grafik 4-1 terlihat bahwa tegangan tiap bus sebelum dilakukan kompensasi rata-rata sebesar dibawah 0.97 pu bahkan sampai dibawah 0.96 pu, tetapi setelah dilakukan kompensasi dengan pemasangan kapasitor maka terjadi perbaikan tegangan, rata-rata besar tegangan pada tiap-tiap bus menjadi diatas 0,98 pu.



**Grafik 4-2 Rugi-Rugi Saluran Sebelum Dan Sesudah Kompensasi**

Dari grafik 4-2 terlihat bahwa terjadi pengurangan rugi daya saluran, baik daya aktif maupun daya reaktif mengalami penurunan setelah kapasitor dipasang.

**Tabel 4-12**  
**Perbandingan kondisi sebelum dan setelah kompensasi**

Uraian	Sebelum kompensasi	Setelah kompensasi
Rugi Daya Total (kVA)	$102,020 + j 155,259$	$79,635 + j 117,536$
kVAR (Bus)		300 (26) 450 (56) 1200 (99)
Total Biaya (\$/tahun)	17.293	13.802

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa mengenai penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search*, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Dari hasil perhitungan aliran daya pada penyulang pujon sebelum dikompensasi, tegangan paling rendah terjadi pada node ke-101, yang besarnya 0,95228 atau 19,0456 kV. Setelah kompensasi profil tegangan pada semua node penyulang pujon bertambah baik, untuk node ke-101 menjadi 0,98069 atau 19,6138 kV mengalami kenaikan sebesar 2,98 %.
2. Besar rugi daya mengalami penurunan yaitu untuk daya aktif sebesar 22,385 KW dari 102,020 KW menjadi 79,635 KW. Sedangkan untuk daya reaktif sebesar 37,723 KVAR dari 155,259 KVAR menjadi 117,536 KVAR.
3. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Heuristik* dan *Tabu Search* letak kapasitor yang optimal terletak pada node 99, node 56 dan node 26.
4. Kompensasi pada node 99 kapasitas yang terpasang sebesar 1200 kVAR, pada node 56 sebesar 450 kVAR dan pada node 26 sebesar 300 kVAR.

5. Dari hasil perhitungan program maka dapat diketahui besar total biaya setelah pemasangan kapasitor tersebut, yaitu sebesar 13.802 US \$ per tahun, sedangkan total biaya sebelum kompensasi adalah sebesar 17.293 US \$. Sehingga dari segi biaya (ekonomis) didapat keuntungan sebesar 3.491 US \$ per tahun.

## 5.2 Saran

Didalam optimasi penentuan letak dan kapasitas kapasitor pada jaringan distribusi primer tipe radial dengan menggunakan metode *Heuristik* dan *Tabu Search* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada maupun untuk perencanaan perluasan jaringan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramon A. Gallego, Alcir Jose Monticelli, Ruben Romero, “Optimal Capacitor Placement In Radial Distribusi Networks”, IEEE Transactions On Power System, Vol. 16, No. 4. November 2001.
- [2] S.F. Mekhamer, S.A. Soliman, M.A. Maustafa, and M.E. EL-Hawary, “Application of Fuzzy Logic For Reactif Power Compensation of Radial Distribution Feeders”, IEEE Trans. On Power system, Vol 18, No. 1, Februari 2003.
- [3] S.F. Mekhamer, M.E. El-Hawary, S.A. Soliman, M.A. Moustafa, and M.M. Mansour, ” New Heuristic Strategies For Reactive Power Compensation Of Radial Distribution Feeders”, IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.17, No, 4, Oktober 2002.
- [4] Ching-Tzong Su, Senior Member, IEEE and Chu-Sheng Lee,”Modified differential Evolution Method for Capacitor Placement of Distribution System”, *IEEE* 2002.
- [5] Hasan Basri,”Sistem Distribusi Tenaga Listrik”.
- [6] Djiteng Marsudi,”Operasi Sistem Tenaga Listrik”, Balai Penerbit dan Humas ISTN, 1990.
- [7] William D. Stevenson, Jr, “Analisis Sistem Tenaga Listrik”, Edisi ke empat, Erlangga, Jakarta, 1996.
- [8] Turan Gonen. ” Electric Power Distribution System Engineering”, Mc Graw Hill, 1986.
- [9] Suliasno, “Analisis Sistem Tenaga Listrik”, Cetakan Kesatu, Satya Wacana, Semarang, 1993.

# LAMPIRAN

---

## VALIDASI PROGRAM

Data yang digunakan untuk validasi program diambil dari data jurnal **“Application of Fuzzy Logic For Reactive Power Compensation of Radial Distribution Feeders”**, S.F. Mekhamer, S.A. Soliman, M.A. Maustafa, and M.E. El Hawary, IEEE Trans. On Power System, Vol 18, No. 1, Februari 2003, dan juga **“Modified differential Evolution Method for Capacitor Placement of Distribution System”**, Ching-Tzong Su and Chu-Sheng Lee, IEEE 2002”.

### 1.1. Data saluran

**Tabel 1.1**  
**Data Saluran**

Saluran	Dari Node	Ke Node	P (KW)	Q (KVAR)	Impedensi Saluran	
					R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	0	1	1840	460	0.1233	0.4127
2	1	2	980	340	0.140	0.6051
3	2	3	1790	446	0.7463	1.2050
4	3	4	1598	1840	0.6984	0.6084
5	4	5	1610	600	1.9831	1.7276
6	5	6	780	110	0.9053	0.7160
7	6	7	1150	60	2.0552	1.1640
8	7	8	980	130	4.7953	2.7160
9	8	9	1640	200	5.3434	3.0264

### 1.2. Perbandingan Validasi

**Tabel 1.2**  
**Data Pembebatan Validasi**

	Tanpa Koopensasi	Setelah Kompensasi			Hibrid Heuristik TS
		Only Sensitivity	Exhaustive Search	Sensitivity + MIHDE	
Rugi daya total (KW)	787,778	705,875	698,180	698,180	698,936
Kapasitas Terpasang KVAR (Bus)		4050 2550 450	4050 1650 750	4050 1650 750	900 1800 2100 900
Max V (pu) Bus	0,9929 1	1,0012 2	1,0001 2	1,0001 2	1,0044 2
Min V (pu) Bus	0,8375 9	0,9010 9	0,9000 9	0,9000 9	0,90416 9
Total biaya (\$/tahun)	131.675	119.910	118.538	118.538	118.457

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa metode *Tabu Search* tanpa kompensasi dan sesudah kompensasi lebih baik dari segi teknis maupun ekonomis.

## Tampilan Validasi Program

### 1. Input Data

#### 1.1. Data General

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebatan | Data Kapasitor |

Jumlah Bus	10	
Jumlah Saluran	9	
Tegangan Dasar	23	kV
Daya Dasar	100	kVA
Parameter	ohm	

Next | Close

#### 1.2. Data Saluran

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebatan | Data Kapasitor |

No	Dari	Ka	R (pu)	X (pu)	Lc (pu)	Tr
1	1	2	0,1233	0,4127	0	0
2	2	3	0,014	0,6051	0	0
3	3	4	0,7463	1,205	0	0
4	4	5	0,6984	0,6084	0	0
5	5	6	1,9831	1,7276	0	0
6	6	7	0,9053	0,7996	0	0
7	7	8	2,0552	1,164	0	0
8	8	9	4,7353	2,716	0	0
9	9	10	5,3434	3,0264	0	0

Next | Close

### 1.3. Data Pembebatan

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | **Data Pembebatan** | Data Kapasitor |

No	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (MW)	Qgen (MVAR)	Pload (MW)	Qload (MVAR)	Cap	Typ Bus
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	1840	450	0	3
3	1	0	0	0	980	340	0	3
4	1	0	0	0	1790	446	0	3
5	1	0	0	0	1538	1840	0	3
6	1	0	0	0	1610	600	0	3
7	1	0	0	0	700	110	0	3
8	1	0	0	0	1150	60	0	3
9	1	0	0	0	980	130	0	3
10	1	0	0	0	1640	200	0	3

Next | Close

### 1.4. Data Kapasitor

Tampilan Data

Data General | Data Saluran | Data Pembebatan | **Data Kapasitor** |

Jumlah Kapasitor

Annual Cost of Losses (US \$/kW)

No	Cap (kVAR)	Harga (kVAR/\$)
1	150	0.50000
2	300	0.35000
3	450	0.25300
4	600	0.22000
5	750	0.27600
6	900	0.18300
7	1050	0.22800
8	1200	0.17000
9	1350	0.20700
10	1500	0.20100
11	1650	0.19300
12	1800	0.18700
13	1950	0.21100
14	2100	0.17600
15	2250	0.10700

Next | Close

## 2. Load Flow Awal

### 2.1. kondisi Tegangan Dan Sudut Fasa Tegangan Sebelum Kompensasi

Hasil Program						
Loadflow Awal   Aliran Daya   Loadflow Akhir   Aliran Daya   Hasil Kapasitor						
Bus	Abs V (pu)	SudV (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAr)	Qload (kVAr)
1	1.00000	0.00000	13151.760	5222.457	0.000	0.000
2	0.99290	-0.52184	0.000	0.000	1840.000	480.000
3	0.98738	-1.26762	0.000	0.000	980.000	340.000
4	0.98341	-2.33055	0.000	0.000	1790.000	446.000
5	0.94802	-2.65192	0.000	0.000	1898.000	1840.000
6	0.91717	-3.72121	0.000	0.000	1610.000	600.000
7	0.90717	-4.13669	0.000	0.000	780.000	110.000
8	0.88896	-4.61042	0.000	0.000	1150.000	60.000
9	0.85870	-5.40358	0.000	0.000	980.000	130.000
10	0.83750	-5.99014	0.000	0.000	1640.000	200.000

[Tabu Search] [Hitung NR] [Close]

## 2.2. Aliran Daya

Hasil Program					
Loadflow Awal   Aliran Daya   Loadflow Akhir   Aliran Daya   Hasil Kapasitor					
No	Dari	Ke	P (kW/st)	Q (kVAr)	Atrib
1	1	2	13151.760	5222.457	0.0
2	2	1	-13105.087	-5066.237	0.0
3	2	3	11265.087	4606.237	0.0
4	3	2	-11261.111	-4434.376	0.0
5	3	4	10281.111	4094.378	0.0
6	4	3	-10103.094	-3808.240	0.0
7	4	5	8313.894	3362.240	0.0
8	5	4	-8199.496	-3262.583	0.0
9	5	6	6601.496	1422.583	0.0
10	6	5	-6411.276	-1266.871	0.0
11	6	7	4801.276	696.872	0.0
12	7	6	-4753.501	-615.256	0.0

Summary Result

Total Pembangkitan:  $13151.760 + j5222.457$  kVA

Total Penimbahan:  $12366.000 + j4186.000$  kVA

Total Rugi-Rugi Saluran:  $783.760 + j1036.457$  kVA

Iterasi: 3

Waktu Komputasi (jam:menit:detik:mdetik): 0:0:0

[Tabu Search] [Hitung NR] [Close]

### 3. Load Flow Akhir

#### 3.1. Kondisi Tegangan Dan Sudut Fasa Tegangan Setelah Kompensasi

Hasil Program						
Loadflow Awal		Aliran Daya		Loadflow Akhir		
Bus	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kW)	Pload (kVAR)	Qload (kVAR)
1	1.00000	0.00000	13066.936	-608.522	0.000	0.000
2	0.99748	-0.59372	0.000	0.000	1840.000	460.000
3	0.99265	-1.33159	0.000	0.000	380.000	340.000
4	0.98841	-2.81910	0.000	500.000	1790.000	445.000
5	0.97917	-3.43718	0.000	1800.000	1668.000	1640.000
6	0.96977	-5.17125	0.000	2100.000	1610.000	602.000
7	0.95167	-6.64583	0.000	0.000	780.000	110.000
8	0.93651	-6.30651	0.000	0.000	1150.000	60.000
9	0.91298	-7.55430	0.000	0.000	980.000	130.000
10	0.89880	-8.70321	0.000	900.000	1640.000	200.000

Hasil Program

Loadflow Awal | Aliran Daya | Loadflow Akhir | Aliran Daya | Hasil Kapasitor |

Bus Search | Hitung NR | Close

#### 3.2. Aliran Daya

Hasil Program					
Loadflow Awal   Aliran Daya   Loadflow Akhir   Aliran Daya   Hasil Kapasitor					
Np	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)	Aarus
1	1	2	13066.936	-608.522	0.0
2	2	1	-13027.052	742.018	0.0
3	2	3	11187.062	-1202.018	0.0
4	3	2	-11183.685	1347.556	0.0
5	3	4	10203.685	-1687.556	0.0
6	4	3	-10062.375	1831.866	0.0
7	4	5	8262.375	-1477.866	0.0
8	5	4	-8167.171	1560.802	0.0
9	5	6	6569.171	-1600.802	0.0
10	6	5	-6390.420	1756.523	0.0
11	6	7	4780.420	-266.523	0.0
12	7	6	-4737.842	293.812	0.0

Summary Result

Total Pembangkitan  
13066.936 + j5091.478 kVA

Total Pembebanan  
12368.000 + j4186.000 kVA

Total Rugi-Rugi Saluran  
698.936 + j 905.478 kVA

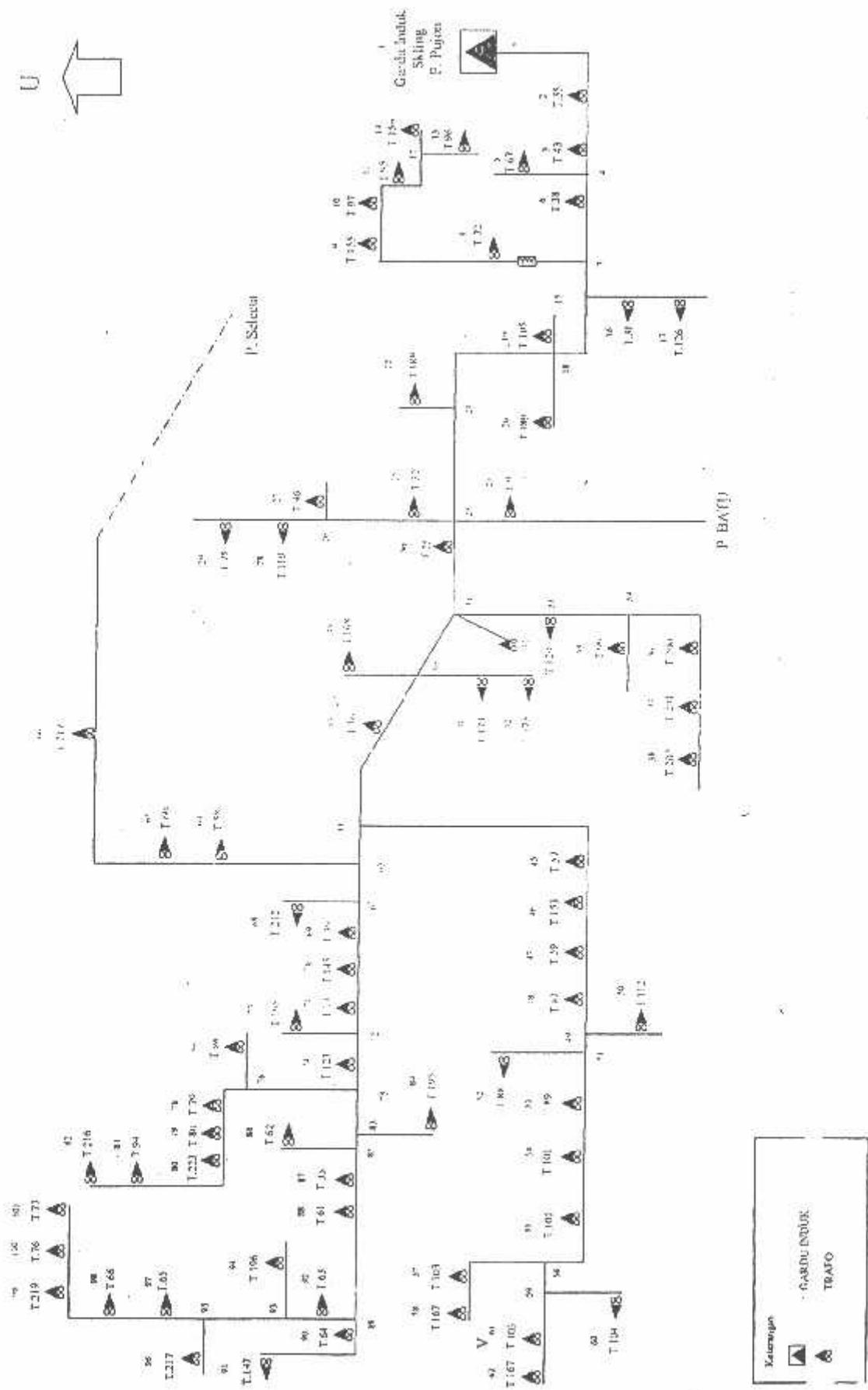
Iterasi  
3

Waktu Komputasi (jam:minit:detik:mdetik)  
0:0:0

Hasil Program

Loadflow Awal | Aliran Daya | Loadflow Akhir | Aliran Daya | Hasil Kapasitor |

Bus Search | Hitung NR | Close



**Kondisi Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node  
Penyalang Pujon Sebelum Kompensasi**

Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)	Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)
1	1.00000	0.00000	39	0.96275	-1.04189
2	0.99769	-0.06224	40	0.96275	-1.04189
3	0.99205	-0.21566	41	0.96271	-1.04332
4	0.98874	-0.30667	42	0.96270	-1.04338
5	0.98874	-0.30667	43	0.96266	-1.04470
6	0.98611	-0.37910	44	0.95879	-1.15707
7	0.97318	-0.60096	45	0.95823	-1.17335
8	0.97813	-0.60243	46	0.95802	-1.17973
9	0.97801	-0.60574	47	0.95757	-1.19279
10	0.97776	-0.61291	48	0.95728	-1.20120
11	0.97769	-0.61492	49	0.95712	-1.20596
12	0.97766	-0.61585	50	0.95709	-1.20694
13	0.97766	-0.61585	51	0.95710	-1.20660
14	0.97757	-0.61839	52	0.95710	-1.20671
15	0.97396	-0.72330	53	0.95676	-1.21671
16	0.97395	-0.72369	54	0.95600	-1.22234
17	0.97384	-0.72376	55	0.95553	-1.22587
18	0.97274	-0.75522	56	0.95534	-1.23138
19	0.97273	-0.75548	57	0.95523	-1.23474
20	0.97271	-0.75593	58	0.95519	-1.23588
21	0.97176	-0.78295	59	0.95531	-1.23234
22	0.97174	-0.78343	60	0.95530	-1.23268
23	0.96783	-0.89572	61	0.95526	-1.23377
24	0.96777	-0.89744	62	0.95523	-1.23469
25	0.96774	-0.89572	63	0.95798	-1.18071
26	0.96738	-0.89307	64	0.95799	-1.18336
27	0.96737	-0.89306	65	0.95778	-1.18666
28	0.96731	-0.99270	66	0.95776	-1.18733
29	0.96697	-0.89067	67	0.95778	-1.18653
30	0.96548	-0.96306	68	0.95776	-1.18710
31	0.96511	-0.97398	69	0.95762	-1.19119
32	0.96508	-0.97482	70	0.95643	-1.22609
33	0.96502	-0.97389	71	0.95565	-1.24886
34	0.96487	-0.97374	72	0.95562	-1.24982
35	0.96485	-0.97372	73	0.95561	-1.25020
36	0.96486	-0.97382	74	0.95532	-1.25854
37	0.96486	-0.97385	75	0.95512	-1.26466
38	0.96486	-0.97386	76	0.95456	-1.28095

Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)
77	0.95453	-1.28170
78	0.95443	-1.28496
79	0.95435	-1.28723
80	0.95425	-1.29006
81	0.95414	-1.29334
82	0.95405	-1.29620
83	0.95489	-1.27122
84	0.95489	-1.27128
85	0.95483	-1.27319
86	0.95481	-1.27356
87	0.95470	-1.27699
88	0.95441	-1.28547

Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)
89	0.95404	-1.29624
90	0.95402	-1.29679
91	0.95401	-1.29718
92	0.95396	-1.29860
93	0.95359	-1.30973
94	0.95355	-1.30970
95	0.95331	-1.30944
96	0.95329	-1.30943
97	0.95308	-1.30920
98	0.95255	-1.30865
99	0.95253	-1.30913
100	0.95233	-1.30892
101	0.95228	-1.30887

## DATA PANJANG SALURAN PENYULANG PUJON

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	580.3	0.1255	0.1918
2	2	3	1432.6	0.3097	0.4735
3	3	4	863.9	0.1868	0.2855
4	4	5	85.4	0.0185	0.0282
5	4	6	683.3	0.1477	0.2258
6	6	7	2082.8	0.4503	0.6884
7	7	8	154.4	0.0334	0.051
8	8	9	414.5	0.0896	0.137
9	9	10	896.5	0.1938	0.2963
10	10	11	463.5	0.1002	0.1532
11	11	12	452	0.0977	0.1494
12	12	13	1424.5	0.308	0.4708
13	12	14	1233	0.2666	0.4075
14	7	15	1244.8	0.2691	0.4114
15	15	16	90.5	0.0196	0.0299
16	16	17	20.4	0.0044	0.0067
17	15	18	338	0.0731	0.1117
18	18	19	182.2	0.049	0.0615
19	18	20	402.8	0.1083	0.136
20	18	21	304.3	0.0658	0.1006
21	21	22	293.7	0.079	0.0992
22	21	23	1257.4	0.2719	0.4156
23	23	24	406.5	0.0879	0.1344
24	23	25	154.2	0.0995	0.0567
25	25	26	627.4	0.5783	0.2378
26	26	27	6.4	0.0059	0.0024
27	26	28	204.2	0.1882	0.0774
28	28	29	1145.9	1.0562	0.4343
29	23	30	868.2	0.1877	0.2869
30	30	31	141.2	0.0305	0.0467
31	31	32	848.8	0.1835	0.2805
32	31	33	272.5	0.1758	0.1002
33	33	34	1127.05	0.7272	0.4145
34	34	35	102.2	0.0659	0.0376
35	34	36	496.35	0.1073	0.164
36	36	37	282.5	0.0611	0.0934
37	37	38	294.5	0.0637	0.0973
38	31	39	943.3	0.2039	0.3118
39	39	40	302.31	0.1951	0.1112
40	39	41	548.11	0.1185	0.1812
41	41	42	105.9	0.0229	0.035
42	39	43	40.5	0.0088	0.0134
43	43	44	1653.6	0.3575	0.5465
44	44	45	785.2	0.1698	0.2595
45	45	46	335.9	0.0726	0.111
46	46	47	793.2	0.1715	0.2622
47	47	48	571	0.1235	0.1887
48	48	49	365.5	0.079	0.1208
49	49	50	729.8	0.1578	0.2412
50	49	51	54.10	0.0117	0.0179
51	51	52	121.8	0.0263	0.0403
52	51	53	940.35	0.2033	0.3108
53	53	54	1715.3	0.7904	0.6127
54	54	55	1192.7	0.5496	0.426
55	55	56	1123.5	0.2429	0.3713
56	56	57	1353.3	0.2926	0.4473
57	57	58	1067.1	0.2307	0.3527
58	56	59	396.5	0.0857	0.131

59	59	60	296.8	0.0642	0.0981
60	59	61	1093.4	0.2364	0.3614
61	61	62	1162.6	0.2514	0.3842
62	44	63	497.1	0.1075	0.1643
63	63	64	570.4	0.1233	0.1885
64	64	65	907	0.1961	0.2998
65	65	66	1769.8	0.3826	0.5849
66	63	67	135.2	0.0292	0.0447
67	67	68	821.6	0.1776	0.2715
68	67	69	110.15	0.0238	0.0364
69	69	70	891.3	0.1927	0.2946
70	70	71	603.2	0.1304	0.1994
71	71	72	27.3	0.0059	0.009
72	72	73	233.1	0.0504	0.077
73	72	74	258.7	0.0559	0.0855
74	74	75	198.1	0.0428	0.0655
75	75	76	1538.1	0.3325	0.5083
76	76	77	381.43	0.0895	0.1261
77	76	78	472	0.1021	0.156
78	78	79	449.6	0.0972	0.1486
79	79	80	721.4	0.156	0.2384
80	80	81	940.5	0.2033	0.3108
81	81	82	1428.3	0.3088	0.4721
82	75	83	322.1	0.0696	0.1065
83	83	84	186.4	0.0403	0.0616
84	83	85	98.5	0.0213	0.0326
85	85	86	243.9	0.0527	0.0806
86	85	87	205.3	0.0444	0.0679
87	87	88	590.3	0.1276	0.1951
88	88	89	856.6	0.1852	0.2831
89	89	90	458.3	0.0991	0.1515
90	90	91	1162.2	0.2513	0.3841
91	89	92	207.4	0.0448	0.0686
92	92	93	1061.5	0.2295	0.3508
93	93	94	1321.52	0.8527	0.4861
94	93	95	385.1	0.2485	0.1416
95	95	96	478.3	0.3086	0.1759
96	95	97	332.6	0.2146	0.1223
97	97	98	1161.5	0.7494	0.4272
98	98	99	100.4	0.0217	0.0332
99	99	100	785.8	0.507	0.289
100	100	101	285.3	0.1841	0.1049

## DATA PEMBEBANAN SISTEM 20 KV PENYULANG PUJON

No Node	Tegangan Awal		Pembangkitan		Pembebanan		Type Node
	V (pu)	$\Theta (^{\circ})$	P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)	
1	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Slack
2	1.0000	0.0000	-	-	36.12	21.42	Load
3	1.0000	0.0000	-	-	90.3	53.57	Load
4	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
5	1.0000	0.0000	-	-	0.000	0.000	Load
6	1.0000	0.0000	-	-	21.5	12.75	Load
7	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
8	1.0000	0.0000	-	-	50.74	30.10	Load
9	1.0000	0.0000	-	-	0.000	0.000	Load
10	1.0000	0.0000	-	-	121.26	71.93	Load
11	1.0000	0.0000	-	-	74.82	44.38	Load
12	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
13	1.0000	0.0000	-	-	0.000	0.000	Load
14	1.0000	0.0000	-	-	67.94	40.30	Load
15	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
16	1.0000	0.0000	-	-	30.96	18.36	Load
17	1.0000	0.0000	-	-	110.94	65.81	Load
18	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
19	1.0000	0.0000	-	-	52.46	31.12	Load
20	1.0000	0.0000	-	-	65.36	38.77	Load
21	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
22	1.0000	0.0000	-	-	60.2	35.71	Load
23	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
24	1.0000	0.0000	-	-	136.74	81.12	Load
25	1.0000	0.0000	-	-	67.94	40.30	Load
26	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
27	1.0000	0.0000	-	-	92.02	54.59	Load
28	1.0000	0.0000	-	-	3.44	2.04	Load
29	1.0000	0.0000	-	-	102.34	60.71	Load
30	1.0000	0.0000	-	-	18.92	11.22	Load
31	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
32	1.0000	0.0000	-	-	31.82	18.87	Load
33	1.0000	0.0000	-	-	83.42	49.48	Load
34	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
35	1.0000	0.0000	-	-	55.04	32.65	Load
36	1.0000	0.0000	-	-	1.72	1.02	Load
37	1.0000	0.0000	-	-	1.72	1.02	Load
38	1.0000	0.0000	-	-	1.72	1.02	Load
39	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
40	1.0000	0.0000	-	-	4.3	2.55	Load
41	1.0000	0.0000	-	-	65.36	38.37	Load
42	1.0000	0.0000	-	-	18.06	10.71	Load
43	1.0000	0.0000	-	-	55.04	32.65	Load
44	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
45	1.0000	0.0000	-	-	55.9	33.16	Load
46	1.0000	0.0000	-	-	80.41	47.70	Load
47	1.0000	0.0000	-	-	55.04	32.65	Load
48	1.0000	0.0000	-	-	54.18	32.14	Load
49	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
50	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
51	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
52	1.0000	0.0000	-	-	30.1	17.85	Load
53	1.0000	0.0000	-	-	89.44	53.06	Load
54	1.0000	0.0000	-	-	24.94	14.79	Load
55	1.0000	0.0000	-	-	70.52	41.83	Load
56	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
57	1.0000	0.0000	-	-	44.72	26.53	Load
58	1.0000	0.0000	-	-	33.54	19.89	Load

59	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
60	1.0000	0.0000	-	-	35.26	20.91	Load
61	1.0000	0.0000	-	-	16.34	9.69	Load
62	1.0000	0.0000	-	-	24.78	14.70	Load
63	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
64	1.0000	0.0000	-	-	31.82	18.87	Load
65	1.0000	0.0000	-	-	103.2	61.2	Load
66	1.0000	0.0000	-	-	12.04	7.14	Load
67	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
68	1.0000	0.0000	-	-	22.23	13.18	Load
69	1.0000	0.0000	-	-	100.62	59.69	Load
70	1.0000	0.0000	-	-	46.96	27.86	Load
71	1.0000	0.0000	-	-	78.51	46.58	Load
72	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
73	1.0000	0.0000	-	-	50.84	30.16	Load
74	1.0000	0.0000	-	-	88.58	52.55	Load
75	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
76	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
77	1.0000	0.0000	-	-	65.36	38.77	Load
78	1.0000	0.0000	-	-	109.22	64.79	Load
79	1.0000	0.0000	-	-	35.26	20.91	Load
80	1.0000	0.0000	-	-	13.86	8.22	Load
81	1.0000	0.0000	-	-	46.44	27.55	Load
82	1.0000	0.0000	-	-	63.00	37.37	Load
83	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
84	1.0000	0.0000	-	-	10.59	6.28	Load
85	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
86	1.0000	0.0000	-	-	47.3	28.06	Load
87	1.0000	0.0000	-	-	130.58	77.46	Load
88	1.0000	0.0000	-	-	56.76	33.67	Load
89	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
90	1.0000	0.0000	-	-	27.52	16.32	Load
91	1.0000	0.0000	-	-	10.59	6.28	Load
92	1.0000	0.0000	-	-	27.52	16.32	Load
93	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
94	1.0000	0.0000	-	-	11.64	6.90	Load
95	1.0000	0.0000	-	-	0.0000	0.0000	Load
96	1.0000	0.0000	-	-	13.68	8.11	Load
97	1.0000	0.0000	-	-	101.48	60.20	Load
98	1.0000	0.0000	-	-	51.6	30.61	Load
99	1.0000	0.0000	-	-	37.84	22.44	Load
100	1.0000	0.0000	-	-	41.43	24.58	Load
101	1.0000	0.0000	-	-	71.38	42.34	Load

**Kondisi Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node  
Penyalur Pujon Setelah Kompensasi**

Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)	Bus	Abs V (pu)	Sud V (Rad)
1	1.00000	0.00000	40	0.98137	-1.70948
2	0.99872	-0.10004	41	0.98132	-1.71086
3	0.99564	-0.34660	42	0.98132	-1.71091
4	0.99387	-0.49370	43	0.98133	-1.71435
5	0.99387	-0.49370	44	0.97984	-1.91028
6	0.99248	-0.61041	45	0.97959	-1.93727
7	0.98830	-0.96692	46	0.97950	-1.94825
8	0.98825	-0.96836	47	0.97937	-1.97226
9	0.98814	-0.97160	48	0.97931	-1.98861
10	0.98789	-0.97863	49	0.97929	-1.99847
11	0.98782	-0.98059	50	0.97925	-1.99940
12	0.98779	-0.98151	51	0.97928	-1.99986
13	0.98779	-0.98151	52	0.97928	-1.99997
14	0.98770	-0.98399	53	0.97930	-2.02318
15	0.98623	-1.16967	54	0.97927	-2.08167
16	0.98622	-1.17006	55	0.97930	-2.12197
17	0.98622	-1.17012	56	0.97954	-2.14354
18	0.98572	-1.22344	57	0.97943	-2.14674
19	0.98571	-1.22369	58	0.97939	-2.14782
20	0.98569	-1.22413	59	0.97951	-2.14445
21	0.98530	-1.27084	60	0.97950	-2.14477
22	0.98528	-1.27131	61	0.97946	-2.14581
23	0.98385	-1.45481	62	0.97943	-2.14668
24	0.98359	-1.46647	63	0.97954	-1.95220
25	0.98362	-1.47144	64	0.97946	-1.95473
26	0.98354	-1.50741	65	0.97935	-1.95789
27	0.98354	-1.50739	66	0.97932	-1.95854
28	0.98348	-1.50704	67	0.97949	-1.96301
29	0.98314	-1.50509	68	0.97947	-1.96356
30	0.98255	-1.57592	69	0.97944	-1.97174
31	0.98237	-1.59394	70	0.97917	-2.03970
32	0.98234	-1.59475	71	0.97902	-2.08486
33	0.98228	-1.59386	72	0.97902	-2.08684
34	0.98214	-1.59371	73	0.97901	-2.08719
35	0.98212	-1.59369	74	0.97899	-2.10519
36	0.98213	-1.59378	75	0.97898	-2.11872
37	0.98213	-1.59381	76	0.97844	-2.13422
38	0.98213	-1.59383	77	0.97842	-2.13493
39	0.98137	-1.70948	78	0.97831	-2.13804

**Besarnya Aliran Daya Tiap Saluran  
Penyalang Pujon Sebelum Kompensasi**

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVARI)	No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVARI)
1	1	2	3789.080	2336.400	38	19	18	-52.460	-31.120
2	2	1	-3782.863	-2326.898	39	20	18	-65.360	-38.770
3	2	3	3746.743	2305.478	40	21	18	-2994.291	-1797.230
4	3	2	-3731.689	-2282.463	41	21	22	60.201	35.711
5	3	4	3641.389	2228.893	42	21	23	2934.090	1761.519
6	4	3	-3632.740	-2215.673	43	22	21	-60.200	-35.710
7	4	5	0.000	0.000	44	23	21	-2925.659	-1748.633
8	4	6	3632.740	2215.673	45	23	24	136.746	81.129
9	5	4	-0.000	0.000	46	23	25	265.090	151.586
10	6	4	-3625.901	-2205.218	47	23	30	2523.024	1515.918
11	6	7	3604.401	2192.468	48	24	23	-136.740	81.120
12	7	6	-3683.796	-2160.968	49	25	23	-265.665	-151.571
13	7	8	314.855	186.855	50	25	26	197.925	111.271
14	7	15	3268.941	1974.113	51	26	25	-197.845	-111.239
15	8	7	-314.843	-186.837	52	25	27	92.020	54.590
16	8	9	264.103	156.737	53	26	28	105.825	56.649
17	9	8	-264.081	-156.703	54	27	26	-92.020	-54.590
18	9	10	264.081	156.703	55	28	26	-105.818	56.646
19	10	9	-264.033	-156.630	56	28	29	102.378	54.606
20	10	11	142.773	84.700	57	29	28	-102.340	54.590
21	11	10	-142.766	-84.689	58	30	23	-2518.683	-1509.284
22	11	12	67.946	40.303	59	30	31	2499.763	1496.064
23	12	11	-67.944	-40.307	60	31	30	-2499.069	-1497.001
24	12	13	0.000	0.000	61	31	32	31.821	18.071
25	12	14	67.944	40.307	62	31	33	143.643	85.204
26	13	12	0.000	0.000	63	31	39	2323.605	1392.925
27	14	12	-67.940	-40.300	64	32	31	-31.820	-18.070
28	15	7	3258.688	-1958.438	65	33	31	-143.630	-85.197
29	15	16	141.902	84.172	66	33	34	60.210	35.717
30	15	18	3116.766	1874.266	67	34	33	-60.201	-35.711
31	16	15	-141.900	-84.170	68	34	35	55.041	32.650
32	16	17	110.940	65.810	69	34	36	5.160	3.061
33	17	16	-110.940	-65.810	70	35	34	55.040	-32.650
34	18	15	-3114.236	-1870.371	71	36	34	5.160	-3.061
35	18	19	52.460	31.121	72	36	37	3.440	2.040
36	18	20	65.362	38.772	73	37	36	-3.440	-2.040
37	18	21	2996.415	1800.478	74	37	38	1.720	1.020

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)
75	38	37	-1.720	-1.020
76	39	31	-2319.588	-1396.783
77	39	40	4.300	2.550
78	39	41	83.423	49.485
79	39	43	2231.865	1334.748
80	40	39	-4.300	-2.550
81	41	39	-83.420	-49.480
82	41	42	18.060	10.710
83	42	41	-18.060	-10.710
84	43	39	-2231.704	-1334.504
85	43	44	2176.664	1301.854
86	44	43	-2170.460	-1292.370
87	44	45	658.412	391.359
88	44	63	1512.049	901.011
89	45	44	-658.141	-390.945
90	45	46	602.241	357.785
91	46	45	-602.144	-357.636
92	46	47	521.734	309.936
93	47	46	-521.562	-309.673
94	47	43	466.522	277.023
95	48	47	-466.423	-276.872
96	48	43	412.243	244.732
97	49	48	412.193	244.556
98	49	50	42.141	24.992
99	49	51	370.052	219.565
100	50	49	42.140	-24.990
101	51	49	-370.046	-219.655
102	51	52	30.100	17.850
103	51	53	339.946	201.805
104	52	51	-30.100	-17.850
105	53	51	-339.880	-201.673
106	53	54	250.420	148.613
107	54	53	-250.236	-148.471
108	54	55	225.296	133.681
109	55	54	-225.193	-133.601
110	55	56	154.673	91.771
111	56	55	-154.652	-91.738
112	56	57	78.268	46.432
113	56	59	76.384	45.306
114	57	56	-78.261	-46.421
115	57	58	33.541	19.891

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)
116	58	57	-33.540	-19.890
117	59	56	-76.382	-45.304
118	59	60	35.260	20.910
119	59	61	41.122	24.393
120	60	59	-35.260	-20.910
121	61	59	-41.121	-24.391
122	61	62	24.781	14.701
123	62	61	-24.780	-14.700
124	63	44	-1511.143	-899.627
125	63	64	147.080	87.260
126	63	67	1364.063	812.367
127	64	63	-147.070	-87.245
128	64	65	115.250	68.375
129	65	64	-115.240	-68.360
130	65	66	12.040	7.140
131	66	65	-12.040	-7.140
132	67	63	-1363.863	-812.060
133	67	68	22.230	13.180
134	67	69	1341.632	798.880
135	68	67	-22.230	-13.180
136	69	67	-1341.474	-798.638
137	69	70	1240.854	738.948
138	70	69	-1239.759	-737.273
139	70	71	1192.799	709.413
140	71	70	-1192.112	-700.363
141	71	72	1113.602	661.783
142	72	71	-1113.575	-661.742
143	72	73	50.840	30.161
144	72	74	1062.735	631.581
145	73	72	-50.840	-30.160
146	74	72	-1062.501	-631.223
147	74	75	973.921	578.673
148	75	74	-973.770	-578.443
149	75	76	333.337	197.911
150	75	83	640.433	380.532
151	76	75	-333.200	-197.702
152	76	77	65.361	38.772
153	76	78	257.839	158.930
154	77	76	-65.330	-38.770
155	78	76	-257.811	-158.888
156	78	79	158.591	94.098

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)
157	79	78	-158.582	-94.084
158	79	80	123.322	73.174
159	80	79	-123.314	-73.161
160	80	81	109.454	64.941
161	81	80	-109.445	-64.927
162	81	82	63.005	37.377
163	82	81	-63.000	-37.370
164	83	75	-640.327	-380.370
165	83	84	10.590	6.280
166	83	85	629.737	374.090
167	84	83	-10.590	-6.280
168	85	83	-629.706	-374.042
169	85	86	47.300	28.061
170	85	87	582.406	345.981
171	86	85	-47.300	-28.060
172	87	85	-582.350	-345.896
173	87	88	452.070	268.436
174	88	87	-451.973	-268.288
175	88	89	355.213	234.618
176	89	88	-355.106	-234.454
177	89	90	38.111	22.601
178	89	92	356.995	211.853

No	Dari	Ke	P (kWatt)	Q (kVAR)
179	90	89	-38.110	-22.600
180	90	91	10.590	6.280
181	91	90	-10.590	-6.280
182	92	89	356.974	-211.821
183	92	93	329.454	195.501
184	93	92	-329.361	-195.359
185	93	94	11.640	6.900
186	93	95	317.721	183.459
187	94	93	-11.640	-6.900
188	95	93	-317.628	-183.406
189	95	96	13.680	8.110
190	95	97	303.947	180.296
191	96	95	-13.680	-8.110
192	97	95	-303.874	-180.254
193	97	98	202.394	120.054
194	98	97	-202.279	-119.989
195	98	99	150.679	89.379
196	99	98	-150.678	-89.376
197	99	100	112.838	66.936
198	100	99	-112.813	-66.922
199	100	101	71.383	42.342
200	101	100	-71.300	-42.340

53-54	0.184	0.142
54-55	0.103	0.080
55-56	0.021	0.033
56-57	0.007	0.011
57-58	0.001	0.001
58-59	0.002	0.002
59-60	0.000	0.000
59-61	0.001	0.002
61-62	0.001	0.001
44-63	1.906	1.384
63-64	0.010	0.015
64-65	0.010	0.015
65-66	0.000	0.000
63-67	0.200	0.307
67-68	0.000	0.001
67-69	0.158	0.242
69-70	1.095	1.675
70-71	0.687	1.050
71-72	0.027	0.041
72-73	0.000	0.001
72-74	0.234	0.358
74-75	0.151	0.230
75-76	0.137	0.209
76-77	0.001	0.002
76-78	0.028	0.040
78-79	0.009	0.014
79-80	0.008	0.013
80-81	0.009	0.014
81-82	0.005	0.007
75-83	0.106	0.162
83-84	0.000	0.001
83-85	0.031	0.048
85-86	0.000	0.000
85-87	0.056	0.085
87-88	0.097	0.148
88-89	0.107	0.164
89-90	0.001	0.001
90-91	0.000	0.000
89-92	0.021	0.032
92-93	0.93	0.053
93-94	0.000	0.000
93-95	0.093	0.053
95-96	0.000	0.000
95-97	0.073	0.042
97-98	0.115	0.065
98-99	0.000	0.000
99-100	0.025	0.014
100-101	0.003	0.002

No	Dari	Ke	P (Kwatt)	Q (KVAR)
105	53	51	-340.180	248.023
106	53	54	250.740	-301.083
107	54	53	-250.424	301.328
108	54	55	225.484	-316.118
109	55	54	-225.268	316.286
110	55	56	154.748	-358.116
111	56	55	-154.051	358.263
112	56	57	78.267	46.431
113	56	59	76.384	45.306
114	57	56	-78.261	-46.421
115	57	58	33.541	19.891
116	58	57	-33.540	-19.890
117	59	60	-76.382	-45.393
118	59	60	35.260	20.910
119	59	61	41.122	24.393
120	60	59	-35.260	-20.910
121	61	59	-41.121	-24.391
122	61	62	24.781	14.701
123	62	61	-24.780	-14.700
124	63	44	-1515.722	296.649
125	63	64	147.073	87.259
126	63	67	1368.643	-383.907
127	64	63	-147.069	-87.244
128	64	65	115.249	68.374
129	65	64	-115.240	-68.360
130	65	66	12.040	7.140
131	66	65	-12.040	-7.140
132	67	63	-1368.490	384.143
133	67	68	22.230	13.180
134	67	69	1846.259	-397.323
135	68	67	-22.230	-13.100
136	69	67	-1346.137	397.510
137	69	70	1245.517	-457.200
138	70	69	-1244.633	458.552
139	70	71	1197.673	-486.412
140	71	70	-1197.105	487.280
141	71	72	1118.595	-533.860
142	72	71	-1118.571	533.896
143	72	73	50.840	30.161
144	72	74	1067.731	-564.057
145	73	72	-50.840	-30.160
146	74	72	-1067.518	564.382
147	74	75	978.988	-616.932
148	75	74	-978.789	617.161
149	75	76	333.327	197.896
150	75	83	645.461	-815.058
151	76	75	-333.197	-197.697
152	76	77	65.361	38.772

No	Dari	Ke	P (Kwatt)	Q (KVAR)
153	76	78	267.836	158.925
154	77	76	-65.380	-30.770
155	78	76	-267.810	-158.886
156	78	79	158.590	94.096
157	79	78	-158.581	-94.083
158	79	80	123.321	73.173
159	80	79	-123.313	-73.160
160	80	81	109.453	64.940
161	81	80	-109.444	-64.927
162	81	82	63.004	37.377
163	82	81	-63.000	-37.370
164	83	75	-645.265	815.358
165	83	84	10.590	6.280
166	83	85	634.675	-821638
167	84	83	-10.590	-6.280
168	85	83	-364.615	821.729
169	85	86	47.300	28.061
170	85	87	587.315	-849.790
171	86	85	-47.300	-28.060
172	87	85	-587.191	849.979
173	87	89	456.911	-927.439
174	88	87	-456.555	927.983
175	88	89	399.795	-961.653
176	89	88	-399.272	962.453
177	89	90	38.111	22.601
178	89	92	361.161	-985.054
179	90	89	-38.110	-22.600
180	90	91	10.530	6.280
181	91	90	-10.590	-6.280
182	92	89	-361.033	985.250
183	92	93	333.513	-1001.570
184	93	92	-332.818	1002.588
185	93	94	11.640	6.900
186	93	95	321.207	-1009.488
187	94	93	-11.640	-6.900
188	95	93	-320.482	1009.901
189	95	96	13.680	8.110
190	95	97	306.802	1018.011
191	96	95	-13.680	-8.110
192	97	95	-306.172	1018.370
193	97	98	204.692	-1078.570
194	98	97	-202.347	1079.907
195	98	99	150.747	-1110.517
196	99	98	-150.676	1110.625
197	99	100	112.836	66.935
198	100	99	-112.813	-66.922
199	100	101	71.383	42.342
200	101	100	-71.380	-42.340

53-54	0.316	0.254
54-55	0.216	0.168
55-56	0.097	0.147
56-57	0.006	0.010
57-58	0.001	0.001
58-59	0.002	1.003
59-60	0.000	0.000
59-61	0.001	0.002
61-62	0.001	0.001
44-63	0.668	1.021
63-64	0.010	0.015
64-65	0.009	0.014
65-66	0.000	0.000
63-67	0.153	0.236
67-68	0.000	0.000
67-69	0.122	0.187
69-70	0.884	1.325
70-71	0.149	0.229
71-72	0.024	0.036
72-73	0.000	0.001
72-74	0.213	0.325
74-75	0.149	0.229
75-76	0.137	0.199
76-77	0.001	0.002
76-78	0.026	0.039
78-79	0.026	0.013
79-80	0.008	0.013
80-81	0.009	0.013
81-82	0.004	0.007
75-83	0.196	0.300
83-84	0.000	0.000
83-85	0.060	0.091
85-86	0.000	0.001
85-87	0.124	0.189
87-88	0.356	0.544
88-89	0.523	0.800
89-90	0.001	0.001
90-91	0.000	0.000
89-92	0.128	0.196
92-93	0.665	0.081
93-94	0.000	0.000
93-95	0.725	0.412
95-96	0.000	0.000
95-97	0.630	0.359
97-98	2.345	1.337
98-99	0.070	0.108
99-100	0.023	0.013
100-101	0.003	0.002

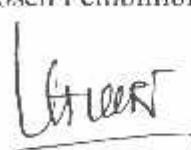


INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : Supriyadi
2. Nim : 99.12.112
3. Jurusan : Teknik Elektro (S-1)
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Optimasi Penempatan Letak Dan Kapasitas Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Dengan Menggunakan Metode Heuristik Dan Tabu Search Di Gardu Induk Sengkaling Penyulang Pujon
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 22 Juli 2004
7. Selesai Penulisan Skripsi : 29 Maret 2005
8. Dosen pembimbing : Ir. H. Choiri
9. Telah dievaluasi dengan nilai : 80 (Delapan puluh) 

Mengetahui  
Ketua jurusan Teknik Elektro S-1  
  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Nip. Y. 1039500274

Diperiksa dan Disetujui  
Dosen Pembimbing  
  
Ir. H. Choiri  
Nip. 130703042



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

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : Supriyadi  
2. Nim : 99.12.112  
3. Jurusan : Teknik Elektro (S-1)  
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
5. Judul Skripsi : Optimasi Penempatan Letak Dan Kapasitas Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Dengan Menggunakan Metode Heuristik Dan Tabu Search Di Gardu Induk Sengkaling Penyulang Pujon

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

Hari : Selasa  
Tanggal : 29 Maret 2005  
Dengan Nilai : 74,00 (B)



Panitia Ujian Skripsi

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. I Made Wartana, MT  
Penguji Pertama

Ir. H. Taufik Hidayat, MT  
Penguji Kedua

***PROGRAM  
HEURISTIK DAN TABU SEARCH***

---

## LISTING PROGRAM

### PROGRAM LIST HEURISTIK

```
unit Sensitivitas;

interface

uses Komplex,Matrik;

type
  TSensitivitas=class
  private
    Nbus:integer;
    Ploss:double;
    V:CArr1;
    Cap,dPLdP,dPLdQ:Arr1;
    Typ:iArr1;
    Z,Y:CArr2;
    Lc,Tr:Arr2;
    function GetNbus:integer;
    function GetV:CArr1;
    function GetCap:Arr1;
    function GetTyp:iArr1;
    function GetZ:CArr2;
    function GetLc:Arr2;
    function GetTr:Arr2;
    procedure SetNbus(const dNbus:integer);
    procedure SetV(const dV:CArr1);
    procedure SetCap(const dCap:Arr1);
    procedure SetTyp(const dTyp:iArr1);
    procedure SetZ(const dZ:CArr2);
    procedure SetLc(const dLc:Arr2);
    procedure SetTr(const dTr:Arr2);
    procedure UbahTegPolar;
    procedure Admitansi;
    procedure Jacobian(const id:integer;
      var Jaq:Arr2);
    procedure HitungPloss;
    procedure HitungdP(const id:integer;
      var dP:Arr1);
    function GetPloss:double;
    procedure EllGauss(const Ic:integer;const Jaq:Arr2;
      const dS:Arr1;
      var YE:Arr1);
    procedure findSensitiv(const id:integer;const YE:Arr1);
    function GetdPLdP:Arr1;
    function GetdPLdQ:Arr1;
  public
    constructor Create;overload;
    constructor Create(const dNbus:integer);overload;
    procedure doHitung;
    destructor Destroy;override;
    property seNbus:integer read GetNbus write SetNbus;
    property seV:CArr1 read GetV write SetV;
    property seCap:Arr1 read GetCap write SetCap;
    property seTyp:iArr1 read GetTyp write SetTyp;
    property seZ:CArr2 read GetZ write SetZ;
    property seLc:Arr2 read GetLc write SetLc;
    property seTr:Arr2 read GetTr write SetTr;
    property sePloss:double read GetPloss;
    property sedPLdP:Arr1 read GetdPLdP;
    property sedPLdQ:Arr1 read GetdPLdQ;
  end;

implementation
```

```
//constructor
constructor TSentivitas.Create;
begin
  inherited Create;
  Nbus:=0;
end;

constructor TSentivitas.Create(const dNbus:integer);
begin
  inherited Create;
  Nbus:=dNbus;
end;

//data accessing
function TSentivitas.GetNbus:integer;
begin
  result:=Nbus;
end;

function TSentivitas.GetV:CArr1;
var i:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    result[i]:=TKomplex.Create(V[i]);
  end;
end;

function TSentivitas.GetCap:Arr1;
var i:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    result[i]:=Cap[i];
  end;
end;

function TSentivitas.GetTyp:iArr1;
var i:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    result[i]:=Typ[i];
  end;
end;

function TSentivitas.GetZ:CArr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      result[i,j]:=TKomplex.Create;
      result[i,j].Assign(Z[i,j]);
    end;
  end;
end;

function TSentivitas.GetLc:Arr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
```

```

Bij:=Y[i,j].xIm;
if j=i then
begin
  sum:=0;
  for k:=1 to Nbus do
  begin
    Ok:=V[k].xRe;
    dk:=V[k].xIm;
    Gjk:=Y[j,k].xRe;
    Bjk:=Y[j,k].xIm;
    sum:=sum+(Gjk*sin(dj-dk)-Bjk*cos(dj-dk))*Uk);
  end;
  Qj:=sum*Ui;
  Jaq[row,col]:=Qj-Bij*Ui;
end
else
begin
  Jaq[row,col]:=Ui*(Gij*sin(di-dj)-Bij*cos(di-dj));
end;
end;
//Pembentukan Matrik N
row:=0;
for i:=1 to Nbus do
begin
  row:=row+1;
  col:=Nbus;
  Ui:=V[i].xRe;
  di:=V[i].xIm;
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    col:=col+1;
    Uj:=V[j].xRe;
    dj:=V[j].xIm;
    Gij:=Y[i,j].xRe;
    Bij:=Y[i,j].xRe;
    if j=i then
    begin
      sum:=0;
      for k:=1 to Nbus do
      begin
        Ok:=V[k].xRe;
        dk:=V[k].xIm;
        Gjk:=Y[j,k].xRe;
        Bjk:=Y[j,k].xIm;
        sum:=sum+(Gjk*cos(dj-dk)+Bjk*sin(dj-dk))*Uk);
      end;
      Pj:=sum*Uj;
      Jaq[row,col]:=Pj+Gij*Ui;
    end
    else
    begin
      Jaq[row,col]:=Uj*(Gij*cos(di-dj)+Bij*sin(di-dj));
    end;
  end;
end;
//Pembentukan Jacobian M
row:=Nbus;
for i:=1 to Nbus do
begin
  row:=row+1;
  col:=0;
  Ui:=V[i].xRe;
  di:=V[i].xIm;
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    col:=col+1;
    Uj:=V[j].xRe;

```

```

    finally
      inherited Destroy;
    end;
  end;

end.
```

**PROGRAM LISTING UNIT TABU LIST**

```

unit TabuList;

interface

uses Komplex;

type
  TIndividu=record
    bus:integer;
    cap,fitness:double;
  end;

  TIndividuArr=array of TIndividu;

  TTabuList=class
  private
    FNlist:integer;
    FLists:TIndividuArr;
    FImprove:boolean;
    procedure SetNList(const dNList:integer);
    function GantiIndividu(const dIndi:TIndividu):TIndividu;
    function GetIndividuMax:TIndividu;
  public
    constructor Create;overload;
    constructor Create(const dNList:integer);overload;
    function isOnList(const dBus:integer;
                      const dCap:double):boolean;
    procedure FillTabuList(const dBus:integer;const
                           dCap,dFitness:double);
    procedure Clear;
    destructor Destroy;override;
    property NList:integer read FNList write SetNList;
    property Improve:boolean read FImprove;
    property IndividuMax:TIndividu read GetIndividuMax;
  end;

implementation

{ TTabuList }

constructor TTabuList.Create;
begin
  inherited Create;
end;

procedure TTabuList.Clear;
var i:integer;
begin
  for i:=-1 to FNList do
  begin
    FLists[i].bus:=0;
    FLists[i].cap:=0;
    FLists[i].fitness:=0;
  end;
end;

constructor TTabuList.Create(const dNList: integer);
begin
```

---

```

inherited Create;
FNList:=dNList;
SetLength(FLists,FNList+1);
end;

destructor TTabuList.Destroy;
begin
  inherited Destroy;
end;

procedure TTabuList.FillTabuList(const dBus: integer; const dCap,
  dFitness: double);
var i,pos:integer;
  mahal:double;
begin
  if FLists[FNList].fitness=0 then
  begin
    for i:=1 to FNList do
    begin
      if FLists[i].fitness=0 then
      begin
        FLists[i].bus:=dbus;
        FLists[i].cap:=dCap;
        FLists[i].fitness:=dFitness;
        FImprove:=true;
        break;
      end;
    end;
  end
  else
  begin
    FImprove:=true;
    for i:=1 to FNList do
    begin
      if dFitness>FLists[i].fitness then
      begin
        FImprove:=false;
        break;
      end;
    end;
    pos:=1;
    mahal:=FLists[1].fitness;
    for i:=1 to FNList do
    begin
      if mahal<FLists[i].fitness then
      begin
        pos:=i;
        mahal:=FLists[i].fitness;
      end;
    end;
    if dFitness<FLists[pos].fitness then
    begin
      FLists[pos].bus:=dbus;
      FLists[pos].cap:=dCap;
      FLists[pos].fitness:=dFitness;
    end;
  end;
end;

function TTabuList.GantiIndividu(const dIndi: TIndividu): TIndividu;
begin
  result.bus:=dIndi.bus;
  result.cap:=dIndi.cap;
  result.fitness:=dIndi.fitness;
end;

function TTabuList.GetIndividuMax: TIndividu;
var i:integer;

```

```
constructor TLoadflow.Create(const dNbus,dNsal:integer);
begin
  inherited Create;
  tol:=0.0001;
  iterasiMax:=15;
  Nbus:=dNbus;
  Nsal:=dNsal;
  SetLength(V,Nbus+1);
  SetLength(Vf,Nbus+1);
  SetLength(Sg,Nbus+1);
  SetLength(SL,Nbus+1);
  SetLength(Cap,Nbus+1);
  SetLength(Typ,Nbus+1);
  SetLength(Z,Nbus+1,Nbus+1);
  SetLength(Lc,Nbus+1,Nbus+1);
  SetLength(Tr,Nbus+1,Nbus+1);
end;

function TLoadflow.CheckIndikasi(const dRow:integer):boolean;
begin
  result:=true;
  if dRow<0 then result:=false;
  if dRow>Nbus then result:=false;
end;

function TLoadflow.CheckIndikasi(const dRow,dCol:integer):boolean;
begin
  result:=true;
  if (dRow<0) or (dCol<0) then result:=false;
  if (dRow>Nbus) or (dCol>Nbus) then result:=false;
end;

function TLoadflow.GetNbus:integer;
begin
  result:=Nbus;
end;

function TLoadflow.GetNsal:integer;
begin
  result:=Nsal;
end;

function TLoadflow.GetIterasiMax:integer;
begin
  result:=IterasiMax;
end;

function TLoadflow.GetV(const drow:integer):TKomplex;
begin
  if CheckIndikasi(drow) then
  begin
    result:= TKomplex.Create(V[drow]);
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

function TLoadflow.GetVa:CArr1;
```

```
begin
  raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
end;
end;

function TLoadflow.GetZa:CArr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      result[i,j]:=TKomplex.Create(Z[i,j]);
    end;
  end;
end;

function TLoadflow.GetLc(const drow,dcol:integer):double;
begin
  if CheckIndikasi(drow,dcol) then
  begin
    result:=Lc[drow,dcol];
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

function TLoadflow.GetLca:Arr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      result[i,j]:=Lc[i,j];
    end;
  end;
end;

function TLoadflow.GetTr(const drow,dcol:integer):double;
begin
  if CheckIndikasi(drow,dcol) then
  begin
    result:=Tr[drow,dcol];
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

function TLoadflow.GetTra:Arr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
```

```
SetLength(Tr,Nbus+1,Nbus+1);
end;

procedure TLoadflow.SetNsal(const dNsal:integer);
begin
  Nsal:=dNsal;
end;

procedure TLoadflow.SetIterasiMax(const dIterasiMax:integer);
begin
  iterasiMax:=dIterasiMax;
end;

procedure TLoadflow.SetV(const drow:integer;const dV:TKomplex);
begin
  if CheckIndikasi(drow) then
  begin
    V[drow]:=TKomplex.Create(dV);
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi Dimensi matrik!');
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetVa(const dV:CArr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(V,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    V[i]:=TKomplex.Create(dV[i]);
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetSg(const drow:integer;const dSg:TKomplex);
begin
  if CheckIndikasi(drow) then
  begin
    Sg[drow]:=TKomplex.Create(dSg);
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi Dimensi matrik!');
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetSga(const dSg:CArr1);
var i:integer;
begin
  SetLength(Sg,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    Sg[i]:=TKomplex.Create(dSg[i]);
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetSL(const drow:integer;const dSL:TKomplex);
begin
  if CheckIndikasi(drow) then
```

```

for i:=1 to Nbus do
begin
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    Lc[i,j]:=dL.c[i,j];
  end;
end;
end;

procedure TLoadflow.SetTr(const drow,dcol:integer;const dTr:double);
begin
  if CheckIndikasi(drow,dcol) then
  begin
    Tr[drow,dcol]:=dTr;
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetIsL(const drow,dcol:integer;const dIsL:TKomplex);
begin
  if CheckIndikasi(drow,dcol) then
  begin
    IsL[drow,dcol]:=TKomplex.Create(dIsL);
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetAlirS(const drow,dcol:integer;const dAlirS:TKomplex);
begin
  if CheckIndikasi(drow,dcol) then
  begin
    AlirS[drow,dcol]:=TKomplex.Create(dAlirS);
  end
  else
  begin
    raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetTra(const dTr:Arr2);
var i,j:integer;
begin
  SetLength(Tr,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      Tr[i,j]:=dTr[i,j];
    end;
  end;
end;

procedure TLoadflow.SetCap(const drow:integer;const dCap:double);
begin

```

---

```

temp.Free;
end;

function TLoadflow.GetY(const drow,dcol:integer):TKomplex;
begin
if CheckIndikasi(drow,dcol) then
begin
  result:=TKomplex.Create(Y[drow,dcol]);
end
else
begin
  raise Exception.Create('Melebihi dimensi matrik!');
end;
end;

function TLLoadflow.GetYa:CArr2;
var i,j:integer;
begin
SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
for i:=1 to Nbus do
begin
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    result[i,j]:=TKomplex.Create(Y[i,j]);
  end;
end;
end;

Procedure TLLoadflow.AlirDaya;
var i,j:integer;
  a,b:double;
  temp1,temp2,temp3:TKomplex;
begin
SetLength(AlirS,Nbus+1,Nbus+1);
temp1:=TKomplex.Create;
temp2:=TKomplex.Create;
temp3:=TKomplex.Create;
for i:=1 to Nbus do
begin
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    AlirS[i,j]:=TKomplex.Create;
    if (Y[i,j].xIm<>0) and (j<>i) then
    begin
      temp1:=V[i].doKurang(V[j]);
      temp2.Assign(V[i]);
      temp2:=temp2.doConj;
      temp1:=temp1.doKali(temp2);
      temp2.Assign(Y[i,j]);
      temp2:=temp2.doNegative;
      temp3:=temp1.doKali(temp2);
      temp1.Assign(V[i]);
      temp1:=temp1.doConj;
      temp1:=temp1.doKali(V[i]);
      temp2.Assign(0,GetLc(i,j));
      temp1:=temp1.doKali(temp2);
      a:=temp3.xRe+temp1.xRe;
      b:=(temp3.xIm+temp1.xIm);
      AlirS[i,j].Assign(a,b);
    end;
  end;
end;

```

```

    end;
end;
temp1.Free;temp2.Free,temp3.Free;
end;

Procedure TLoadflow.DayaReaktif;
var i,j:integer;
    Sum,a:double;
begin
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    Sum:=0;
    if Typ[i]=2 then
    begin
      for j:=1 to Nbus do
      begin
        sum:=sum+(V[i].xIm*(V[j].xRe*Y[i,j].xRe+V[j].xIm*
          -Y[i,j].xIm)-V[i].xRe*(V[j].xIm*Y[i,j].xRe
          -V[i].xRe*-Y[i,j].xIm));
      end;
      a:=sum+SL[i].xIm;
      Sg[i].Assign(Sg[i].xRe,a);
    end;
  end;
end;

Procedure TLoadflow.DayaSlack;
var i,j:integer;
    a,b,SumA,SumB:double;
begin
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    SumA:=0;
    SumB:=0;
    if Typ[i]=1 then
    begin
      for j:=1 to Nbus do
      begin
        if j<>i then
        begin
          if AlirS[i,j].xRe<>0 then
          begin
            sumA:=sumA+AlirS[i,j].xRe;
            sumB:=sumB+AlirS[i,j].xIm;
          end;
        end;
      end;
      a:=sumA+SL[i].xRe;
      b:=sumB+SL[i].xIm;
      Sg[i].Assign(a,b);
    end;
  end;
end;

Procedure TLoadflow.ArusSaluran;
var i,j:integer;
    Temp1,Temp2,Temp3:TKomplex;
begin
  SetLength(IsL,Nbus+1,Nbus+1);
  temp1:= TKomplex.Create;

```

---

```

temp2:=TKomplex.Create;
temp3:=TKomplex.Create;
for i:=1 to Nbus do
begin
  for j:=1 to Nbus do
  begin
    lsL[i,j]:=TKomplex.Create;
    Lc[j,i]:=Lc[i,j];
    end;
  end;
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      if Y[i,j].xIm<>0 then
      begin
        temp1:=V[i].doKurang(V[j]);
        Y[i,j]:=Y[i,j].DoNegative;
        temp1:=temp1.doKali(Y[i,j]);
        temp2.Assign(V[i]);
        tcmp3.Assign(0,GetLc(i,j));
        temp2:=temp2.doKali(temp3);
        lsL[i,j]:=temp1.doTambah(temp2);
        end;
      end;
    end;
    temp1.Free;temp2.Free;temp3.Free;
  end;

procedure TLoadflow.HitungLosses;
var i:integer;
begin
  sumGen:=TKomplex.Create;
  sumLoad:=TKomplex.Create;
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    sumGen:=sumGen.doTambah(Sg[i]);
    sumLoad:=sumLoad.doTambah(SL[i]);
  end;
  sumLoss:=sumGen.doKurang(sumLoad);
end;

function TLoadflow.GetAlirSa:CArr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do
  begin
    for j:=1 to Nbus do
    begin
      result[i,j]:= TKomplex.Create(AlirS[i,j]);
    end;
  end;
end;

function TLoadflow.GetIsLa:CArr2;
var i,j:integer;
begin
  SetLength(result,Nbus+1,Nbus+1);
  for i:=1 to Nbus do

```

---

```

begin
  for j:=1 to Nbus do
    begin
      result[i,j]:=TKomplex.Create(lsl[i,j]);
    end;
  end;
end;

function TLoadflow.GetSumGen:TKomplex;
begin
  result:=TKomplex.Create(sumGen);
end;

function TLoadflow.GetSumLoad:TKomplex;
begin
  result:=TKomplex.Create(sumLoad);
end;

function TLoadflow.GetSumLoss:TKomplex;
begin
  result:=TKomplex.Create(sumLoss);
end;

destructor TLoadflow.Destroy;
var i,j:integer;
begin
  try
    for i:=1 to Nbus do
      begin
        V[i].Free;
        Sg[i].Free;
        SL[i].Free;
        for j:=1 to Nbus do
          begin
            Z[i,j].Free;
            Y[i,j].Free;
            AlrS[i,j].Free;
            lsl[i,j].Free;
          end;
        end;
        sumGen.Free;
        sumLoad.Free;
        sumLoss.Free;
      finally
        inherited Destroy;
      end;
    end;
  end;
end.

```