

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



**PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN  
DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL  
DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG DINOYO  
DENGAN METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC***

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*  
**GALUH HENDHITYA W.  
02.12.071**

**MARET 2007**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN  
DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL  
DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG DINOYO  
DENGAN METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC***

**SKRIPSI**

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

**Disusun Oleh :**

**GALUH HENDHITYA W.**

**02.12.071**

**Diperiksa dan disetujui,**

**Dosen Pembimbing**



**Ir. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT**

**NIP.Y. 1039500274**

**Ir. TEGUH HERBASUKI, MT**

**NIP. Y. 1038900209**

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

**REPAIR OF PROFILE VOLTAGE BY CAPACITOR  
PLACEMENT IN RADIAL DISTRIBUTION NETWORKS  
IN SENGKALING SWITCH YARD DINOYO FEEDERS WITH  
*BINARY LINEAR DETERMINISTIC METHOD***

(Galuh Hendhitya W.)  
(Ir.Teguh Herbasuki,MT)

**A B S T R A C T**

Process reduce energy loss with installation of capacitor. In this research used Binary Linear of Deterministic Method for the location of capacitor and is big optimal capacitor capacities to improve repair tension profile. Borland Delphi 7 application at distribution system 20 kV of feeders Dinoyo, seen that tension every bus before compensation equal to under 0,980 pu, after installation of capacitor happened repair of tension above 0,988 pu. Situation and optimal capacitor capacities at node 23 with capacities equal to 2400 kVAR. Assess thrift the obtained after compensation equal to 25,631,294 US \$/ Year or equal to Rp. 233.244.775,- / Year, with assumption 1 US \$ [is] Rp. 9.100,-.

**Keywords :** *Repair of Profil Voltage, Capacitor Placement in Radial Distribution Networks ,  
Binary Linear Deterministic Method.*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, "PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG DINOYO DENGAN METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC*".

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

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

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Ir. F Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
3. Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku dosen pembimbing.
4. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendo'akanku sampai terwujud cita-citaku.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro S-1 konsentrasi Teknik Energi Listrik.

Malang, Maret 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman:</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	ii
<b>ABSTRAKSI.....</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	iv
<b>DAFTAR ISI.....</b>	v
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	xi
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	xii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Pembahasan .....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Pembahasan .....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5

### **BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN APLIKASI**

#### **KAPASITOR**

2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	8

2.2.1. Sistem Distribusi Primer ( Jaringan Tegangan Menengah ) .....	9
2.2.2. Sistem Distribusi Sekunder ( Jaringan Tegangan Rendah ).....	9
2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.....	10
2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial .....	10
2.3.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup ( Loop ) .....	11
2.3.3. Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i> .....	12
2.4. Macam-Macam Struktur Jaringan Distribusi Radial.....	12
2.4.1. Sistem Radial Pohon .....	14
2.4.2. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	15
2.4.3. Sistem Radial Dengan Pembagian <i>Pase Area</i> .....	16
2.4.4. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat.....	17
2.5. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik .....	17
2.5.1. Daya Nyata ( <i>Real Power</i> ) .....	18
2.5.2. Daya Reaktif ( <i>Reactive Power</i> ).....	18
2.5.3 Daya Semu ( <i>Apparent Power</i> ) .....	18
2.6. Daya Reaktif dan Faktor Daya.....	18
2.7. Kapasitor Daya.....	21
2.7.1. Faktor-Faktor Pemilihan Kapasitor Seri dan Kapasitor Shunt..	22
2.8. Pengaruh Pemasangan Kapasitor <i>Shunt</i> .....	23
2.8.1. Pengurangan Rugi-Rugi Saluran dengan Kapasitor <i>Shunt</i> .....	24
2.8.2. Perbaikan Tegangan .....	25
2.8.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem .....	27

2.8.4. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya .....	29
2.9. Sistem <i>Per-Unit</i> .....	30
<b>BAB III METODE <i>BINARY LINEAR DETERMINISTIC</i> UNTUK MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER</b>	
3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan .....	32
3.1.1 Metode <i>Newton Raphson</i> .....	32
3.1.2. Algoritma Aliran Daya <i>Newton Raphson</i> .....	35
3.2. Metode <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	37
3.2.1. Pemodelan Pergerakan Garis Busur ( <i>Graf</i> ).....	38
3.2.2. Bentuk Pergerakan <i>Graf</i> .....	39
3.2.3. Algoritma Pemecahan Masalah.....	40
3.2.4. Algoritma Program Solusi <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	42
3.3. Rugi Daya Jaringan dan Penghematan Biaya Kompensasi....	44
<b>BAB IV ANALISIS PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 Kv MENGGUNAKAN ALGORITMA <i>LINER DETERMINISTIC</i></b>	
4.1. Data Analisis .....	46
4.1.1. Data Saluran .....	47
4.1.2. Data Pembebanan.....	49
4.2. Program Aplikasi <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	50
4.2.1. Format Utama.....	50
4.2.2. Format Data Input .....	51
4.2.3. Format <i>Newton Raphson Result</i> .....	52

4.2.4.	Format Result Viewer .....	53
4.3.	Analisa Perhitungan .....	54
4.3.1.	Analisa Aliran Daya Awal .....	55
4.3.2.	Hasil <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	56

## **BAB V KESIMPULAN**

5.1.	Kesimpulan .....	61
------	------------------	----

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar :</b>	<b>Halaman :</b>
2.1 Skema Penyaluran Energi Listrik.....	7
2.2. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan.....	8
2.3. Jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial .....	10
2.4. Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber .....	11
2.5. Jaringan Tegangan Menengah Struktur <i>Mesh</i> .....	12
2.6. Sistem radial jaringan pohon.....	14
2.7. Sistem Radial Dengan <i>Tie</i> dan <i>Switch</i> Pemisah.....	15
2.8. Sistem Radial Dengan Pembagian <i>Phase Area</i> .....	16
2.9. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat.....	17
2.10. Segi Tiga Daya.....	19
2.11. Segi Tiga Arus.....	20
2.12. Saluran Primer Dengan Beban Tepusat .....	21
2.13. Vektor arus dan tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor .....	25
2.14. Diagram vector pada rangkaian dengan pf <i>lagging</i> (a) dan (c) tanpa kapasitor shunt, (b) dan (d) dengan kapasitor <i>shunt</i> .....	26
2.15. Perbaikan Faktor Daya.....	27
2.16. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi .....	29

3.1.	<i>Flowchart</i> Algoritma Aliran Daya Newton Raphson.....	36
3.2.	Notasi dalam <i>Graf</i> .....	38
3.3.	Model Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi .....	38
3.4.	Model Pergerakan <i>Graf</i> Kombinasi I dan II .....	39
3.5.	<i>Flowchart</i> Algoritma Pemecahan Masalah.....	41
3.6.	<i>Flowchart</i> Algoritma Solusi <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	43
4.1.	Single Line Diagram Penyulang Dinoyo .....	47
4.2.	Tampilan Utama Program .....	51
4.3.	Tampilan Data Input .....	52
4.4.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Sebelum Kompensasi .....	53
4.5.	Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Setelah Kompensasi .....	54
4.6.	Hasil Program Metode <i>Binary Linear Deterministic</i> .....	57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel :</b>	<b>Halaman :</b>
2-1 Kapasitor Seri dan Kapasitor <i>Shunt</i> .....	22
4-1. Spesifikasi Saluran .....	48
4-2. Hasil Impedansi Saluran Penyulang Dinoyo.....	48
4-3. Data Pembebatan Sistem 20kV Penyulang Dinoyo .....	50
4-4. Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tiap Node Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi .....	55
4-5. Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi .....	55
4-6. Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi .....	56
4-7. Profil Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap Node Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi .....	58
4-8. Aliran Arus Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi .....	58
4-9. Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi .....	58

## **DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik :</b>	<b>Halaman :</b>
4-1 Tegangan Tiap-tiap Node Terhadap Asumsi Tegangan Awal, Tegangan Sebelum Dan Tegangan Sesudah Kompensasi.....	59
4-2 Total Rugi-rugi Saluran Sebelum Dan Sesudah Kompensasi .....	59

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya usaha disektor industri dan meningkatnya taraf hidup masyarakat maka kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pula, sehingga dibutuhkan 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, transformator, lampu-lampu TL dan lain-lain. Beban industri sangat banyak membutuhkan daya reaktif induktif . Dengan meningkatnya beban-heban induktif maka daya reaktif yang ada pada jaringan akan semakin besar yang berakibat pada meningkatnya rugi daya, disamping itu dapat memperburuk kondisi tegangan.

Alternatif yang sering dipakai untuk memperbaiki kondisi tegangan dan rugi-rugi daya tersebut adalah dengan memasang sumber daya reaktif tambahan pada sisi beban yaitu dengan pemasangan kapasitor. Banyak metode yang dipakai dalam menganalisa masalah penentuan letak kapasitor pada jaringan distribusi diantaranya seperti Metode Genetika Algoritma, Heuristik, Tabu Search, Algoritma Genetic, Aliran Daya Topologi dan lain-lain.

Pada skripsi ini akan dibahas perbaikan profil tegangan dengan menempatan kapasitor pada jaringan distribusi dengan menggunakan Metode *Binary Linear Deterministic*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Salah satu cara pemasangan sumber daya reaktif tambahan pada sisi beban adalah dengan pemasangan kapasitor shunt pada jaringan distribusi primer, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi saluran. Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana cara menentukan letak, jumlah dan kapasitas kapasitor yang paling optimal pada jaringan distribusi primer agar terjadi peningkatan profil tegangan, penurunan rugi-rugi saluran dan memperoleh penghematan biaya instalasi kapasitor. Oleh karena itu pada skripsi ini akan menganalisa hal tersebut dengan suatu metode alternatif yaitu Metode Algoritma *Linear Deterministic*.

Sehubungan dengan permasalahan di atas maka judul yang diambil pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

**"PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG DINOYO DENGAN METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC*"**

## 1.3 Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah :

1. Mendapatkan jumlah dan letak yang optimal dalam pemasangan kapasitor untuk memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi primer.

2. Mengetahui perubahan parameter-parameter saluran berupa profil tegangan, rugi-rugi daya sebelum dan setelah kompensasi.
3. Menentukan nilai penghematan biaya setiap tahun setelah penempatan kapasitor.

#### 1.4 Batasan Masalah

Permasalahan dalam sistem tenaga listrik adalah merupakan permasalahan yang luas, sehingga dalam menganalisa suatu permasalahan perlu adanya pembatasan-pembatasan yang sesuai dengan permasalahan tersebut.

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

1. Jaringan listrik yang akan dianalisa adalah jaringan distribusi primer 20 kV tipe radial pada Gardu Induk Sengkaling penyulang Dinoyo.
2. Menggunakan Algoritma *Linear Deterministic* dalam menentukan lokasi kapasitor shunt untuk memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi.
3. Jenis kapasitor untuk perbaikan profil tegangan yang digunakan adalah kapasitor shunt.
4. Tidak membahas secara detail metode aliran daya yang digunakan yaitu Metode *Newton Raphson*.
5. Analisa menggunakan perangkat lunak Borland Delphi 7.0.
6. Tidak membahas segala sesuatu yang menyangkut dari perancangan perangkat lunak.



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Galuh Hendhitya W.  
Nim : 02.12.071  
Masa bimbingan : 7 Desember 2006 s/d 7 Juni 2007  
Judul Skripsi : Perbaikan Profil Tegangan Dengan Menentukan Letak Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Di Gardu Induk Sengkaling Penyulang Dinoyo Dengan Metode Binary Linear Deterministic

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	29/12 06	Konsultasi bab I & II	
2	03/01 07	Revisi bab I & II	
3	09/01 07	Konsultasi bab III	
4	16/01 07	Revisi bab III	
5	23/01 07	Konsultasi program	
6	08/02 07	Mencoba program	
7	15/02 07	Konsultasi bab IV	
8	19/02 07	Konsultasi hasil program	
9	28/02 07	Acc seminar	
10	12/03 07	Acc ujian	

Malang,  
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP : Y. 1038900209



**PT. PLN ( PERSERO )**

DISTRIBUSI JAWA TIMUR

AREA PELAYANAN & JARINGAN MALANG

Telp. : 0341 - 326034 ( Hunting )  
Kotak Pos : 211

Faxsimile : 0341 - 362046



Certificate No.: QSC  
00475

Nomor : DO 40 /330/APJ-MLG/2007  
Surat Sdr.No : ITN-501/III.TA-2/2/2006  
Lampiran : -  
Perihal : Survey

Malang, 9 Januari 2007

Kepada  
ITN. Malang  
Jl. Raya Karanglo, Km2  
Di  
MALANG.

Dengan Hormat,

Menindaklanjuti surat Saudara nomor ITN-501/III.TA-2/2/2006, tanggal 29 Nopember 2006 perihal tersebut di atas, maka dengan ini kami beritahukan bahwa pada prinsipnya kami tidak keberatan / mengizinkan mahasiswa atas nama :

Galuh Hendhitya W

Nim : 02.12.071

Untuk melaksanakan Survey di PT. PLN ( PERSERO ) Area Pelayanan dan Jaringan Malang mulai tanggal 11 Januari 2007 sampai dengan 31 Januari 2007 dengan catatan PLN hanya memberikan data yang **TIDAK BERSIFAT RAHASIA**.

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

Demikian agar menjadikan maklum.

**ASMAN SDM & ADMINISTRASI**

ABDURACHMAN SHODIQ, SH. ST.M.Kn

Tembusan :

1. Supervisor Terkait
2. Manajer UJ dan UPJ Terkait



## FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis  
Tanggal : 22 Maret 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : Galuh Hendhitya W.  
2. NIM : 02.12.071  
3. Jurusan : Teknik Elektro  
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1  
5. Judul Skripsi : **PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GARDU INDUK SENKALING PENYULANG DINOYO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC**

Perbaikan meliputi :

No.	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Abstrak bahasa Inggris.	
2.	Tabel tidak boleh terpisah.	
3.	Flowchart halaman 36 dan halaman 43.	
4.	Parameter apa yang menentukan proses perhitungan berhenti, diperjelas.	
5.	Penjelasan energi (rumus 3.12).	

Disetujui,

Penguji Pertama

(Irine Budi S, ST, MT)  
NIP. 132314400

Penguji Kedua

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)  
NIP. P. 1018800188

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing

(Ir. Teguh Herbasuki, MT)  
NIP : Y. 1038900209



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

NAMA : Galuh Hendhitya W.  
NIM : 02.12.071  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Masa Bimbingan : 07 Desember 2006 s/d 07 Juni 2007  
Judul Skripsi : Perbaikan Profil Tegangan Dengan Menentukan Letak Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Di Gardu Induk Sengkaling Penyulang Dinoyo Dengan Metode *Binary Linear Deterministic*

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

Hari : Kamis  
Tanggal : 22 Maret 2007  
Nilai : 76,3 ( B+ ) *gny*

Panitia Majelis Penguji,



( Ir. Mochtar Asroni, MSME )  
NIP.Y. 1018100036

Sekretaris

( Ir. F. Yudi Limpraptono, MT )  
NIP.Y. 1039500274

Anggota Penguji

Penguji 1

( Irrine Budi S, ST, MT )  
NIP. 132314400

Penguji 2

( Ir. M. Abdul Hamid, MT )  
NIP.P. 1018800188



## PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : GALUH HENDH ITYA W  
NIM : 0212071  
Semester :   
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik  
Alamat : Jl. SIGURA -GURA V / 35 MALANG

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

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

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

Telah diteliti kebenaran data tersebut diatas  
Recording Teknik Elektro

.....  
Galuh Hendhita

Malang, 19 September 2005

Pemohon  
 .....  
Galuh Hendhita

Disetujui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Mengetahui  
Dosen Wali

.....  
Dr. Widodo Puji M., MT

### Catatan :

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

1. .....
2. .....
3. .....



**LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/ Teknik Elektronika ”

1	Nama Mahasiswa : <u>VALUH HENDITYA</u>		Nim : <u>02.12.071</u>
2	Waktu pengajuan	Tanggal : <u>03</u>	Bulan : <u>OCTOBER</u> Tahun : <u>2006</u>
Spesifikasi judul ( berilah tanda silang )			
3	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri <input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainya .....		
4	Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) : <u>Ir. TEGUH HERBASUKI, MT.</u>		
	Mengetahui, Ketua Jurusan.  Ir. F. Yudi Lampraptono, MT Nip. Y. 1039500274		
5	Judul yang diajukan mahasiswa :	<u>OPTIMASI PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER Tipe RADIAL DI GARDU INDUK SENGALING PENKULANG PINCHO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC</u>	
6	Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu		
Catatan : .....			
7	Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui. <u>10 - 10 - 2006</u> Dosen <u>M. N. W. A. S.</u>	

**Perhatian :**

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan : " coret yang tidak perlu  
 " dilingkari a, b, c, ..... atau g. sesuai bidang keahlian

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
JL. Bendungan Sigura-gura  
MALANG

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Galuh Hendhitya W.  
Nim : 02.12.071  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama, untuk penyusunan Skripsi dengan judul:

OPTIMASI PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GARDU INDUK SENKALING PENYULANG DINYOYO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapan terima kasih.

Malang, 10 Oktober 2006

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro  
  
Ir. F. Yudi Lijpraptono, MT  
Nip. P. 1039500274

Hormat kami,  
  
Galuh Hendhitya W.

Form S - 3a

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Galuh Hendhitya W.

Nim : 02.12.071

Semester : IX

Jurusan : Teknik Elektro S-1

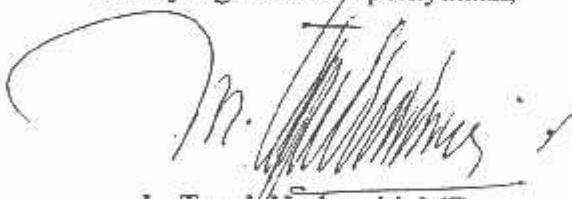
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini menyatakan bersedia / tidak bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

OPTIMASI PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GARDU INDUK SENGKALING PENYULANG DINOYO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya.

Malang, Oktober 2006  
Kami yang membuat pernyataan,



Ir. Teguh Herbasuki, MT  
Nip. K. 1038900209

Catatan :

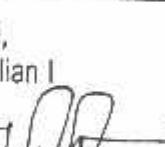
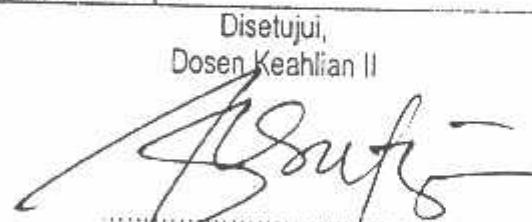
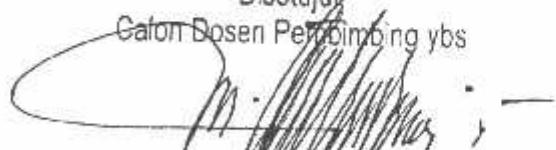
Setelah disetujui agar formulir ini  
Diserahkan mahasiswa/i yang bersangkutan  
Kepada Jurusan untuk diproses lebih lanjut

Form S - 3b



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

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: GALUH HENDHIYAN		Nim: 02-12-071
2.	Keterangan Pelaksanaan	Tanggal	Waktu Tempat
	7-12-2006 Ruang:		
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**			
3.	<input checked="" type="checkbox"/> Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri		
	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainnya .....		
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	OPTIMASI PENENTUAN LETAK DAN KAPASITAS KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER TIPE RADIAL DI GRUP INDUK SENDIRI DALAM PENYULANG DINODO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC	
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DIST. PRIMER TIPE RADIAL DI G.I. SENGGALING PENYULANG DINODO DENGAN METODE BINARY LINEAR DETERMINISTIC	
6.	Catatan:	~ Pengertian Bus, feeder & penyulang ~ Flow Chart	
	Catatan:		
Persetujuan Judul Skripsi			
7.	Disetujui, Dosen Keahlian I 	Disetujui, Dosen Keahlian II 	Mengetahui, Ketua Jurusan 
	Ir. F. Yudi Linpraptono, MT NIP. P. 1039500274		
	Disetujui Calon Dosen Pembimbing ybs 		

Perhalian,

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

Form S-3c

Lanjutan Tabel 4-8.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
16	15	-3198.29	412.138
16	17	3134.899	-451.425
16	61	63.393	39.287
17	16	-3134.68	451.762
17	18	3047.128	-506.02
17	62	87.55	54.258
18	17	-3046.75	506.601
18	19	2797.696	-660.952
18	63	166.602	103.253
18	64	82.45	51.098
19	18	-2796.94	662.104
19	20	2426.482	-891.735
19	65	370.46	229.631
20	19	-2425.25	893.283
20	21	2317.537	-960.037
21	20	-2317.15	960.528
21	22	2224.955	-1017.66
22	21	-2222.78	1020.397
22	23	2050.172	-1127.37
22	74	172.606	106.972
23	22	-2049.66	1128.009
23	24	1985.708	1232.355
23	76	63.955	39.636
24	23	-1985.54	-1232.14
24	25	1897.99	1177.885
25	24	-1897.91	-1177.78
25	26	1798.047	1115.892
26	25	-1797.23	-1114.87
26	27	1722.244	1068.395
27	26	-1721.97	-1068.05
27	28	1623.226	1006.853
27	77	98.743	61.197
28	27	-1623.11	-1006.71
28	29	1533.863	951.399
28	78	89.25	55.312
29	28	-1533.77	-951.281
29	30	1451.115	900.057
30	29	-1450.82	-899.688
30	31	1363.271	845.429
31	30	-1363.08	-845.185

Lanjutan Tabel 4-8.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
31	32	1215.468	753.699
31	79	147.609	91.486
32	31	-1215.38	-753.582
32	33	1054.538	653.903
32	81	160.837	99.679
33	32	-1054.51	-653.864
33	34	962.69	596.961
33	83	91.817	56.903
34	33	-962.394	-596.59
34	35	927.107	574.721

**Tabel 4-9**  
**Rugi Daya Tiap Saluran Penyalang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

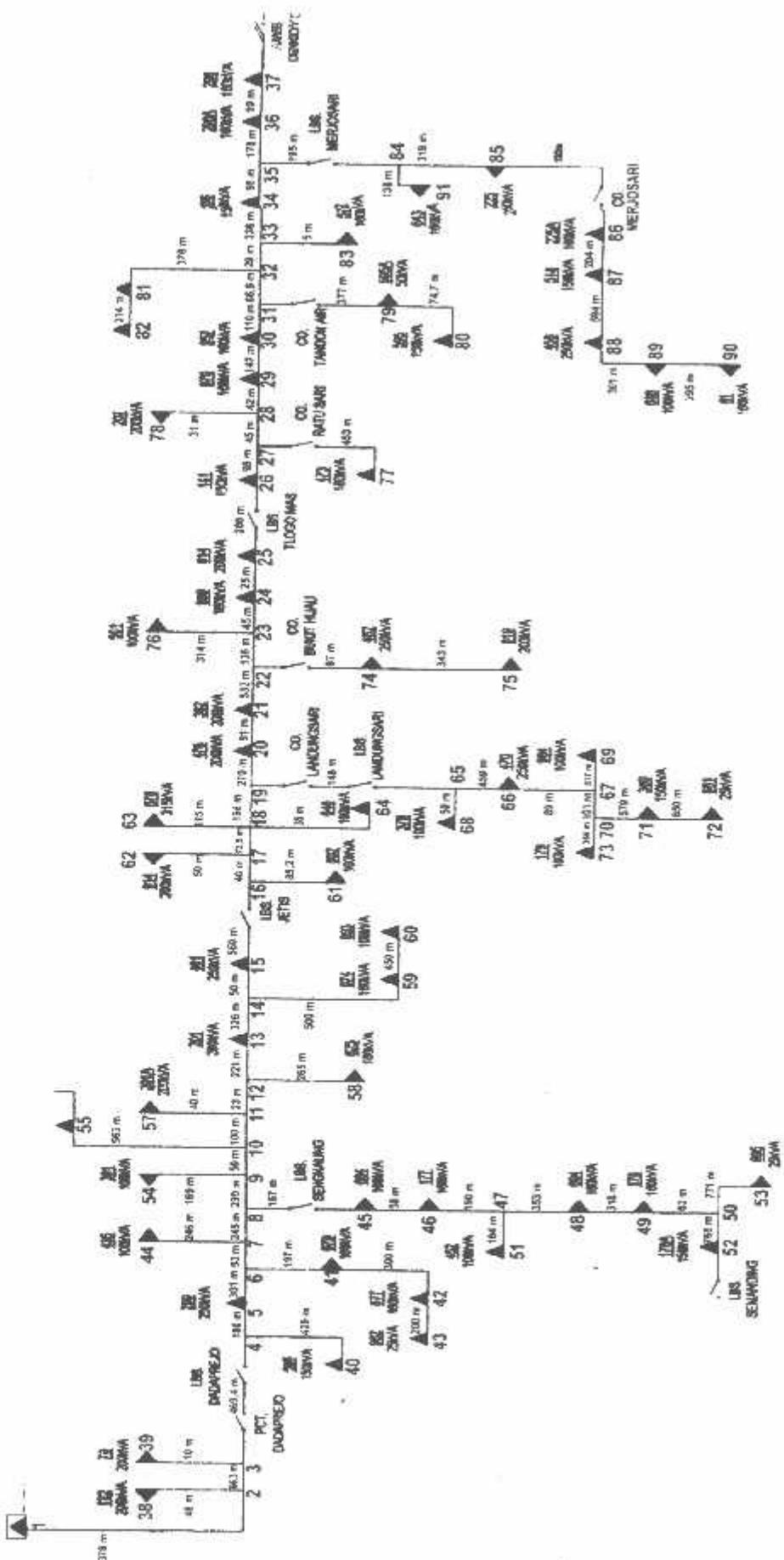
Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	5.234	8.001
2	3	0.884	1.351
2	38	0.001	0
3	4	5.982	9.144
3	39	0	0
4	5	2.211	3.379
4	40	0.002	0.003
5	6	3.511	5.368
6	7	0.585	0.894
6	41	0.002	0.003
7	8	2.675	4.089
7	44	0	0
8	9	1.966	3.033
8	45	0.029	0.045
9	10	0.426	0.651
9	54	0	0
10	11	0.797	1.218
10	55	0.007	0.011
11	12	0.174	0.267
11	57	0.001	0
12	13	1.571	2.402
12	58	0.003	0.004
13	14	2.186	3.342
14	15	0.316	0.483
14	59	0.004	0.007
15	16	3.198	4.888
16	17	0.22	0.337
16	61	0	0
17	18	0.38	0.581
17	62	0	0
18	19	0.753	1.152
18	63	0.002	0.004
18	64	0	0
19	20	1.233	1.548
19	65	0.033	0.026
20	21	0.391	0.492
21	22	2.177	2.734
22	23	0.509	0.64
22	74	0.004	0.003
23	24	0.168	0.211

Lanjutan Tabel 4-9.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
23	76	0.001	0.001
24	25	0.085	0.107
25	26	0.815	1.024
26	27	0.276	0.346
27	28	0.113	0.141
27	77	0.007	0.006
28	29	0.094	0.118
28	78	0	0
29	30	0.294	0.369
30	31	0.194	0.244
31	32	0.093	0.117
31	79	0.006	0.01
32	33	0.031	0.038
32	81	0.016	0.012
33	34	0.296	0.372
33	83	0	0
34	35	0.078	0.098
35	36	0.007	0.009
35	84	0.166	0.129
36	37	0	0
41	42	0	0.001
42	43	0	0
45	46	0.004	0.007
46	47	0.012	0.018
47	48	0.013	0.019
47	51	0.001	0.001
48	49	0.007	0.01
49	50	0.001	0.001
50	52	0.005	0.008
50	53	0	0
55	56	0.002	0.004
59	60	0.001	0.001
65	66	0.031	0.048
65	68	0	0
66	67	0.003	0.005
67	69	0.001	0.001
67	70	0.003	0.004
70	71	0.005	0.008
70	73	0.007	0.003
71	72	0	0

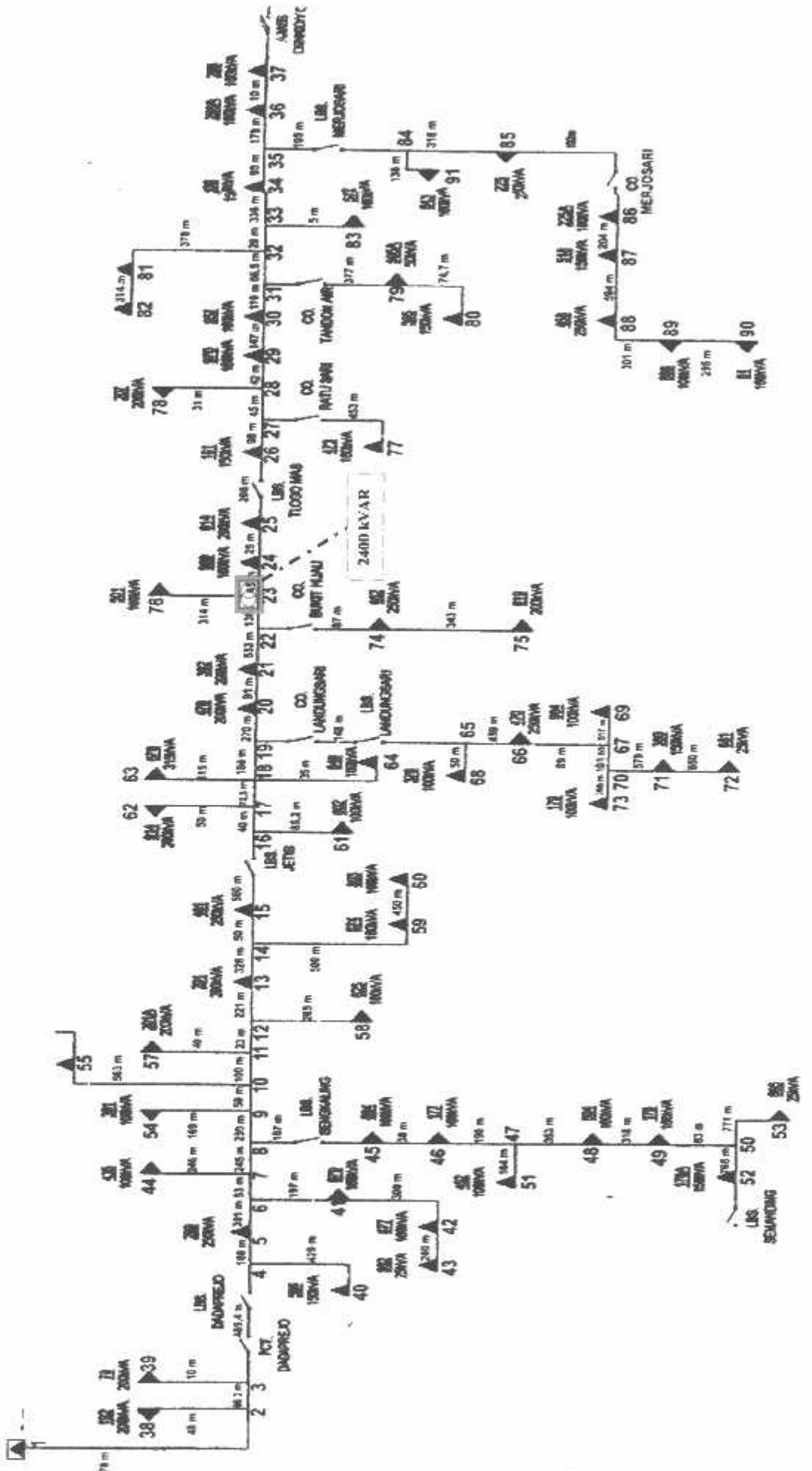
Lanjutan Tabel 4-9.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
74	75	0.001	0.001
79	80	0.001	0.001
81	82	0.001	0.001
84	85	0.207	0.16
84	91	0.002	0.001
85	86	0.076	0.059
86	87	0.046	0.035
87	88	0.085	0.068
88	89	0.008	0.012
89	90	0.003	0.004



Gambar Single line Diagram Sistem 20 kV Penyulang Dinoyo

Sumber: PT PLN (persero) Distribusi Jawa timur  
GI Sengkaling



**Gambar Single Line Diagram Penerapan Kapasitor Merode Binary Linear Deterministic**

Festigkeitsmaß Kapazität Methoden Binärer Linear Determinante

Keterangan

TRAF

**DATA PENGUKURAN BEBAN DAN TEGANGAN UTJUNG (MALAM)  
" UJT KOTA P. DINYOY"**



Tabel 4-6

Rugi Daya Tiap Saluran Penyalang Dinoyo Sebelum Kompensasi

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	7.188	10.988
2	3	1.217	1.86
2	38	0.001	0
3	4	8.261	12.629
3	39	0	0
4	5	3.06	4.677
4	40	0.002	0.003
5	6	4.874	7.451
6	7	0.814	1.245
6	41	0.002	0.003
7	8	3.725	5.695
7	44	0	0
8	9	2.759	4.257
8	45	0.029	0.045
9	10	0.597	0.913
9	54	0	0
10	11	1.119	1.71
10	55	0.007	0.011
11	12	0.245	0.374
11	57	0.001	0
12	13	2.203	3.368
12	58	0.003	0.004
13	14	3.059	4.676
14	15	0.441	0.674
14	59	0.004	0.007
15	16	4.423	6.762
16	17	0.304	0.464
16	61	0	0
17	18	0.52	0.795
17	62	0	0
18	19	1.004	1.535
18	63	0.002	0.004
18	64	0	0
19	20	1.529	1.92
19	65	0.033	0.026
20	21	0.471	0.591
21	22	2.536	3.186
22	23	0.552	0.693
22	74	0.004	0.003
23	24	0.171	0.215

Lanjutan Tabel 4-6.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
23	76	0.001	0.002
24	25	0.087	0.109
25	26	0.831	1.043
26	27	0.281	0.353
27	28	0.115	0.144
27	77	0.007	0.006
28	29	0.096	0.12
28	78	0	0
29	30	0.299	0.376
30	31	0.198	0.248
31	32	0.095	0.119
31	79	0.006	0.01
32	33	0.031	0.039
32	81	0.016	0.013
33	34	0.302	0.379
33	83	0	0
34	35	0.079	0.099
35	36	0.007	0.009
35	84	0.169	0.131
36	37	0	0
41	42	0	0.001
42	43	0	0
45	46	0.004	0.007
46	47	0.012	0.018
47	48	0.013	0.019
47	51	0.001	0.001
48	49	0.007	0.011
49	50	0.001	0.001
50	52	0.005	0.008
50	53	0	0
55	56	0.002	0.004
59	60	0.001	0.001
65	66	0.032	0.049
65	68	0	0
66	67	0.003	0.005
67	69	0.001	0.001
67	70	0.003	0.004
70	71	0.005	0.008
70	73	0.008	0.003
71	72	0	0

Lanjutan Tabel 4-6.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
74	75	0.001	0.001
79	80	0.001	0.001
81	82	0.001	0.001
84	85	0.211	0.163
84	91	0.002	0.001
85	86	0.078	0.06
86	87	0.047	0.036
87	88	0.086	0.069
88	89	0.008	0.012
89	90	0.003	0.004

**Tabel 4-7**  
**Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node**  
**Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

<b>Bus</b>	<b>Tegangan abs (pu)</b>	<b>Sudut Fasa (rad)</b>
1	1	0
2	0.99875	-0.08106
3	0.99853	-0.09514
4	0.99708	-0.19359
5	0.99653	-0.23099
6	0.99566	-0.29266
7	0.99552	-0.30335
8	0.99485	-0.35264
9	0.99434	-0.39582
10	0.99423	-0.40518
11	0.99403	-0.42353
12	0.99398	-0.42769
13	0.99358	-0.46692
14	0.99302	-0.52385
15	0.99294	-0.53243
16	0.99215	-0.62576
17	0.9921	-0.63236
18	0.99201	-0.64414
19	0.99185	-0.66994
20	0.99181	-0.71157
21	0.99154	-0.72537
22	0.9912	-0.80482
23	0.99114	-0.82455
24	0.99104	-0.82678
25	0.99098	-0.82796
26	0.9904	-0.83988
27	0.9902	-0.84409
28	0.99011	-0.84591
29	0.99003	-0.84752
30	0.98977	-0.85285
31	0.98959	-0.8566
32	0.9895	-0.85862
33	0.98946	-0.85938
34	0.98907	-0.86748
35	0.98896	-0.86968
36	0.98892	-0.87059
37	0.98892	-0.87062
38	0.99874	-0.08111
39	0.99853	-0.09517
40	0.99704	-0.1946

Lanjutan Tabel 4-7.

<b>Bus</b>	<b>Tegangan abs (pu)</b>	<b>Sudut Fasa (rad)</b>
41	0.99564	-0.29333
42	0.99563	-0.29369
43	0.99562	-0.29379
44	0.99551	-0.30341
45	0.99476	-0.35493
46	0.99475	-0.35535
47	0.99469	-0.3569
48	0.99461	-0.35908
49	0.99455	-0.36061
50	0.99454	-0.36081
51	0.99468	-0.35723
52	0.99447	-0.36282
53	0.99453	-0.36125
54	0.99433	-0.39587
55	0.99416	-0.40722
56	0.9941	-0.4087
57	0.99402	-0.42357
58	0.99395	-0.4286
59	0.99296	-0.52535
60	0.99294	-0.52594
61	0.99215	-0.62591
62	0.9921	-0.63246
63	0.99199	-0.64469
64	0.99201	-0.64422
65	0.99176	-0.67051
66	0.99161	-0.67444
67	0.99159	-0.67504
68	0.99175	-0.67054
69	0.99155	-0.67524
70	0.99157	-0.67557
71	0.9915	-0.67735
72	0.99149	-0.67775
73	0.99148	-0.67476
74	0.99118	-0.80497
75	0.99116	-0.80535
76	0.99112	-0.82513
77	0.99012	-0.84456
78	0.99011	-0.84598
79	0.98953	-0.8582
80	0.98952	-0.85845

Lanjutan Tabel 4-7.

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
81	0.98939	-0.85926
82	0.98937	-0.85941
83	0.98946	-0.8594
84	0.98872	-0.87116
85	0.98837	-0.87326
86	0.98821	-0.87427
87	0.98808	-0.87507
88	0.98778	-0.87716
89	0.98772	-0.87878
90	0.98768	-0.87973
91	0.9887	-0.87129

**Tabel 4-8**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	5007.377	737.93
2	1	-5002.14	-729.93
2	3	4913.754	675.151
2	38	88.389	54.778
3	2	-4912.87	-673.8
3	4	4810.02	610.06
3	39	102.85	63.74
4	3	-4804.04	-600.916
4	5	4720.875	549.373
4	40	83.163	51.542
5	4	-4718.67	-545.994
5	6	4605.156	475.648
6	5	-4601.64	-470.28
6	7	4481.622	395.896
6	41	120.023	74.384
7	6	-4481.04	-395.002
7	8	4457.849	380.631
7	44	23.188	14.371
8	7	-4455.17	-376.542
8	9	3973.782	78.138
8	45	481.392	298.404
9	8	-3971.82	-75.105
9	10	3945.54	58.821
9	54	26.275	16.284
10	9	-3945.12	-58.17
10	11	3817.527	-20.909
10	55	127.587	79.079
11	10	-3816.73	22.127
11	12	3722.145	-80.746
11	57	94.586	58.618
12	11	-3721.97	81.012
12	13	3601.862	-155.451
12	58	120.108	74.438
13	12	-3600.29	157.853
13	14	3492.538	-224.632
14	13	-3490.35	227.974
14	15	3382.261	-294.932
14	59	108.091	66.958
15	14	-3381.95	295.415
15	16	3201.49	-407.25

Lanjutan Tabel 4-3.

No. Node	No. Gardu	Pembebatan		Type Bus
		P(kW)	Q(kVAR)	
41	679	77.493	48.025	Load
42	877	26.126	16.191	Load
43	962	16.401	10.164	Load
44	435	23.188	14.371	Load
45	664	89.25	55.312	Load
46	117	104.54	64.788	Load
47	-	0	0	Load
48	604	48.307	29.938	Load
49	178	56.287	34.883	Load
50	-	0	0	Load
51	452	70.55	43.723	Load
52	178A	92.191	57.135	Load
53	895	20.196	12.516	Load
54	381	26.275	16.284	Load
55	504	65.963	40.88	Load
56	912	61.615	38.185	Load
57	201A	94.585	58.618	Load
58	625	120.105	74.434	Load
59	874	62.645	38.824	Load
60	893	45.441	28.126	Load
61	602	63.393	39.287	Load
62	914	87.55	54.258	Load
63	678	166.6	103.249	Load
64	648	82.45	51.098	Load
65	-	0	0	Load
66	470	75.735	46.936	Load
67	-	0	0	Load
68	376	70.686	43.807	Load
69	984	37.961	23.526	Load
70	-	0	0	Load
71	380	85.388	52.918	Load
72	881	21.692	13.443	Load
73	179	78.914	48.906	Load
74	482	125.29	77.647	Load
75	619	47.311	29.321	Load
76	501	63.954	39.635	Load
77	473	98.736	61.191	Load
78	207	89.25	55.312	Load
79	595A	29.75	18.437	Load
80	595	117.852	73.038	Load

Lanjutan Tabel 4-3.

No. Node	No. Gardu	Pembebatan		Type Bus
		P(kW)	Q(kVAR)	
81	391	114.818	71.157	Load
82	418	46.002	28.509	Load
83	572	91.817	56.903	Load
84	-	0	0	Load
85	225	143.803	89.121	Load
86	225A	117.139	72.596	Load
87	518	69.186	42.877	Load
88	458	114.75	71.115	Load
89	688	74.791	46.351	Load
90	81	111.318	68.988	Load
91	643	90.695	56.207	Load

**Tabel 4-4**  
**Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node**  
**Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi**

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1	0
2	0.99799	-0.05298
3	0.99764	-0.06213
4	0.99524	-0.12571
5	0.99433	-0.14975
6	0.99286	-0.18907
7	0.9926	-0.19583
8	0.99144	-0.22693
9	0.99047	-0.25318
10	0.99026	-0.25882
11	0.98985	-0.26974
12	0.98976	-0.27219
13	0.98891	-0.295
14	0.98769	-0.3277
15	0.98751	-0.33257
16	0.98559	-0.38427
17	0.98546	-0.3879
18	0.98522	-0.39429
19	0.98473	-0.40774
20	0.98393	-0.42425
21	0.98367	-0.42958
22	0.98223	-0.45951
23	0.98189	-0.46658
24	0.98179	-0.46885
25	0.98173	-0.47006
26	0.98114	-0.4822
27	0.98094	-0.4865
28	0.98085	-0.48835
29	0.98077	-0.48999
30	0.98051	-0.49542
31	0.98033	-0.49924
32	0.98023	-0.5013
33	0.98019	-0.50208
34	0.9798	-0.51032
35	0.97969	-0.51257
36	0.97965	-0.5135
37	0.97965	-0.51353
38	0.99798	-0.05302
39	0.99764	-0.06216
40	0.9952	-0.12673

Lanjutan Tabel 4-4.

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
41	0.99283	-0.18975
42	0.99282	-0.19011
43	0.99282	-0.1902
44	0.99259	-0.19588
45	0.99135	-0.22923
46	0.99134	-0.22966
47	0.99128	-0.23122
48	0.9912	-0.23342
49	0.99114	-0.23495
50	0.99113	-0.23516
51	0.99127	-0.23155
52	0.99106	-0.23718
53	0.99112	-0.2356
54	0.99046	-0.25323
55	0.99018	-0.26088
56	0.99013	-0.26237
57	0.98984	-0.26978
58	0.98973	-0.27311
59	0.98763	-0.32922
60	0.98761	-0.32981
61	0.98559	-0.38443
62	0.98545	-0.38801
63	0.9852	-0.39484
64	0.98522	-0.39437
65	0.98463	-0.40832
66	0.98448	-0.41231
67	0.98446	-0.41291
68	0.98463	-0.40835
69	0.98443	-0.41312
70	0.98444	-0.41346
71	0.98438	-0.41526
72	0.98436	-0.41567
73	0.98436	-0.41264
74	0.98221	-0.45967
75	0.98219	-0.46005
76	0.98187	-0.46717
77	0.98086	-0.48697
78	0.98085	-0.48842
79	0.98027	-0.50087
80	0.98026	-0.50113

Lanjutan Tabel 4-4.

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
81	0.98012	-0.50195
82	0.9801	-0.5021
83	0.98019	-0.50209
84	0.97945	-0.51408
85	0.9791	-0.51622
86	0.97893	-0.51725
87	0.9788	-0.51806
88	0.97849	-0.5202
89	0.97843	-0.52184
90	0.9784	-0.52281
91	0.97942	-0.51421

**Tabel 4-5**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyalang Dinoyo Sebelum Kompensasi**

<b>Saluran</b>		<b>P</b> <b>(kW)</b>	<b>Q</b> <b>(kVAR)</b>
<b>Dari</b>	<b>Ke</b>		
1	2	5020.943	3158.446
2	1	-5013.75	-3147.46
2	3	4925.366	3092.679
2	38	88.389	54.778
3	2	-4924.15	-3090.82
3	4	4821.299	3027.079
3	39	102.85	63.74
4	3	-4813.04	-3014.45
4	5	4729.874	2962.908
4	40	83.163	51.542
5	4	-4726.82	-2958.23
5	6	4613.306	2887.885
6	5	-4608.43	-2880.43
6	7	4488.409	2806.049
6	41	120.023	74.384
7	6	-4487.59	-2804.81
7	8	4464.406	2790.434
7	44	23.188	14.371
8	7	-4460.68	-2784.74
8	9	3979.289	2486.335
8	45	481.392	298.404
9	8	-3976.53	-2482.08
9	10	3950.254	2465.794
9	54	26.275	16.284
10	9	-3949.66	-2464.88
10	11	3822.07	2385.802
10	55	127.587	79.079
11	10	-3820.95	-2384.09
11	12	3726.365	2325.473
11	57	94.585	58.618
12	11	-3726.12	-2325.1
12	13	3606.013	2250.661
12	58	120.108	74.438
13	12	-3603.81	-2247.29
13	14	3496.057	2180.514
14	13	-3493	-2175.84
14	15	3384.907	2108.88
14	59	108.091	66.957
15	14	-3384.47	-2108.21
15	16	3204.012	1996.372

Lanjutan Tabel 4-5.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
16	15	-3199.59	-1989.61
16	17	3136.195	1950.323
16	61	63.393	39.287
17	16	-3135.89	-1949.86
17	18	3048.341	1895.601
17	62	87.55	54.258
18	17	-3047.82	-1894.81
18	19	2798.77	1740.457
18	63	166.602	103.252
18	64	82.45	51.098
19	18	-2797.77	-1738.92
19	20	2427.305	1509.291
19	65	370.46	229.63
20	19	-2425.78	-1507.37
20	21	2318.065	1440.618
21	20	-2317.59	-1440.03
21	22	2225.404	1382.892
22	21	-2222.87	-1379.71
22	23	2050.262	1272.736
22	74	172.605	106.971
23	22	-2049.71	-1272.04
23	24	1985.756	1232.407
23	76	63.955	39.636
24	23	-1985.58	-1232.19
24	25	1898.035	1177.934
25	24	-1897.95	-1177.83
25	26	1798.09	1115.94
26	25	-1797.26	-1114.9
26	27	1722.273	1068.424
27	26	-1721.99	-1068.07
27	28	1623.249	1006.876
27	77	98.743	61.196
28	27	-1623.14	-1006.73
28	29	1533.885	951.42
28	78	89.25	55.312
29	28	-1533.79	-951.3
29	30	1451.136	900.077
30	29	-1450.84	-899.701
30	31	1363.287	845.442
31	30	-1363.09	-845.194

Lanjutan Tabel 4-5.

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
31	32	1215.481	753.709
31	79	147.608	91.485
32	31	-1215.39	-753.59
32	33	1054.549	653.912
32	81	160.836	99.678
33	32	-1054.52	-653.872
33	34	962.702	596.97
33	83	91.816	56.902
34	33	-962.4	-596.591
34	35	927.113	574.723

**Tabel 4-6**  
**Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	7.188	10.988
2	3	1.217	1.86
2	38	0.001	0
3	4	8.261	12.629
3	39	0	0
4	5	3.06	4.677
4	40	0.002	0.003
5	6	4.874	7.451

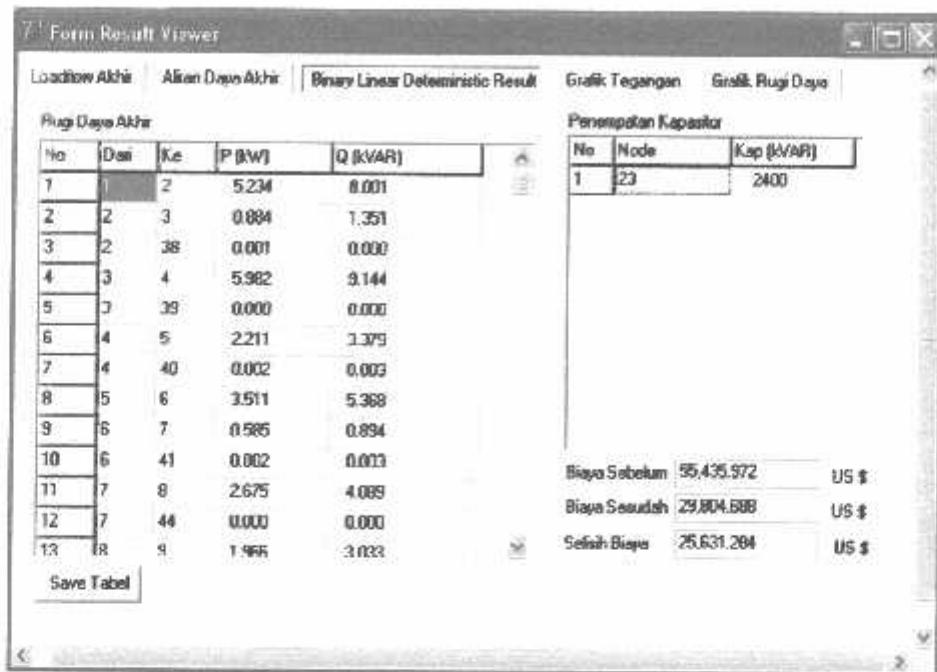
Tabel 4-6 lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Banyaknya Iterasi = 2

Rugi Total Saluran Sebelum Kompensasi =  $54.301 + j \ 80.451$  kVA

#### 4.3.2 Hasil *Binary Linear Deterministic*

Berdasarkan hasil perhitungan aliran daya dengan *Newton Raphson* akan dicari penetuan lokasi penempatan kapasitor dan kapasitas kapasitor yang optimal, dalam hal ini efektif untuk memperbaiki kondisi tegangan bus dan mengurangi rugi pada saluran dan ekonomis terhadap alokasi dana yang dibutuhkan. Berikut adalah tampilan hasil perhitungan dengan metode *Binary Linear Deterministic*:



Gambar 4.6 Hasil Program Metode *Binary Linear Deterministic*

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa kapasitor dipasang pada *node* 23, dengan kapasitas yaitu sebesar 2400 kVAR. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor diperoleh perbaikan profil tegangan, penurunan batas pembebahan saluran serta pengurangan aliran daya tiap saluran .

Tabel berikut adalah tabel tegangan tiap-tiap bus dan rugi-rugi saluran sesudah kompensasi.

**Tabel 4-7**  
**Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node**  
**Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1	0
2	0.99875	-0.08106
3	0.99853	-0.09514
4	0.99708	-0.19359
5	0.99653	-0.23099
6	0.99566	-0.29266

Tabel 4-7 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

**Tabel 4-8**  
**Aliran Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	5007.377	737.93
2	1	-5002.14	-729.93
2	3	4913.754	675.151
2	38	88.389	54.778
3	2	-4912.87	-673.8
3	4	4810.02	610.06

Tabel 4-8 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

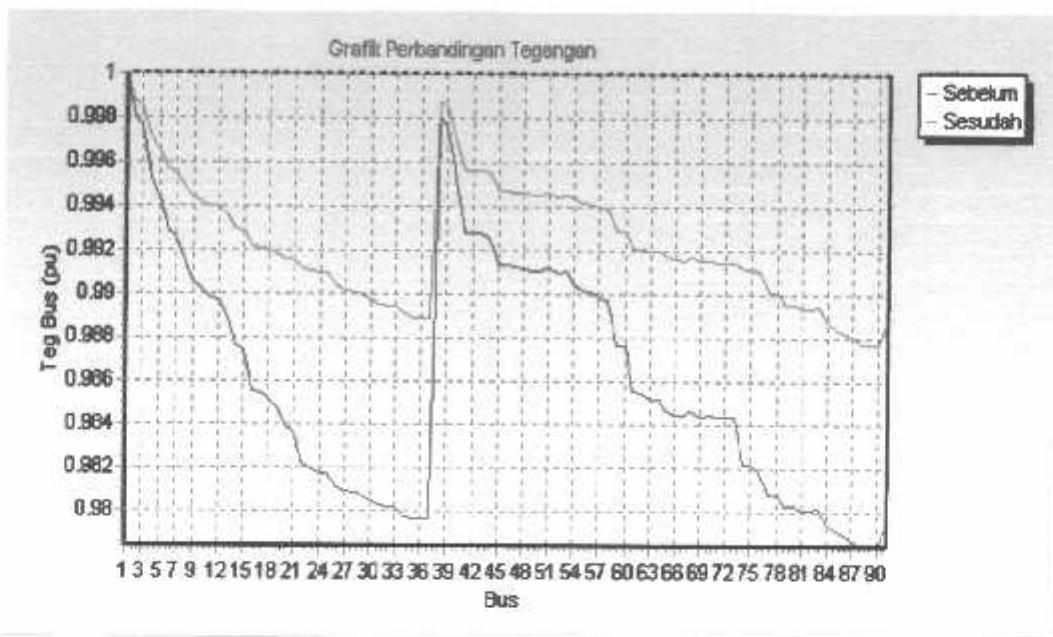
**Tabel 4-9**  
**Rugi Daya Tiap Saluran Penyulang Dinoyo Sesudah Kompensasi**

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	5.234	8.001
2	3	0.884	1.351
2	38	0.001	0
3	4	5.982	9.144
3	39	0	0
4	5	2.211	3.379

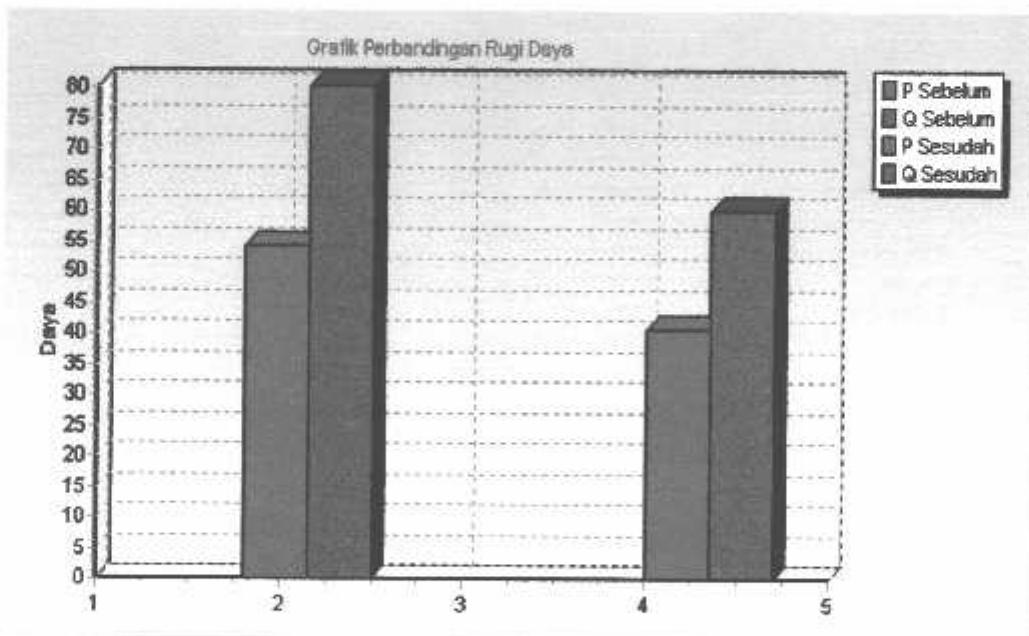
Tabel 4-9 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Banyaknya Iterasi = 3

Rugi Total Saluran Setelah Kompensasi =  $40.735 + j \ 59.935$  kVA



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



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

Dari grafik 4-1 diatas terlihat bahwa tegangan tiap bus sebelum dilakukan kompensasi rata-rata sebesar dibawah 0,980 pu, tetapi setelah dilakukan kompensasi dengan pemasangan kapasitor maka terjadi perbaikan tegangan, rata-rata besar tegangan pada tiap-tiap bus menjadi diatas 0,988 pu. Nilai penghematan yang diperoleh setelah kompensasi sebesar 25,631.294 US S/Tahun atau sebesar Rp. 233.244.775,-/Tahun, dengan asumsi 1 US \$ adalah Rp. 9.100,-.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode ini, terlihat bahwa tegangan tiap bus sebelum dilakukan kompensasi rata-rata sebesar dibawah 0,98 pu, tetapi setelah dilakukan kompensasi dengan pemasangan kapasitor maka terjadi perbaikan tegangan, rata-rata besar tegangan pada tiap-tiap bus menjadi diatas 0,988 pu.
2. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa dengan metode *Binary Linear Deterministic*, letak dan kapasitas kapasitor yang optimal pada *node* 23 dengan kapasitas sebesar 2400 kVAR.
3. Nilai penghematan yang diperoleh setelah kompensasi sebesar 25,631.294 US \$/Tahun atau sebesar Rp. 233.244.775,-/Tahun, dengan asumsi 1 US \$ adalah Rp. 9.100,-.

## DAFTAR PUSAKA

1. Basri, Hasan, *Sistem Distribusi Daya Listrik* (Jakarta : ISTN, 1997).
2. Stevenson, W.D, *Analisis Sisitem Tenaga Listrik*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta, 1982.
3. Roberto S., Aguilar, Pablo Cuervo, “*Capasitor Placement in Radial Distribution Networks Through A Linier Deterministic Optimization Model*”, 15 th PSCC, Liege, 22-26 August 2005.
4. R.A Gallego, A. Monticeli, and R Romero,” *Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks,*” IEEE Trans. Power System, Vol.16, no 4, November 2001.
5. J. P. Chiou, C. F. Chang, Ching T. S., “*Ant Direction Hybrid Differensial Evolution for Solving Large Capacitor Placement Problems*”, IEEE Trans. Power System, Vol.19, no 4, November 2004.

# L A M P I R A N

---

**Tabel 4-2**  
**Impedansi Saluran Penyulang Dinoyo**

No Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R (Ohm)	X (Ohm)
1	1	2	378.00	0.08172	0.12492
2	2	3	66.3	0.014334	0.021912
3	3	4	469.40	0.101484	0.155136
4	4	5	180.00	0.038916	0.05949
5	5	6	301	0.065076	0.099481
6	6	7	53.00	0.011459	0.017517
7	7	8	245	0.052969	0.080973
8	8	9	230.00	0.049276	0.076015
9	9	10	50.00	0.01081	0.016525
10	10	11	100	0.02162	0.03305
11	11	12	23	0.004973	0.007602
12	12	13	221.00	0.04778	0.073041
13	13	14	326	0.070481	0.107743
14	14	15	50	0.01081	0.016525
15	15	16	560	0.121072	0.18508
16	16	17	40	0.008648	0.01322
17	17	18	72.5	0.015675	0.023981
18	18	19	168	0.035889	0.054863
19	19	20	270	0.072576	0.091152
20	20	21	91	0.024461	0.030722
21	21	22	532	0.143002	0.179603
22	22	23	136.00	0.036557	0.045914
23	23	24	45	0.012096	0.015192
24	24	25	25	0.00672	0.00844
25	25	26	266	0.071501	0.089802
26	26	27	98	0.026342	0.033085
27	27	28	45	0.012096	0.015192
28	28	29	42	0.01129	0.014179
29	29	30	147	0.039514	0.049627
30	30	31	110	0.029568	0.037136
31	31	32	65.5	0.017875	0.02245
32	32	33	29	0.007795	0.00979
33	33	34	336.00	0.090317	0.113434
34	34	35	95	0.025536	0.032072
35	35	36	178.00	0.047846	0.060093
36	36	37	10.00	0.002688	0.003376
37	2	38	48	0.022118	0.017146
38	3	39	10	0.002162	0.003305
39	4	40	429	0.09275	0.141785
40	6	41	197	0.042591	0.065109

Lanjutan Tabel 4-2.

No Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R (Ohm)	X (Ohm)
41	41	42	300	0.06486	0.09915
42	42	43	200	0.04324	0.0661
43	7	44	246.00	0.113357	0.087871
44	8	45	167.00	0.036105	0.055194
45	45	46	38	0.008216	0.012559
46	46	47	190	0.041078	0.062795
47	47	48	353	0.076319	0.116667
48	48	49	318.00	0.068752	0.105099
49	49	50	63	0.013621	0.020822
50	47	51	164.00	0.035457	0.054202
51	50	52	765	0.165393	0.252833
52	50	53	771	0.16669	0.254816
53	9	54	169	0.077875	0.060367
54	10	55	563	0.121721	0.186072
55	55	56	841	0.181824	0.277951
56	11	57	40	0.018432	0.014288
57	12	58	265	0.057293	0.087583
58	14	59	500.00	0.1081	0.1625
59	59	60	450	0.09729	0.148725
60	16	61	85.2	0.01842	0.028159
61	17	62	50	0.013474	0.01688
62	18	63	115	0.024863	0.038008
63	18	64	35	0.007567	0.011568
64	19	65	149.00	0.068198	0.052866
65	65	66	459	0.099236	0.1517
66	66	67	89	0.018242	0.029415
67	65	68	50	0.02304	0.01786
68	67	69	517	0.238234	0.184672
69	67	70	101	0.021836	0.033381
70	70	71	579	0.12518	0.19136
71	71	72	850	0.14053	0.214825
72	70	73	366	0.337342	0.138714
73	22	74	87	0.04009	0.031076
74	74	75	343	0.099039	0.115525
75	23	76	314	0.067887	0.103777
76	27	77	453	0.208742	0.161812
77	28	78	31	0.008333	0.010466
78	31	79	377	0.081507	0.124599
79	79	80	74.7	0.01615	0.024688
80	32	81	378	0.174182	0.135022

Lanjutan Tabel 4-2.

No Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R (Ohm)	X (Ohm)
81	81	82	314	0.144691	0.112161
82	33	83	5	0.001344	0.001688
83	35	84	196	0.089856	0.069654
84	84	85	318	0.14653	0.11359
85	85	86	197	0.090778	0.070368
86	86	87	204	0.094003	0.072869
87	87	88	594	0.263931	0.211109
88	88	89	301	0.065076	0.099481
89	89	90	295	0.063779	0.097498
90	84	91	138	0.06359	0.049294

**Tabel 4-3**  
**Data Pembebanan Penyulang Dinoyo**

No. Node	No. Gardu	Pembebanan		Type Bus
		P(kW)	Q(kVAR)	
1	-	0	0	Slack
2	-	0	0	Load
3	-	0	0	Load
4	-	0	0	Load
5	299	113.509	70.346	Load
6	-	0	0	Load
7	-	0	0	Load
8	-	0	0	Load
9	-	0	0	Load
10	-	0	0	Load
11	-	0	0	Load
12	-	0	0	Load
13	201	107.753	66.779	Load
14	-	0	0	Load
15	461	180.455	111.835	Load
16	-	0	0	Load
17	-	0	0	Load
18	-	0	0	Load
19	-	0	0	Load
20	478	107.712	66.754	Load
21	362	92.191	57.135	Load
22	-	0	0	Load
23	-	0	0	Load
24	969	87.55	54.258	Load
25	614	99.858	61.886	Load
26	181	74.987	46.473	Load
27	-	0	0	Load
28	-	0	0	Load
29	970	82.654	51.224	Load
30	957	87.55	54.259	Load
31	-	0	0	Load
32	-	0	0	Load
33	-	0	0	Load
34	206	35.287	21.869	Load
35	-	0	0	Load
36	298A	110.5	68.481	Load
37	298	94.248	58.409	Load
38	192	88.388	54.778	Load
39	70	102.85	63.74	Load
40	596	83.161	51.539	Load

## BAB III

### METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC* UNTUK MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER

#### 3.1. Analisa Aliran Daya Jaringan

Dalam analisis teknis penempatan kapasitor pada jaringan dengan menggunakan Algoritma Pencarian *Binary Linear Deterministic* dibutuhkan suatu proses awal yaitu studi aliran daya pada jaringan guna mengetahui rugi-rugi daya saluran. Oleh karena itu pembahasan selanjutnya sebelum proses analisa penempatan kapasitor dengan menggunakan metode Algoritma Pencarian *Binary Linear Deterministic* dilakukan, terlebih dahulu dilakukan proses studi aliran daya dengan menggunakan Metode *Newton Raphson*.

##### 3.1.1. Metode *Newton Raphson*

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

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

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

Injeksi daya pada simpul p adalah :

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

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

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 dituliskan :

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

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

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

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

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

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

**Dimana :**

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

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

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

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

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

$$H_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} \quad N_{pq} = \frac{\partial P_p}{\partial V_q}$$

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q}$$

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

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

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

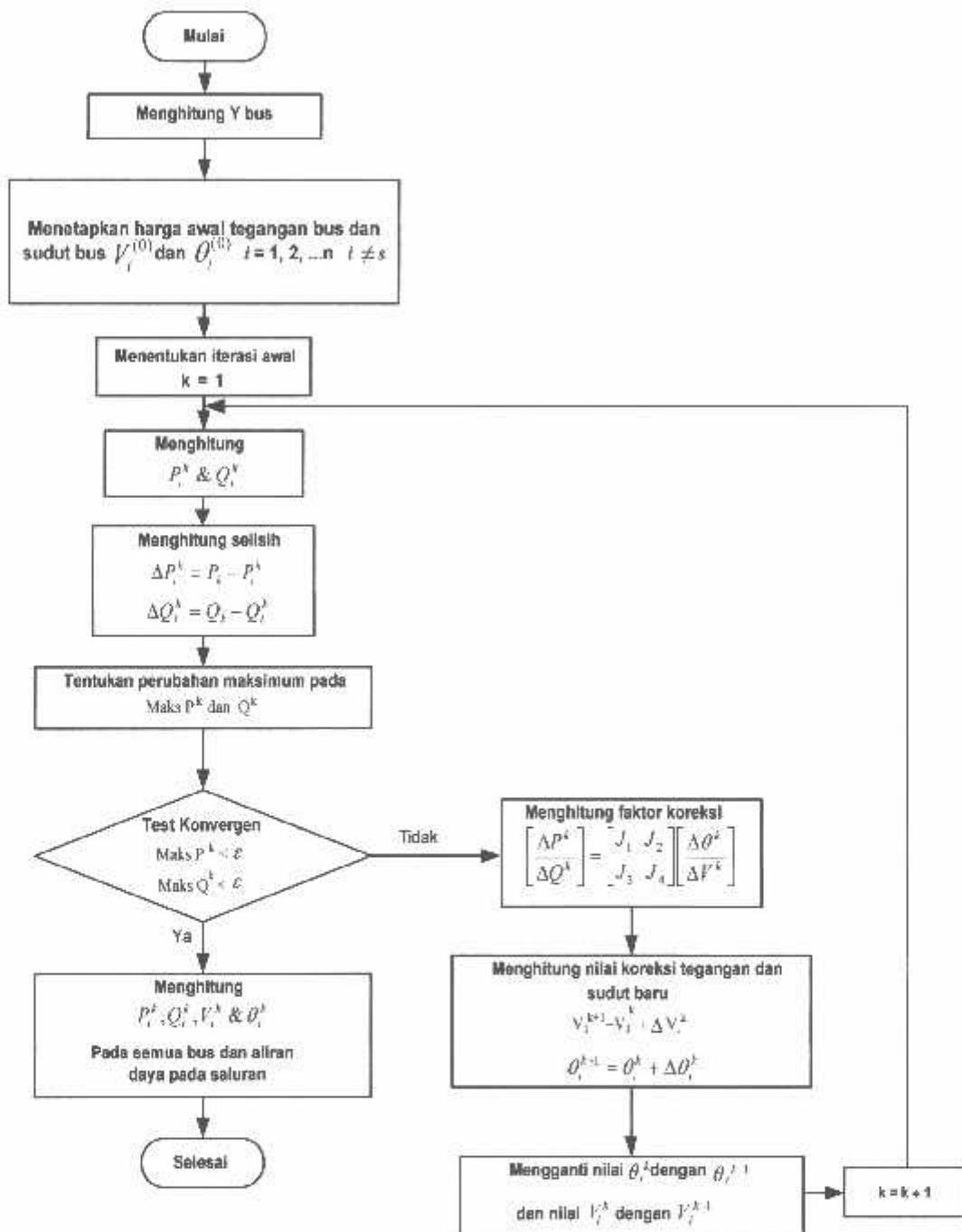
Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya nyata dan daya reaktif antara yang dijadwalkan dengan yang dihitung, yaitu  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  untuk

semua simpul mendekati nilai toleransi atau proses perhitungan iterasi mencapai konvergen.

### 3.1.2. Algoritma Aliran Daya *Newton Raphson*

1. Menghitung matriks admitansi bus : $[Y_{bus}]$ .
2. Menetapkan harga awal tegangan dan sudut fasa untuk semua bus kecuali bus slack  $[V_i(0), \delta(0)]$ . Menentukan nomor iterasi awal,  $k=1$ .
3. Menghitung injeksi daya aktif dan reaktif pada setiap bus dengan persamaan 3.5 dan 3.6 kecuali bus slack.
4. Menghitung selisih daya yang dijadwalkan dengan injeksi daya bus dari perhitungan.
5. Menentukan perubahan maksimum pada daya aktif dan daya reaktif.
6. Membandingkan apakah selisih daya sudah sama atau lebih kecil dari  $\varepsilon$ .
7. Jika “ya” hitung daya aktif dan reaktif, tegangan dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, serta aliran daya pada saluran dan perhitungan selesai, jika “tidak” lanjutkan ke langkah berikutnya.
8. Menghitung faktor koreksi tegangan dan sudut fasa setiap bus kecuali bus slack dan bus generator.
9. Menghitung nilai tegangan dan sudut fasa yang baru.
10. Mengganti nilai sudut fasa yang lama dengan sudut fasa yang baru, tegangan yang lama dengan tegangan yang baru.
11. Perhitungan dilanjutkan ke langkah 5 dengan nilai iterasi yang baru sampai hasil yang didapatkan konvergen.

Flowchart Algoritma Aliran Daya Newton Raphson :



Gambar 3.1. Flowchart Algoritma Aliran Daya Newton Raphson

### 3.2. Metode *Binary Linear Deterministic*

*Binary Linear Deterministic* adalah metode analisa linearisasi deterministik yang diterapkan pada distribusi data x terhadap y yang membentuk persamaan garis yang dikonversikan ke dalam koordinat kartesian untuk mendapatkan nilai konstanta pengali komulatif dari suatu persamaan garis non linear.

Dalam memilih suatu metode solusi untuk aplikasi praktis seringkali mengalami kesulitan, pilihan itu memerlukan analisis yang cermat atas kelebihan dan kekurangan dari sekian banyak metode yang ada. Untuk solusi dari permasalahan ini maka digunakan suatu alternatif metode yaitu metode Algoritma Pencarian *Binary Linear Deterministic*.

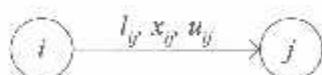
Metode Algoritma Pencarian *Binary Linear Deterministik* ini adalah salah satu metode penentuan letak titik atau *node* penempatan kapasitor beserta kapasitasnya yang optimal dengan pemodelan satu set titik yang dihubungkan oleh garis busur atau *graf*. Tiap-tiap pergerakan dari garis busur atau *graf* mengkombinasikan kapasitas dari sejumlah kapasitor dan lokasi yang memungkinkan untuk ditempatkan di sepanjang saluran.

Untuk menyelesaikan permasalahan ini, *graf-graf* dalam setiap graf ditentukan sedemikian rupa sehingga algoritma dapat bergerak dari satu titik ke titik yang lain dalam mencari solusi yang paling optimal.

---

### 3.2.1. Pemodelan Pergerakan Garis Busur (*Graf*)

Suatu *graf* terdiri dari kumpulan node, dan kumpulan arc. Informasi yang disertakan dalam *graf* menjelaskan batasan-batasan serta kondisi arc dan node dalam *graf* tersebut. Suatu *graf*  $G$  yang terdiri dari himpunan arc  $A$  dan himpunan node  $N$  dinotasikan dengan  $G = (N, A)$ . Batas kapasitas arc antara node  $i$  dan  $j$  terdiri dari batas kapasitas maksimum aliran yang diijinkan, dinotasikan dengan  $u_{ij}$  dan batas minimum aliran yang diijinkan, dinotasikan dengan  $l_{ij}$ . Besar aliran komoditas dalam arc dinotasikan dengan  $x_{ij}$ .



**Gambar 3.2.** Notasi dalam *Graf*.

Berikut ditampilkan bentuk atau model jaringan dan titik-titik lokasi sebagai solusi awal penempatan kapasitor seperti pada gambar 3.3 di bawah ini:

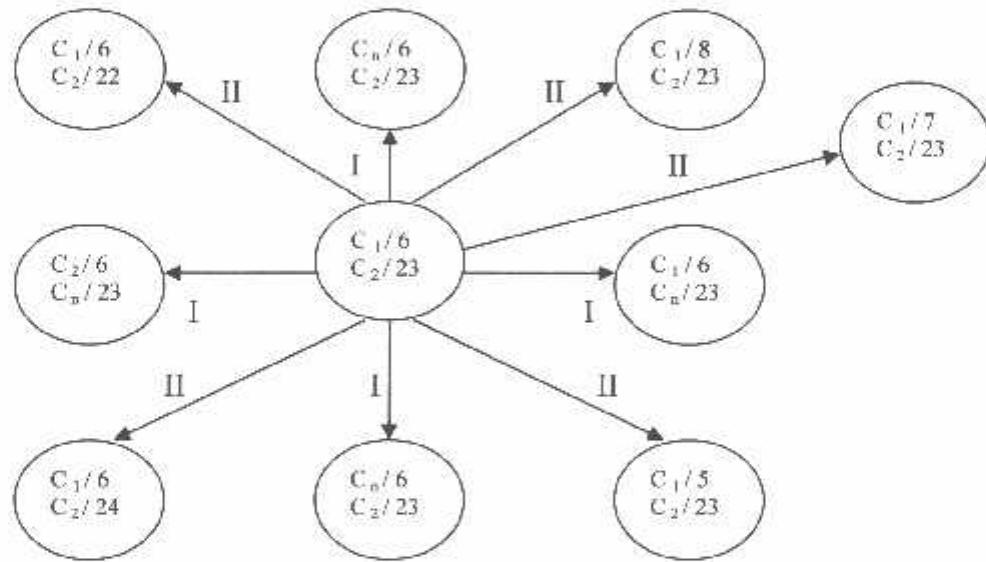


**Gambar 3.3.**  
Model Penempatan Kapasitor Pada Jaringan Distribusi

### 3.2.2. Bentuk Pergerakan *Graf*

Model pergerakan *graf* kombinasi I menggambarkan pergerakan *graf* yang memodelkan perubahan hanya pada satu ukuran kapasitas kapasitor saja dengan lokasi bus yang tetap.

Pada pergerakan *graf* kombinasi II menggambarkan pergerakan *graf* yang memodelkan perubahan lokasi bus dengan kapasitas kapasitor yang tetap. Untuk perubahan lokasi bus ini hanya dibolehkan pada bus yang terdekat dengan lokasi pada penentuan solusi awal.



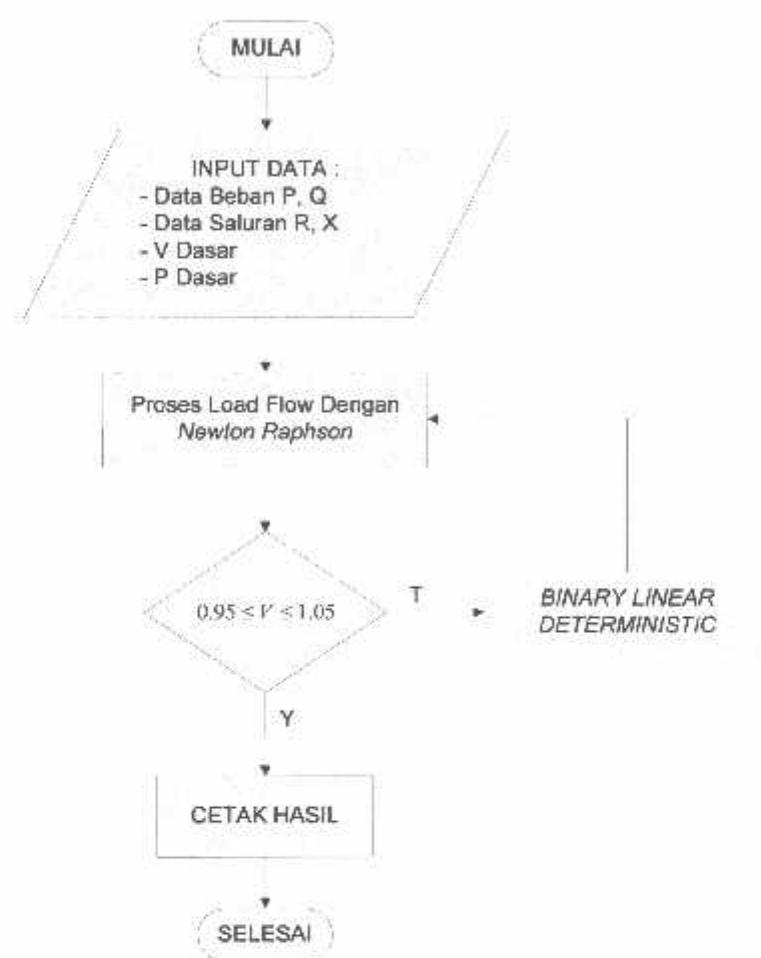
**Gambar 3.4.** Model Pergerakan *Graf* Kombinasi I dan II

### 3.2.3. Algoritma Pemecahan Masalah

Adapun algoritma pemecahan masalah adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Memasukan inputan data beban, yang berupa daya aktif (P), daya reaktif (Q), data saluran, daya dasar, dan tegangan dasar.
3. Aplikasikan Metode *Newton Raphson* untuk pencarian aliran daya awal.
4. Jika tegangan tidak memenuhi syarat dengan batas  $0.95 \leq V \leq 1.05$ , maka aplikasikan Metode *Binary Linear Deterministic*, dan kembali ke langkah 3.
5. Jika tegangan telah memenuhi syarat dengan batas  $0.95 \leq V \leq 1.05$ , maka lanjutkan ke langkah 6.
6. Cetak hasil.
7. Selesai

Berikut adalah diagram alir dari penjelasan diatas:



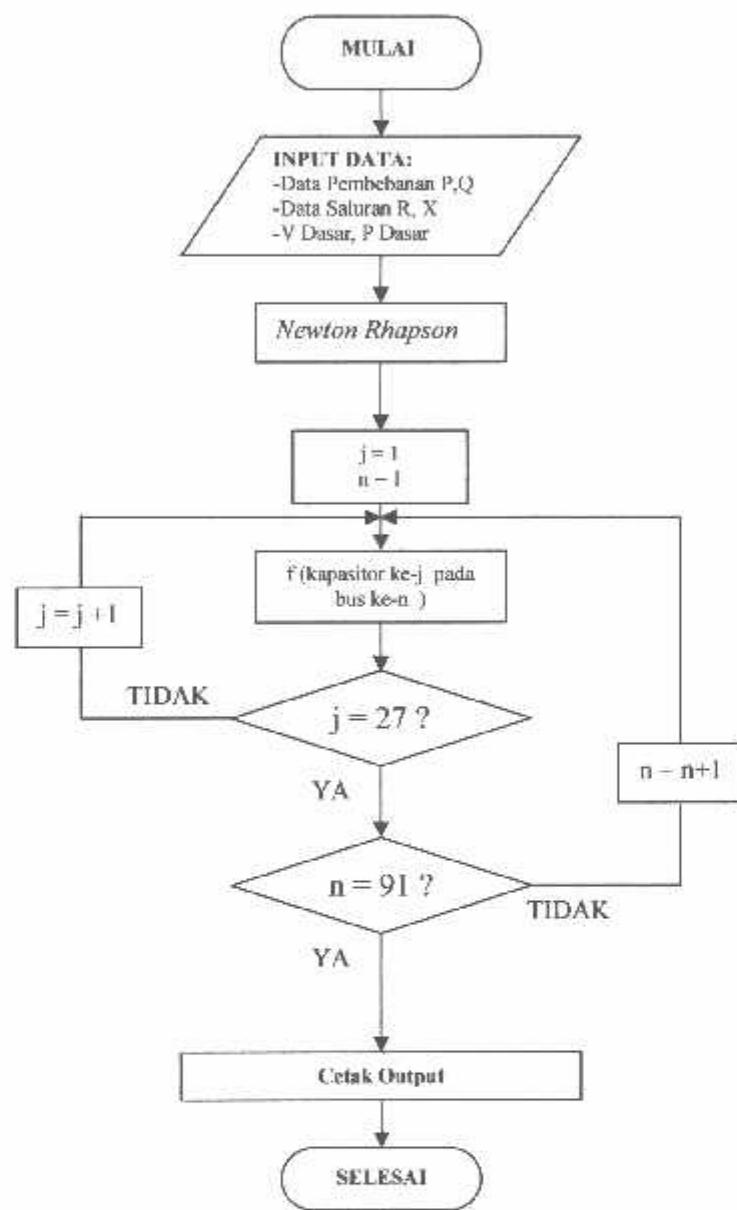
Gambar 3.5. *Flowchart* Algoritma Pemecahan Masalah

### 3.2.4. Algoritma Program Solusi *Binary Linear Deterministic*

Adapun algoritma dari *Binary Linear Deterministic* adalah sebagai berikut :

1. Mulai
2. Memasukan inputan data beban, yang berupa daya aktif ( $P$ ), daya reaktif ( $Q$ ), tegangan dasar, daya dasar dan data saluran.
3. Aplikasikan metode *Newton Raphson* untuk pencarian aliran daya awal
4. Evaluasi kombinasi kapasitor ke- $j$  pada bus ke- $n$  sampai diperoleh nilai optimum.
5. Apakah  $j = 27$ . Jika diterima, lanjutkan ke langkah berikutnya. Jika tidak, kembali ke langkah 4 dengan  $j = j + 1$ .
6. Apakah  $n = 91$ . Jika diterima maka lanjutkan ke langkah selanjutnya, jika tidak kembali ke langkah 4 dengan  $n = n + 1$ .
7. Cetak Hasil.
8. Selesai.

Berikut adalah diagram alir dari penjelasan diatas:



**Gambar 3.6.** Flowchart Algoritma Binary Linear Deterministic

### 3.3. Rugi Daya Jaringan dan Penghematan Biaya Kompensasi

Secara teknis, tujuan dari pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi adalah untuk memperbaiki profil tegangan dan untuk meminimalkan rugi daya jaringan agar total daya yang dibangkitkan atau yang dikirim sebanding dengan permintaan daya pada konsumen. Pertimbangan ekonomis juga digunakan dalam hal penghematan biaya tahunan yang diperoleh setelah pemasangan kapasitor.

Secara matematis perhitungan rugi daya dan total keuntungan tahunan yang diperoleh setelah kompensasi dapat dirumuskan dengan persamaan di bawah ini .

Rugi daya :

$$P_{Loss}(t) = \sum_{i=1}^{N_{BS}} [I_i(t)^2] R_i(t) \dots \quad (3.10)$$

$$P_{Loss}(t) = \sum_{i=1}^{8640} P_{Loss_i}(t) \dots \dots \dots \quad (3.11)$$

Dimana:

$P_{loss}$  = Rugi-Rugi Daya (kW)

(t) = 8640 (Jam)

$I_i$  = Arus Saluran ke- i (Ampere)

$R_i$  = Resistansi Saluran ke- i ( $\Omega$ )

Penghematan biaya tahunan :

**Dimana:**

LP = Pengurangan Rugi Daya (kW)

LE = Pengurangan Rugi Energi (kWh)

C<sub>c</sub> = Biaya Total Kapasitor (\$/Tahun)

K<sub>p</sub> = Faktor Konversi Rugi Daya (\$ 168 / kW/tahun)

K<sub>e</sub> = Faktor Konversi Rugi Energi (\$ 0.06/ kWh)

## **BAB IV**

### **ANALISIS PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV MENGGUNAKAN ALGORITMA *LINEAR DETERMINISTIC***

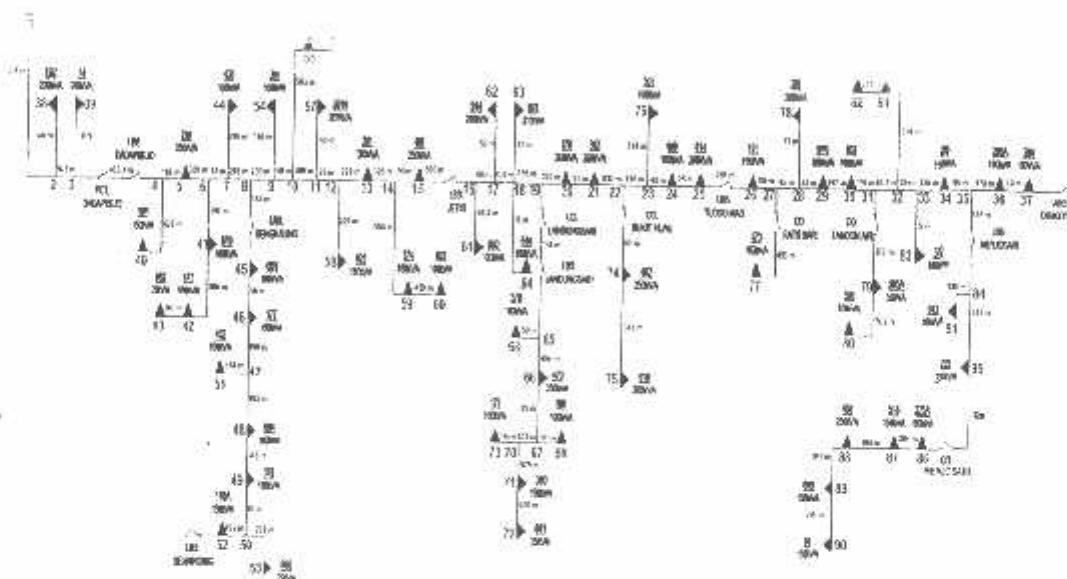
Pada bab ini akan dibahas simulasi dan analisis metode *Binary Linear Deterministic* yang diterapkan pada pencarian solusi terbaik penempatan kapasitor pada jaringan distribusi radial 20 kV untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi saluran agar kondisi tegangan tiap bus tetap pada batas normal. Penerapan metode ini dilakukan dengan menggunakan komputer dengan perangkat lunak Borland Delphi 7.0 sebagai fasilitas *user interface*.

#### **4.1 Data Analisis**

Pada skripsi ini data analisis yang akan digunakan adalah data jaringan distribusi 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, sedangkan data penyulang yang digunakan adalah penyulang Dinoyo. Sistem distribusi radial GI Sengkaling memakai tegangan distribusi 20 kV. Sebagai penyetaraan satuan pada perhitungan maka digunakan sistem per-unit (pu), dimana nominal dasar yang digunakan adalah sebagai berikut:

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

Selanjutnya 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. Berikut adalah gambaran jaringan yang akan dianalisa dalam bentuk diagram *single line*:



**Gambar 4.1 Single Line Diagram Penyulang Dinoyo**

#### 4.1.1 Data Saluran

Jaringan distribusi penyulang Dinoyo menggunakan kabel saluran udara. Dari data spesifikasi saluran pada penyulang Dinoyo diketahui bahwa jenis konduktor yang digunakan adalah  $\Lambda\Lambda\Lambda C$  (*all-aluminium-alloyconductors*), dengan spesifikasi yang seperti pada tabel 4-1

**Tabel 4-1  
Spesifikasi Saluran**

Jenis Konduktor	Penampang Nominal (mm <sup>2</sup> )	Impedansi (Ω/km)
ΑΑΑC	35	0,9217 + j 0,3790
AAAC	50	0,6452 + j 0,3678
AAAC	70	0,4608 + j 0,3572
ΑΑΑC	120	0,2688 + j 0,3376
ΑΑΑC	150	0,2162 + j 0,3305

Untuk perhitungan Impedansi saluran diberikan contoh pada *node 1 ke 2* dengan penampang nominal 150 mm<sup>2</sup>, sebagai berikut:

Jarak antara node dari 1 ke 2 dengan panjang = 378 m = 0,378 km

$$R = 0,378 \text{ km} \times 0,2162 \Omega/\text{km} = 0,08172 \Omega$$

$$X = 0,378 \text{ km} \times 0,3305 \Omega/\text{km} = 0,12492 \Omega$$

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

**Tabel 4-2  
Impedansi Saluran Penyulang Dinoyo**

No Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (m)	Impedansi Saluran	
				R (Ohm)	X (Ohm)
1	1	2	378.00	0.08172	0.12492
2	2	3	66.3	0.014334	0.021912
3	3	4	469.40	0.101484	0.155136
4	4	5	180	0.038916	0.05949
5	5	6	301	0.065076	0.099481
6	6	7	53.00	0.011459	0.017517
7	7	8	245	0.052969	0.080973
8	8	9	230.00	0.049276	0.076015
9	9	10	50.00	0.01081	0.016525
10	10	11	100	0.02162	0.03305
11	11	12	23	0.004973	0.007602
12	12	13	221.00	0.04778	0.073041
13	13	14	326	0.070481	0.107743

Tabel 4-2 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

#### 4.1.2 Data Pembebanan

Pembebanan diperoleh dengan mengambil data dari masing-masing trafo distribusi, dimana besarnya beban pada masing-masing fasa diasumsikan seimbang. Jika besarnya pembebanan adalah nol, maka pada node tidak terdapat trafo distribusi tetapi hanya merupakan simpul. Pada tahap ini rugi-rugi yang terjadi pada trafo distribusi diabaikan, dengan mengasumsi faktor daya 0,85.

Dibawah ini diberikan contoh perhitungan pembebanan pada *Node 5* :

$$\text{Kapasitas Trafo} = 250 \text{ kVA}$$

$$\text{Beban Gardu} = 53,41 \%$$

$$\text{Faktor Daya} = \cos \phi = 0,85$$

$$\sin \phi = 0,526$$

$$\text{Pembebanan} = 250 \times 53,41 \% = 133,54 \text{ kVA}$$

$$\text{Beban Aktif (P)} = 133,54 \times \cos \phi = 133,54 \times 0,85 = 113,509 \text{ kW}$$

$$\text{Beban Reaktif (Q)} = 133,54 \times \sin \phi = 133,54 \times 0,526 = 70,346 \text{ kVAR}$$

Adapun data pembebanan seperti pada table 4-3.

**Tabel 4-3**  
**Data Pembebatan Penyalang Dinoyo**

No. Node	No. Gardu	Pembebatan		Type Bus
		P(kW)	Q(kVAR)	
1	-	0	0	Slack
2	-	0	0	Load
3	-	0	0	Load
4	-	0	0	Load
5	299	113.509	70.346	Load
6	-	0	0	Load
7	-	0	0	Load
8	-	0	0	Load
9	-	0	0	Load
10	-	0	0	Load
11	-	0	0	Load
12	-	0	0	Load
13	201	107.753	66.779	Load
14	-	0	0	Load
15	461	180.455	111.835	Load

Tabel 4-3 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

#### 4.2 Program Aplikasi *Binary Linear Deterministic*

Program aplikasi ini dibuat menggunakan *compiler* Borland Delphi 7.0 yang menggunakan bahasa pemrograman Pascal sebagai struktur bahasanya. Program ini menggunakan 4 (empat) format sebagai *parent windows* dari komponen aplikasi. Seperti program aplikasi lainnya program ini memiliki beberapa fitur sebagai fasilitas *user*.

##### 4.2.1 Format Utama

Format utama adalah tampilan windows yang berfungsi sebagai pembungkus fasilitas awal pada aplikasi seperti:

1. “*Make New*”, yaitu *wizard* untuk memudahkan *user* pada operasi pembuatan file analisis yang baru.
2. “*Load File*”, yaitu fasilitas aplikasi untuk *mc-load* file yang akan dipersiapkan untuk dianalisa pada aplikasi.

Berikut adalah *print preview* dari tampilan utama :



**Gambar 4.2** Tampilan Utama Program

#### 4.2.2 Format Data Input

Format data input adalah format yang berfungsi sebagai format yang memuat data input berupa data saluran, data beban, serta data kapasitor. Pada format ini terdapat fasilitas untuk mengaplikasikan perhitungan aliran daya awal menggunakan metode *Newton Raphson* yang di kemas dalam fungsi tombol “*Newton Raphson*”. Berikut adalah tampilan format data input.

Form Data Input

Parameter Input	Attribut Kapasitor							
Jumlah Bus	91	V Base	20	kV				
Jumlah Saluran	87	P Base	100	kVA				
		Parameter	ohm					
No	Dari	Ke	R (ohm)	X (ohm)	Lc (ohm)	Ti		
1	1	2	0.08172	0.12492	0	0		
2	2	3	0.014334	0.021912	0	0		
3	3	4	0.101484	0.155136	0	0		
4	4	5	0.038916	0.06949	0	0		
5	5	6	0.055076	0.099481	0	0		
6	6	7	0.011459	0.017517	0	0		
7	7	8	0.052369	0.080973	0	0		
8	8	9	0.000000	0.000000	0	0		
No	Abs V (pu)	Sud V (deg)	Pgen (kW)	Qgen (kVAR)	Pload (kW)	Qload (kVAR)	Cap	Typ Bi
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	3
3	1	0	0	0	0	0	0	3
4	1	0	0	0	0	0	0	3
5	1	0	0	0	113.509	70.346	0	3
6	1	0	0	0	0	0	0	3
7	1	0	0	0	0	0	0	3

Newton Raphson | Close

Gambar 4.3 Tampilan Data Input

#### 4.2.3 Format Newton Raphson Result

Format Newton Raphson Result adalah format penampil hasil perhitungan *Newton Raphson* yang berupa tabel aliran daya awal dan tabel load flow awal, pada form ini perhitungan menggunakan metode *Binary Linear Deterministic* dapat diterapkan dengan mengaplikasikan fungsi dari pada tombol “*Execute With Binary Linear Deterministic*”. Berikut adalah tampilan dari format *Newton Raphson*:

Form Newton Raphson Result					
			Rugi Saluran Sebelum		
No	Dari	Kep	P (kW)	Q (kVAR)	Arus re (A)
1	1	2	5020.943	3158.446	0.000
2	2	1	-5013.754	-3147.458	0.000
3	2	3	4925.366	3092.679	0.000
4	2	38	68.389	54.770	0.000
5	3	2	-4924.149	-3090.819	0.000
6	3	4	4821.299	3027.079	0.000
7	3	39	102.850	63.740	0.000
8	4	3	-4813.036	-3014.450	0.000
9	4	5	4729.874	2962.908	0.000
10	4	40	69.163	51.542	0.000
11	5	4	-4726.815	-2958.231	0.000
12	5	6	4613.306	2887.885	0.000

Summary Result

Total Pembangkitan	$5020.943 + j3158.446$	kVA
Total Pembebanan	$4966.642 + j3077.995$	kVA
Total Rugi-Rugi Saluran	$54.301 + j 80.451$	kVA
Iterasi	2	
Waktu Komputasi (jam:mnt:detik:msdetik)	0:0:0.94	

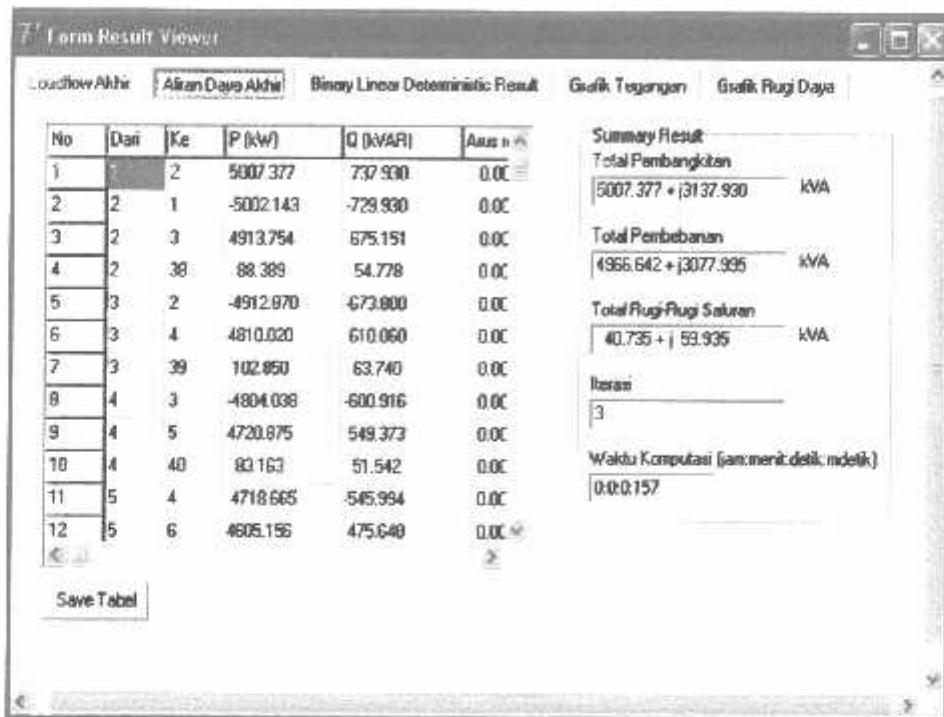
Indikator Iterasi

Execute With Binary Linear Deterministic

**Gambar 4.4** Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Sebelum Kompensasi

#### 4.2.4 Format Result Viewer

Format ini adalah format yang menampilkan hasil perhitungan akhir yang berupa tabel aliran daya akhir dan tabel load flow akhir serta lokasi penempatan kapasitor yang optimal, total rugi saluran, grafik profil tegangan, grafik rugi daya sebelum dan sesudah kompensasi, serta biaya sebelum dan sesudah penempatan kapasitor.



**Gambar 4.5** Tampilan Hasil Aliran Daya Untuk Mengetahui Harga Tegangan Dan Sudut Fasa Tiap-tiap Bus Setelah Kompensasi

### 4.3 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 tiap-tiap bus, arus yang mengalir pada saluran, dan aliran daya tiap saluran. Setelah studi aliran daya dilakukan, barulah dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada saluran.

Untuk menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor terlebih dahulu menentukan rugi daya saluran terbesar yang digunakan sebagai input untuk menjalankan metode *Binary Linear Deterministic* agar kapasitor dapat diletakkan pada lokasi yang memberikan profil tegangan yang paling optimum. Sedangkan

untuk pencarian grafik yang optimal secara random ditentukan oleh program komputer demikian pula untuk perhitungan besar nilai penghematan.

#### 4.3.1 Analisa Aliran Daya Awal

Pada tahap awal proses aplikasi akan menjalankan intruksi untuk menerapkan metode *Newton Raphson* yang diterapkan pada data saluran yang berupa data impedansi dan besaran nominal dasar untuk mengetahui kondisi awal tegangan pada bus-bus. Kondisi tegangan dan aliran daya awal *Newton Raphson* adalah sebagai berikut:

**Tabel 4-4  
Profil Tegangan dan Sudut Fasa Tegangan Tiap Node  
Penyulang Dinoyo Sebelum Kompensasi**

Bus	Tegangan abs (pu)	Sudut Fasa (rad)
1	1	0
2	0.99799	-0.05298
3	0.99764	-0.06213
4	0.99524	-0.12571
5	0.99433	-0.14975
6	0.99286	-0.18907

Tabel 4-4 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

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

Saluran		P (kW)	Q (kVAR)
Dari	Ke		
1	2	5020.943	3158.446
2	1	-5013.75	-3147.46
2	3	4925.366	3092.679
2	38	88.389	54.778
3	2	-4924.15	-3090.82
3	4	4821.299	3027.079

Tabel 4-5 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

## 1.5 Metodologi Pembahasan

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

### 1. Studi Literatur

Yaitu suatu kajian pustaka dengan mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan.

### 2. Pengumpulan Data

Bentuk data yang digunakan adalah:

a. Data kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk angka-angka

b. Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk diagram. Dalam hal ini *single line diagram* penyulang.

### 3. Melakukan analisa dengan bantuan perangkat lunak komputer dengan bahasa pemrograman Delphi Versi 7.0.

a. Analisa aliran daya menggunakan Metode *Newton Raphson*.

b. Analisa penentuan lokasi kapasitor shunt untuk perbaikan profil tegangan menggunakan Algoritma *Linear Deterministic*.

c. Analisa pengaruh pemasangan kapasitor terhadap sistem, diantaranya perbaikan profil tegangan, pengurangan rugi-rugi saluran dan keuntungan yang dipperoleh.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

### BAB I : PENDAHULUAN

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

### BAB II : SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN APLIKASI KAPASITOR

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

### BAB III : METODE *BINARY LINEAR DETERMINISTIC* UNTUK MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN DISTRIBUSI PRIMER

Pada bab ini akan dibahas metode aliran daya *Newton Raphson*, Algoritma *Linear Deterministic* dan algoritma program pemecahan masalah untuk menentukan penempatan kapasitor.

---

**BAB IV : ANALISIS PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN DENGAN  
MENENTUKAN LETAK KAPASITOR PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI 20 kV MENGGUNAKAN ALGORITMA *LINEAR  
DETERMINISTIC***

Bab ini akan dibahas mengenai penentuan letak kapasitor, analisa perhitungan dengan menggunakan Metode *Algoritma Linear Deterministic*, perbandingan profil tegangan, rugi daya dan nilai biaya sebelum dan setelah penempatan kapasitor.

**BAB V : KESIMPULAN**

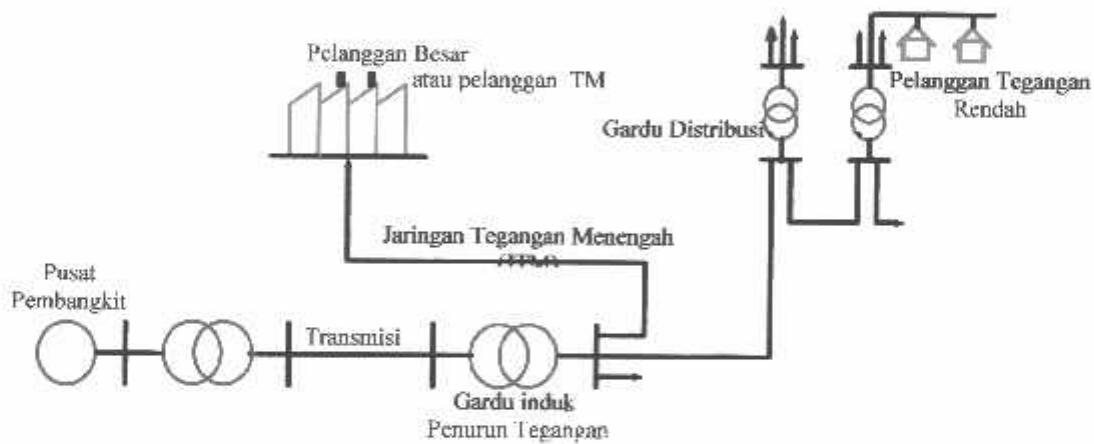
Merupakan bab terakhir yang memuat intisari dari hasil pembahasan, yang berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan penulisan selanjutnya.

## BAB II

### SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DAN APLIKASI KAPASITOR

#### 2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik. Sistem tenaga listrik ini mempunyai peranan utama untuk menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik.



Gambar 2.1. Skema Penyaluran Energi Listrik<sup>[1]</sup>

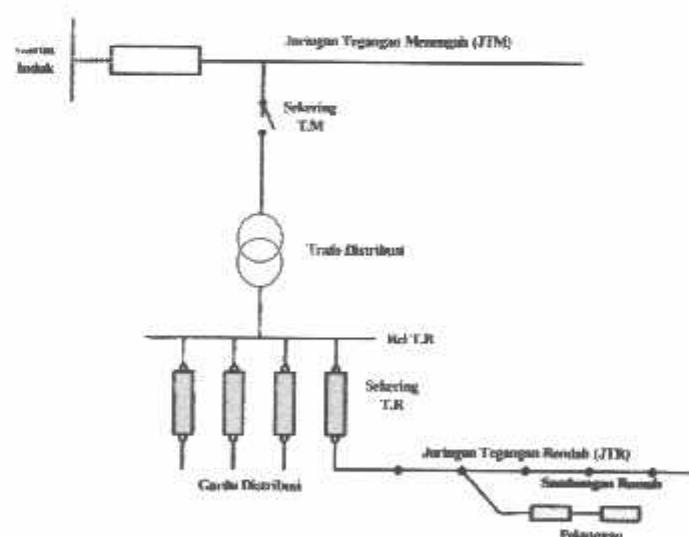
Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat diklompokkan menjadi 3 sub sistem, yaitu :

1. Sistem Pembangkitan : Berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga produsitor energi.

2. Sistem Transmisi atau Penyaluran : Berfungsi sebagai penyalur daya listrik secara besar-besaran dari pembangkit ke bagian sistem distribusi atau konsumen.
3. Sistem Distribusi dan Beban : Berperan sebagai distributor energi ke konsumen yang memerlukan energi tersebut.

## 2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi berada pada akhir dari sistem tenaga listrik, peranannya mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen melalui gardu distribusi. jaringan setelah keluar dari gardu induk bisa disebut jaringan distribusi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah untuk selanjutnya disalurkan kerumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah.



**Gambar 2.2.** Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah ke Pelanggan

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

1. Sistem Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Sistem Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)

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

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

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

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

Tingkat tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder adalah tegangan rendah yaitu 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.

---

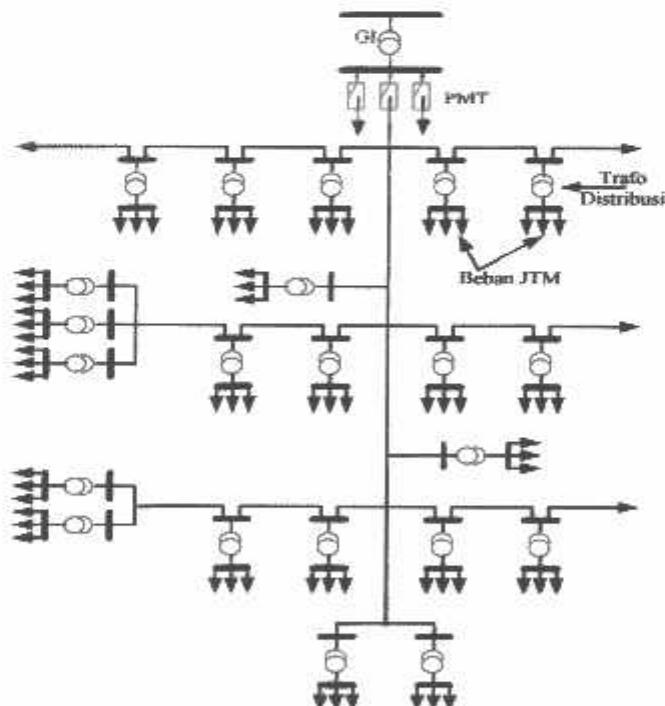
### 2.3. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

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

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

#### 2.3.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak dipergunakan. Sistem ini dikatakan radial karena dari kenyataannya bahwa jaringan ini ditarik secara radial dari gardu induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayani. Sistem ini terdiri dari saluran utama (*tunk line*) dan saluran cabang (*lateral*) seperti pada gambar 2.3.



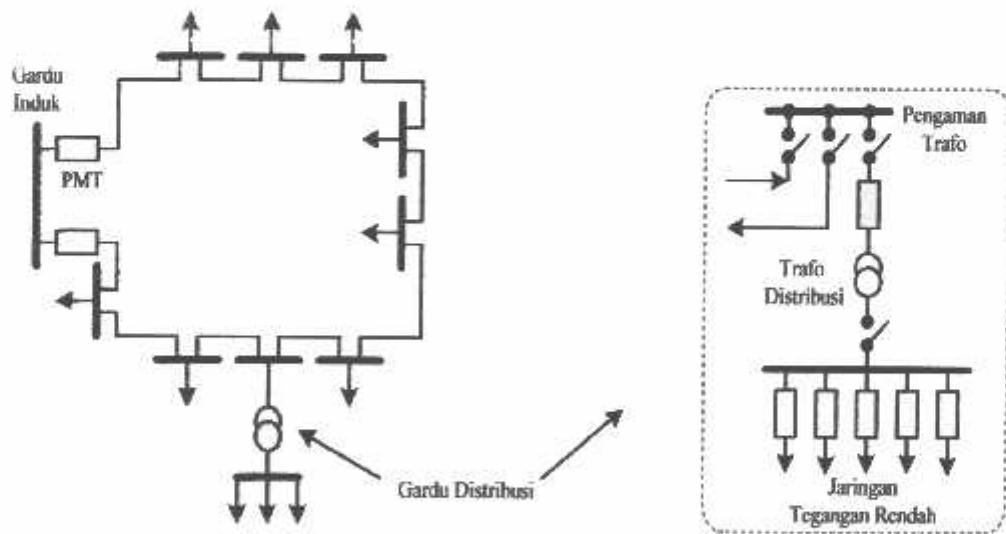
**Gambar 2.3.** Jaringan Tegangan Menengah Sistem Distribusi Radial [1]

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

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

### 2.3.2. Sistem Jaringan Distribusi Tertutup (Loop).

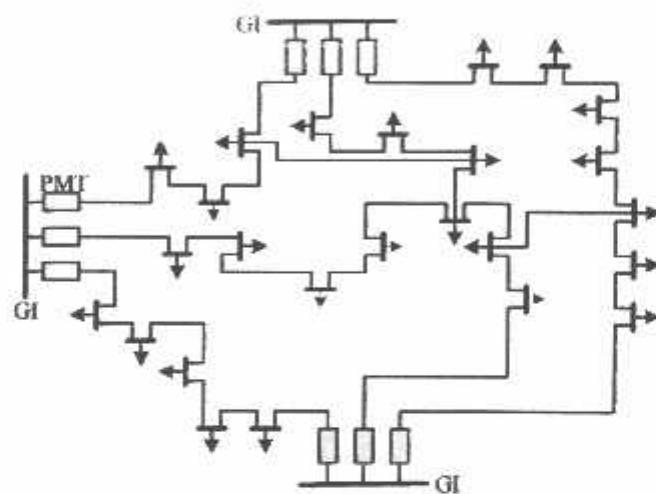
Sistem ini disebut jaringan distribusi *loop* karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani, membentuk suatu rangkaian *loop*.



**Gambar 2.4.** Jaringan Tegangan Menengah Struktur Loop yang dipasok dari satu sumber [1]

### 2.3.3. Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*.

Jaringan Distribusi *Mesh* merupakan jaringan yang strukturnya komplek, dimana kelangsungan penyaluran dan pelayanannya diutamakan. Struktur jaringan ini umumnya digunakan pada jaringan tegangan rendah yang kepadatannya cukup tinggi.



Gambar 2.5. Jaringan Tegangan Menengah Struktur *Mesh*<sup>[1]</sup>

### 2.4. Macam-macam Struktur Jaringan Distribusi Radial

Tipe jaringan ini merupakan bentuk dasar, susunan maupun kebutuhan alat-alat penunjangnya paling sedikit dan paling sederhana. Tipe ini paling banyak digunakan untuk melayani konsumen terutama beban-beban rumah tangga yang tidak menuntut tingkat kontinyuitas pelayanan yang tinggi. Sumber daya pada tipe ini hanya dari satu titik. Salurannya dicabang-cabang menuju ke titik-titik beban, dan antara titik sumber dengan titik beban hanya ada satu pilihan. Dengan demikian bila salah satu saluran cabang mengalami gangguan maka seluruh beban yang ada di saluran tersebut akan mengalami pemadaman total.

Jaringan distribusi radial mempunyai beberapa keuntungan dan kelemahan sebagai berikut :

Keuntungan jaringan radial :

1. Bentuknya sederhana dibandingkan dengan bentuk lain.
2. Biaya investasinya relatif lebih murah, karena saluran menuju ke tiap beban hanya tersedia satu jalur.

Kelemahan jaringan radial :

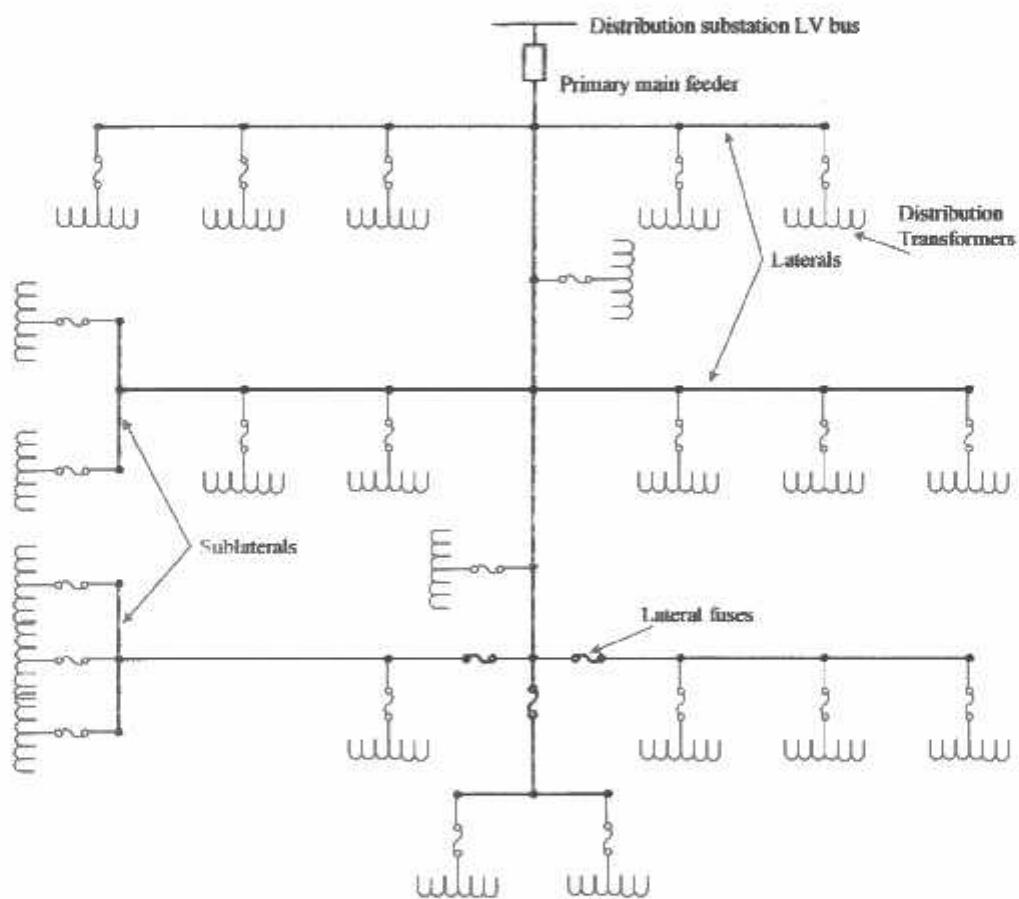
1. Kualitas pelayanan (penyaluran daya) dibanding dengan tipe yang lain lebih jelek, sebab jatuh tegangan dan rugi-rugi daya relatif besar. Kerugian ini terjadi pada saluran.
2. Kontinyuitas penyaluran daya tidak terjamin. Dengan hanya mengandalkan satu saluran, maka bila terjadi gangguan pada saluran tersebut tidak dapat diharapkan *supply* melalui saluran ini.

Jaringan radial ini dalam perkembangannya mengalami beberapa bentuk modifikasi sehingga dikenal beberapa macam jaringan distribusi radial, yaitu :

1. Sistem Radial Pohon
2. Sistem Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah
3. Sistem Radial dengan Pusat Beban
4. Sistem Radial dengan pembagian Daerah Phasa (*Phase Area*)

#### 2.4.1. Sistem Radial Pohon

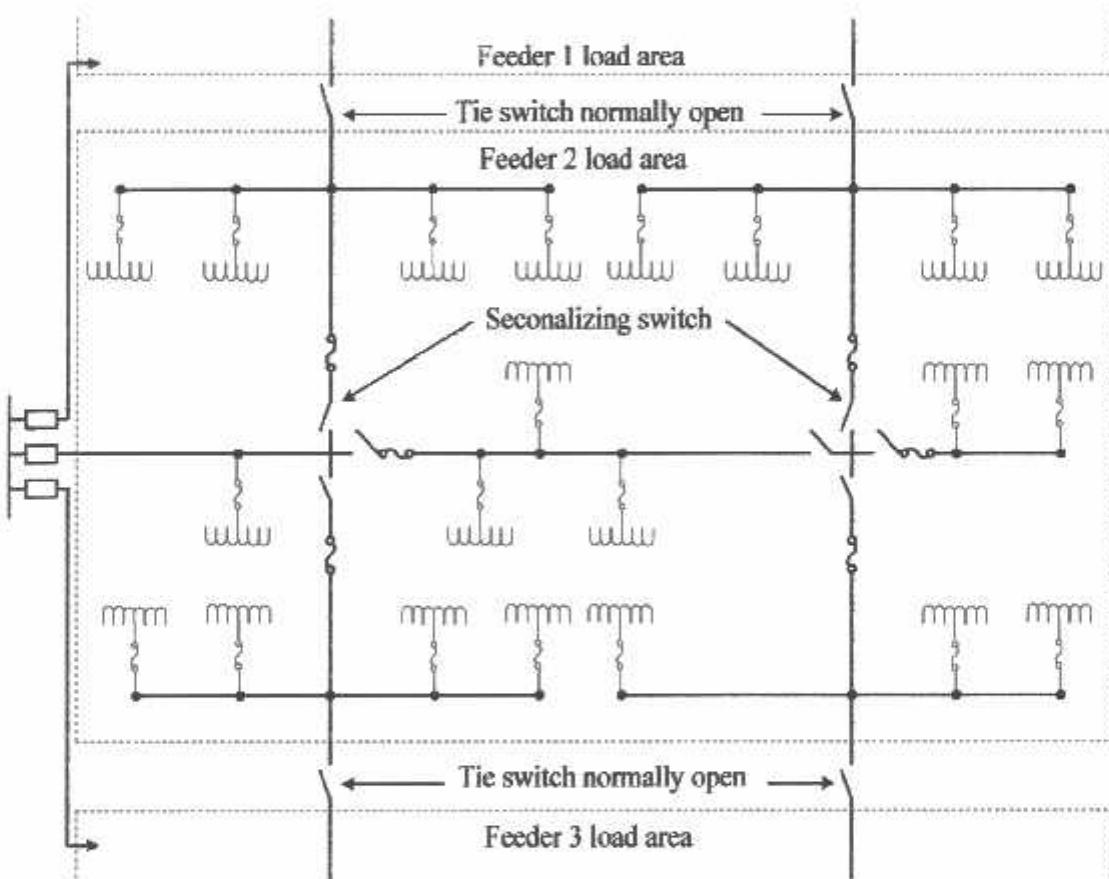
Sistem radial jaringan pohon ini merupakan bentuk yang paling dasar dari sistem jaringan radial. Saluran utama (*main feeder*) ditarik dari suatu Gardu Induk sesuai dengan kebutuhan kemudian di cabangkan melalui saluran cabang (*lateral feeder*), selanjutnya di cabangkan lagi melalui saluran anak cabang (*sub lateral feeder*). Ukuran dari masing-masing saluran tergantung dari besar arus yang ditanggung. Dari gambar 2.6, *main feeder* merupakan saluran yang dialiri arus terbesar, selanjutnya arus mengecil pada setiap cabang dari besarnya beban.



Gambar 2.6. Sistem radial jaringan pohon <sup>(3)</sup>

#### 2.4.2. Sistem Radial Dengan *Tie* dan *Switch Pemisah*

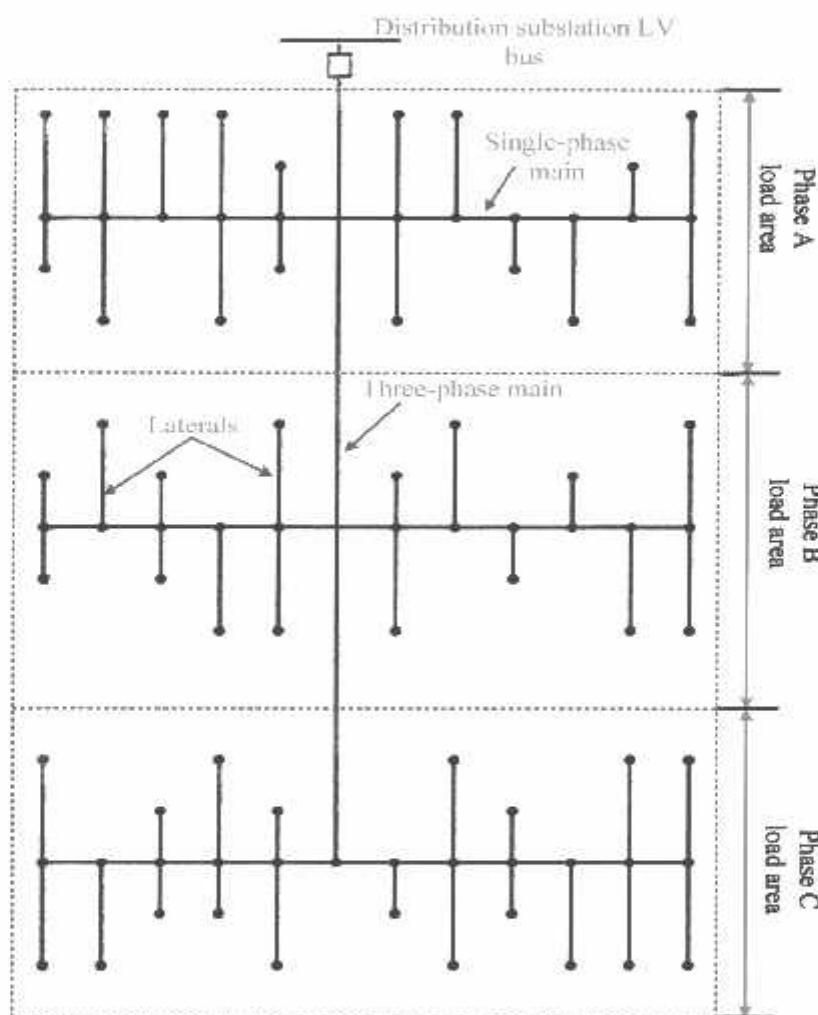
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadi gangguan maka *feeder* yang terganggu akan dilokalisir sedangkan area yang semula dilayani *feeder* tersebut pelayanannya dialihkan pada *feeder* yang sehat atau yang tidak terganggu. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch Pemisah* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Sistem Radial Dengan *Tie* dan *Switch Pemisah*<sup>[1]</sup>

### 2.4.3. Sistem Radial Dengan Pembagian *Phase Area*

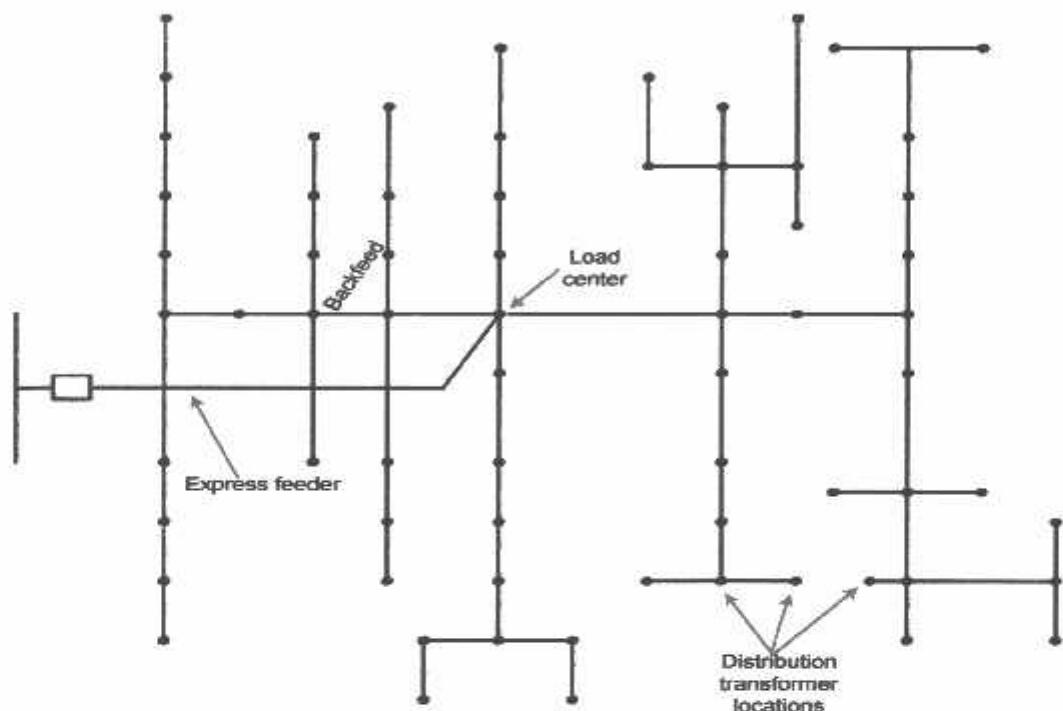
Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini dapat menimbulkan kondisi sistem tiga fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Contoh dari sistem jaringan ini dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Sistem Radial Dengan Pembagian *Phase Area* [1]

#### 2.4.4. 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* radial seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Sistem Radial Dengan Beban Terpusat<sup>[1]</sup>

#### 2.5. Daya Dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik kepada pelanggan sesuai dengan permintaan beban listrik yang ada. dan hal yang harus diperhatikan adalah sistem yang tetap konstan, dalam hal ini tegangan dan frekuensi harus tetap konstan karena berhubungan dengan daya.

Daya listrik yang dibangkitkan dikenal dengan istilah:

### 2.5.1. Daya Nyata ( Real Power )

Daya Nyata dinyatakan dalam persamaan :

$$P = |V| |I| \cos \varphi \dots \quad (2.1)$$

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang

$$P = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \cos \varphi \dots \quad (2.2)$$

### 2.5.2. Daya Reaktif ( Reactive power )

Daya reaktif adalah daya yang timbul karena adanya pembentukan medan magnet pada beban-beban induktif ( KVAR ).

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

$$Q = |V| |I| \sin \varphi \dots \quad (2.3)$$

Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

$$Q = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \sin \varphi \dots \quad (2.4)$$

### 2.5.3. Daya Semu ( Apparent Power )

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

$$S = |V| |I| \dots \quad (2.5)$$

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

$$S = \sqrt{3} |V_{jala-jala}| |I_{jala-jala}| \dots \quad (2.6)$$

## 2.6. Daya Reaktif dan Faktor Daya

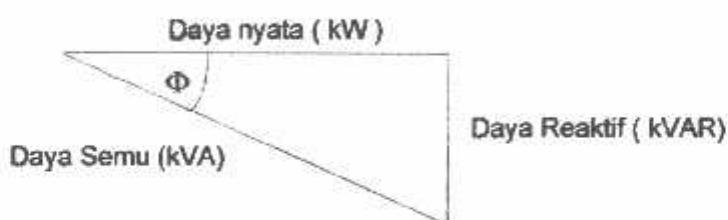
Setiap pemakaian daya reaktif akan menyebabkan turunnya faktor daya yang kemudian menyebabkan memburuknya karakteristik kerja peralatan-

peralatan sistem pada umumnya, baik dari segi teknik operasional maupun segi ekonomisnya, faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

$$\text{Faktor daya} = \frac{\text{Daya Nyata (kW)}}{\text{Daya Semu (kVA)}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen, yaitu daya nyata (kW) dan daya reaktif (kVAR).

Hubungan ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.10. Segitiga Daya<sup>[1]</sup>

Dengan Faktor daya=  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

P = Daya Nyata (kW)

S = Daya Semu (kVA)

Q = Daya Reaktif (kVar)

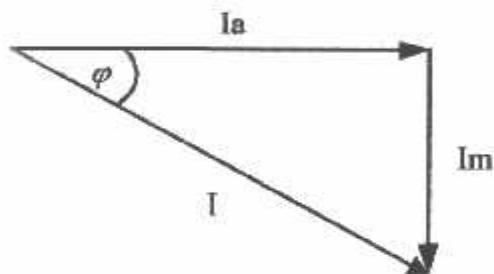
$\varphi$  = Sudut Phase

Suatu beban akan membutuhkan suplai daya aktif jika beban tersebut bersifat induktif dan suatu beban membutuhkan suplai daya reaktif jika beban

tersebut bersifat kapasitif. Jadi faktor daya dapat dilihat dari hubungan antara arus nyata, arus magnetisasi dan arus total.

- Arus nyata ( $I_a$ ) adalah arus yang dibebani dan diubah kedalam energi panas.
- Arus magnetisasi ( $I_m$ ) adalah arus yang mengalir dibebani untuk menimbulkan medan magnet.
- Arus total ( $I$ ) adalah arus yang mengalir dijaringan dan merupakan penjumlahan vektor dari arus nyata dengan arus magnetisasi.

Dalam bentuk vektor hubungan tersebut digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.11. Segitiga Arus<sup>[11]</sup>

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

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

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



**Gambar 2.12.** Saluran Primer Dengan Beban Tepusat<sup>[11]</sup>

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

### 2.7. Kapasitor Daya

Kapasitor daya terdiri atas 2 bagian yaitu kapasitor seri dan kapasitor *shunt*:

a. Kapasitor Seri

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

### b. Kapasitor *Shunt*

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

Dengan dipasangnya kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran.

#### 2.7.1. Faktor-faktor pemilihan kapasitor Seri dan kapasitor shunt :

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

**Tabel 2-1**  
**Kapasitor Seri dan Kapasitor *Shunt***

<b>No</b>	<b>Tujuan</b>	<b>Kapasitor</b>	
		<b>Seri</b>	<b>Shunt</b>
1	Memperbaiki faktor daya	Kedua	Pertama
2	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya nomal dan rendah	Pertama	Kedua
3	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Pertama
4	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran udara bawah tanah dengan faktor daya yang tinggi	Tidak Dipakai	Tidak Dipakai

5	Memperbaiki tingkat tegangan pada sistem saluran bawah tanah dengan faktor daya normal dan rendah	Pertama	Tidak Dipakai
6	Mengurangi rugi-rugi daya dan rugi-rugi energi pada saluran	Kedua	Pertama
7	Mengurangi fluktuasi tegangan	Pertama	Tidak Dipakai

## 2.8. Pengaruh Pemasangan Kapasitor *Shunt*

Kapasitor *shunt* adalah kapasitor yang dihubungkan pararel dengan saluran dan secara intensif digunakan pada sistem distribusi. Kapasitor *shunt* mencatu daya reaktif atau yang menentang komponen arus beban induktif. Dengan dipasang kapasitor *shunt* pada jaringan distribusi akan dapat memperbaiki profil tegangan, memperbaiki faktor daya dan menaikkan kapasitas sistem serta dapat mengurangi rugi saluran.

Adapun dua cara dalam pemakaian kapasitor *shunt* :

- Kapasitor Tetap (*Fixed Capacitor*)
- Kapasitor Saklar (*Switched Capacitor*)

### a. Kapasitor Tetap

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

**b. Kapasitor Saklar**

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

Proses membuka-menutup dari saklar kapasitor *shunt* dapat dilakukan dengan cara manual maupun dengan cara otomatis. Pengendalian secara manual (Pada lokasi atau jarak jauh) dapat dilakukan pada G.I.

Untuk pengendalian secara otomatis, temasuk didalamnya peralatan pengendali tegangan, arus dan suhu. Tipe yang paling populer adalah pengendalian saklar waktu (*time-switch control*), pengendali tegangan dan pengendali tegangan arus.

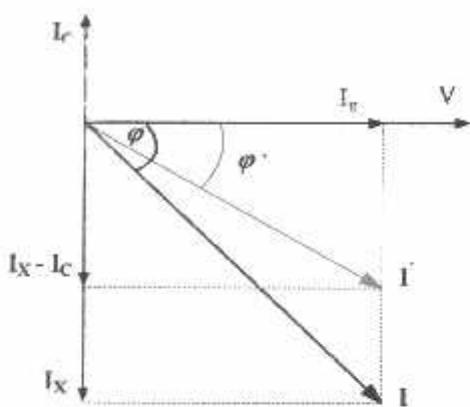
### 2.8.1. Pengurangan Rugi-Rugi Saluran dengan Kapasitor Shunt

Rugi-rugi saluran sebelum ada pengaruh pemasangan kapasitor adalah seperti pada persamaan (2.9) diatas.

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

$$P_L = (I \cos \theta)^2 R - (I \sin \theta - I_{C_e})^2 R \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

Dalam bentuk diagram vektor adalah :



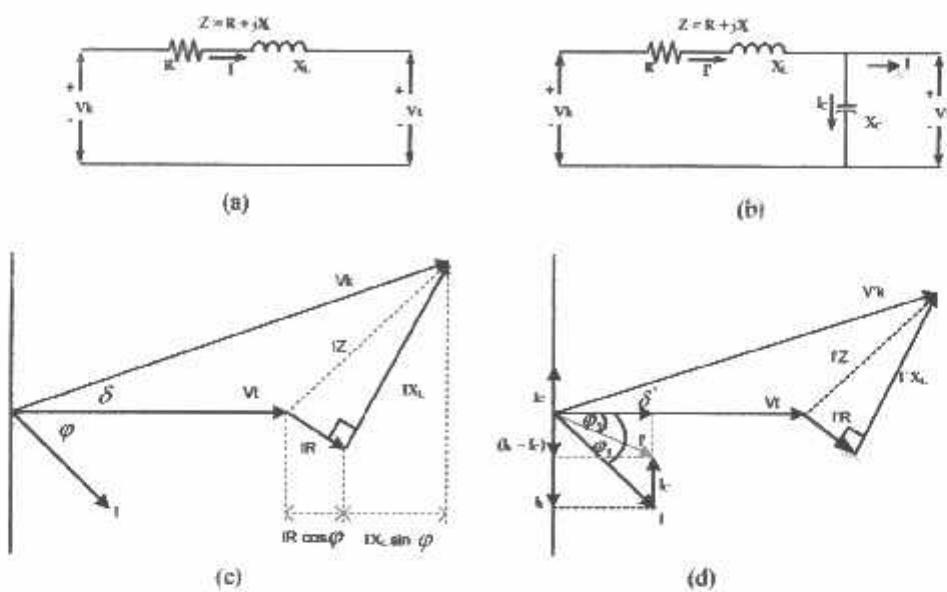
**Gambar 2-13.** Vektor arus dan tegangan sebelum dan setelah pemasangan kapasitor<sup>[1]</sup>

Sehingga pengurangan rugi daya dengan adanya pemasangan kapasitor *shunt* adalah :

$$\begin{aligned}\Delta P_{rd} &= I^2 R - I_l^2 R \\ &= (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta)^2 R - (I \cos \theta)^2 R + (I \sin \theta - I_c)^2 R \\ &= 2(I \sin \theta) I_c R - I_c^2 R \dots \quad (2.11)\end{aligned}$$

### **2.8.2. Perbaikan Tegangan**

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



**Gambar 2.14.** Diagram vector pada rangkaian dengan pf lagging  
 (a) dan (c) tanpa kapasitor shunt, (b) dan (d) dengan kapasitor shunt <sup>(1)</sup>

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

Sebelum pemasangan kapasitor :

$$\delta V = I_R R + I_X X_L \text{ volt} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana  $R$  = tahanan total dari sirkuit penyulang ( $\Omega$ )

$X_L$  = reaktansi induktif total dari penyulang ( $\Omega$ )

$I_R$  = komponen arus aktif (Ampere)

$I_X$  = komponen arus reaktif (Ampere)

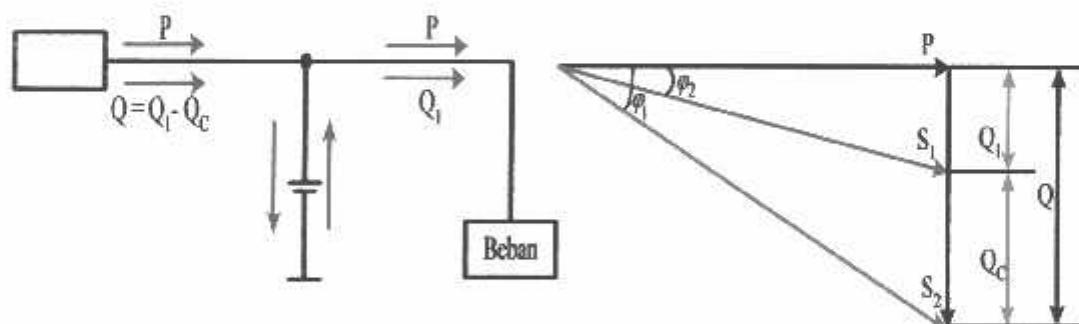
Bila kapasitor dipasang pada ujung penerima dari saluran, seperti yang terlihat pada gambar 2-15b, secara pendekatan jatuh tegangannya menjadi :

$$\delta V = I_R R + I_X X_L - I_C X_L \text{ volt} \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

### 2.8.3. Perbaikan Faktor Daya dan Kenaikan Kapasitas Sistem

Mansfaat terbesar yang diperoleh 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-rugi dalam sistem. Satu-satunya jalan untuk memperbaiki faktor daya adalah mengurangi daya reaktif di jaringan. Jika komponen arus reaktif dapat dikurangi, maka total arus akan berkurang sedangkan komponen daya aktif tidak berubah, maka faktor daya akan lebih besar sebagai akibat berkurangnya daya reaktif. Faktor daya akan mencapai 100 % jika komponen daya reaktif sama dengan nol (0).

Dengan menambah kapasitor, daya reaktif  $Q$  akan berkurang, gambar 2.15 menunjukkan perbaikan faktor daya pada sistem, kapasitor mensuplai daya reaktif ke beban.



Gambar 2-15. Perbaikan Faktor Daya<sup>(1)</sup>

Diasumsikan bahwa beban disuplai oleh daya nyata  $P$ , daya reaktif (Lagging)  $Q$  dan daya semu  $S$ , pada faktor daya tertinggal  $\cos \phi$

Bila suatu kapasitor  $Q_c$  (kVAR) dipasang pada beban, faktor daya dapat diperbaiki dari  $\cos \varphi_1$  menjadi  $\cos \varphi_2$  dimana:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{(P^2 + Q_1^2)}}$$

$$\cos \varphi_2 - \frac{P}{S_2}$$

Sehingga daya semu dan daya reaktif berkurang dari  $S_1$  (kVA) ke  $S_2$  (kVA) dan dari  $Q_1$  (kVAR)  $Q_2$  (kVAR) sehingga kapasitas beban akan meningkat. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa *persentase pengurangan rugi-rugi daya jaringan* dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

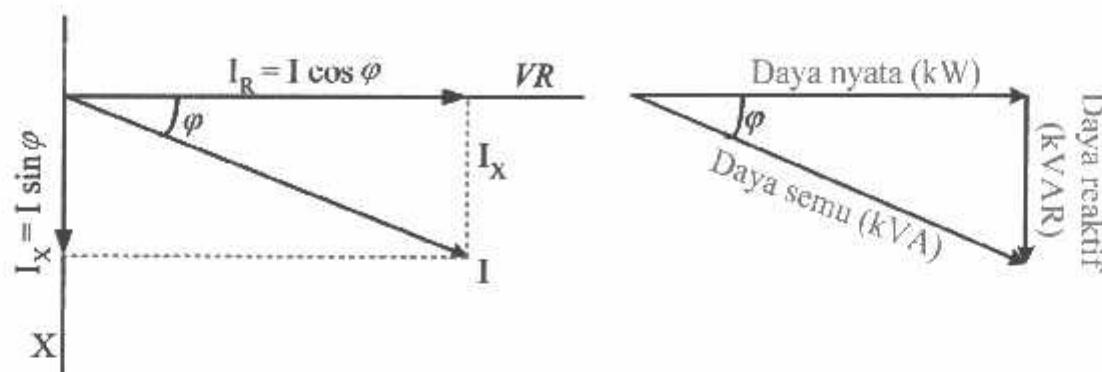
$$\% \text{ Rugi Daya} = 100 \left( \frac{\text{Faktor daya mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor daya baru}(\cos \varphi_2)} \right) \dots \quad (2.16)$$

### % Pengurangan Rugi Daya

$$= 100 \left( 1 - \left( \frac{\text{Faktor daya mula} - \text{mula}(\cos \varphi_1)}{\text{Faktor daya baru}(\cos \varphi_2)} \right)^2 \right) \dots \dots \dots \quad (2.17)$$

#### 2.8.4. Perhitungan Pengaruh Perbaikan Faktor Daya

Diagram *phasor* dari dua komponen arus nyata itu arus aktif dan reaktif dapat dilihat pada gambar 2-16 berikut:



Gambar 2-16. Diagram Fasor dan Sudut Daya Beban Distribusi [1]

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

$$\begin{aligned} I &= \text{Arus Semu} = \sqrt{(\text{arus.aktif})^2 + (\text{arus.reaktif})^2} \\ &= \sqrt{(I \cdot \cos \varphi)^2 + (I \cdot \sin \varphi)^2} \quad \dots \dots \dots (2.18) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Daya Semu (kVA)} &= \sqrt{(\text{Daya.aktif})^2 + (\text{Daya.reaktif})^2} \\ (VI) &= \sqrt{(VI \cdot \cos \varphi)^2 + (VI \cdot \sin \varphi)^2} \quad \dots \dots \dots (2.19) \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya.aktif}}{\text{Daya.Semu}} = \frac{kW}{kVA}$$

Daya Aktif = Daya Semu\* Faktor Daya

$kW = kVA * \text{Faktor Daya}$

$$kW = kVA \cos \varphi \dots \quad (2.20)$$

### 2.9. Sistem Per-Unit

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

$$\text{Besaran per-unit} = \frac{\text{Besaran sebenarnya}}{\text{Besaran dasar dengan ukuran yang sama}} \dots\dots\dots(2.21)$$

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

- Untuk data 1 fasa

Arus dasar:

Impedansi dasar:

$$Z_d = \frac{(kV \text{ dasar } L - N)^2 \times 1000}{kVA \text{ dasar 1 fasa}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.23)$$

$$= \frac{(kV \text{ dasar } L - N)^2}{MVA \text{ dasar 1 fasa}}$$

Dalam persamaan diatas nilai-nilai besaran diberikan untuk rangkaian satu fasa. Jadi tegangannya adalah tegangan antara fasa ke 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 :

$$Z = \frac{\text{Impedansi sebenarnya } Z(\Omega)}{\text{Impedansi dasar } Z_d(\Omega)} \quad \dots \quad (2.24)$$