

# SKRIPSI

## **ANALISIS REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGUNAKAN METODE *TREE SEARCH* DI GARDU INDUK RUNGKUT SURABAYA**



**Disusun Oleh:**  
**RUSDHY**  
**NIM : 97.12.039**

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

**SEPTEMBER 2007**

SELENGKAP 2001

WILKAL TEKNOLOGI INOVASI KAWA  
EVALUASI TEKNOLOGI MANAJEMEN  
KONVERSI TEKNIK ENERGI PELANG  
MELAKUKAN TEKNIK ETENING

NOV 18 1999

INDONESIA

INDONESIA 1999

DI OTAKU INSTITUSI MANAJEMEN STEVENSON  
KEMENTERIAN MELIKU KEMERKAS  
KEMENTERIAN MANAJEMEN DAN LAIN SIKLEN KEMENTERIAN  
KAWA MANAJEMEN MANAJEMEN MANAJEMEN

INDONESIA

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEREDUKSI RUGI-  
RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE  
TREE SEARCH DI GARDU INDUK RUNGKUT SURABAYA

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

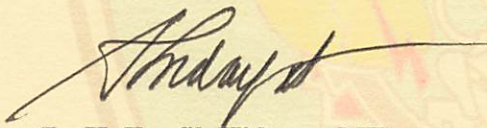
RUSDHY

97.12.039

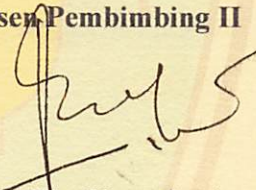
Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

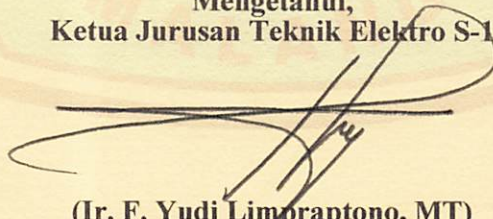


(Ir. H. Taufik Hidayat, MT)  
NIP. P. 1018700151



(Ir. Eko Nurcahyo)  
NIP. P. 1028700172

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1



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

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

## LEMBAR PERSEMBAHAN

*Skripsi ini kupersembahkan kepada...*

*Kedua orang tuaku, **Mama** dan **Abah** di Palangkaraya...semangat dan doa, serta kasih sayang dan perjuangan tetes keringatnya yang bagai mutiara telah mengantarku sampai pada ujung satu tahapan kehidupanku...semoga aku mampu menunaikan baktiku untuk budi yang tidak akan pernah terbalas dengan apapun...*

*Kekasihku tersayang **Rizki Prastinova**...terima kasih untuk kasih sayang yang setiap hari selalu kau berikan untukku dan segala hal yang telah kita lalui, untuk semangat dan senyum...dan untuk selalu ada di saat senang maupun sedih...perjalanan kita masih panjang dan menjalaninya berdua pasti lebih baik, semangat!*

*Keluarga **H. Djurjani** dan **Mas Ngisa**...terima kasih atas bantuan dan dukungannya, dan juga selama ini telah memberikan tempat yang selalu terbuka untukku, sekali lagi terima kasih...*

*Teman-teman seperjuangan...**Samsurimin**, **Agung pk**, **Andy 96**, dan seluruh teman-teman yang tidak bisa aku sebutkan semua terima kasih atas dukungan dan bantuannya...perjalanan di kampus ini sudah berakhir tapi perjalanan didunia luar masih panjang, dan sukses adalah tujuan kita. . perjalanan kita selama ini, walau baru sesaat aku mengenal kalian akan menjadi kisah klasik untuk masa depan yang akan selalu aku kenang selamanya, terima kasih...*

## ABSTRAKSI

### ANALISIS REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE *TREE SEARCH* DI GARDU INDUK RUNGKUT SURABAYA

(Rusdhy, Nim 97.12.039, Teknik Elektro/T.Energi Listrik, 69 Halaman)

Dosen Pembimbing :

Ir. H. Taufik Hidayat, MT - Pembimbing I

Ir. Eko Nurcahyo -Pembimbing II

Dalam sistem distribusi yang efektif, tentunya harus benar-benar memperhatikan dan mengusahakan pelayanan yang baik kepada konsumen dengan cara penyaluran energi listrik yang lebih efektif, mulai dari sistem transmisi tenaga sampai dengan sistem distribusi. Sistem distribusi perlu perhatian khusus sebab kesalahan-kesalahan sistem distribusi ini langsung berpengaruh langsung kepada konsumen. Sesungguhnya 90% dari terputusnya aliran kepada konsumen berasal dari sistem distribusi. Di samping itu sistem distribusi pada umumnya lebih rawan, terutama lokasi beban yang bervariasi, sehingga banyak terjadi rugi-rugi daya dari sistem tersebut. Usaha untuk meminimalisasi rugi-rugi daya dari sistem distribusi dengan memformulasikan permasalahan sebagai persoalan rekonfigurasi jaringan distribusi. Penggunaan metode *Tree Search* merupakan penyelesaian yang efisien pada persoalan jaringan konfigurasi secara optimal, dengan penentuan pemecahan persamaan arus dan persamaan tegangan dari jaringan Untuk menopang pencarian aliran daya dengan derajat ketelitian yang bermacam-macam, digunakan Metode *Backward and Forward*. Penggunaan program komputer sangat efektif untuk mendukung metode ini dan secara umum memberikan perkiraan yang teliti tentang rugi-rugi daya.

Untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui kajian literatur, pengumpulan data-data berupa data kuantitatif, data kualitatif, serta simulasi dan pembahasan masalah pada gardu induk rungkut surabaya.

Dengan menggunakan data jaringan pada PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur, didapat rekonfigurasi dengan melakukan *open switch* dari: bus 7 ke bus 22, bus 17 ke bus 26, bus 19 ke bus 20 dan bus 30 ke bus 39 akan diperoleh reduksi rugi-rugi daya pada saluran, sehingga rugi daya sebelum rekonfigurasi  $380.802 + j477.342$  kVA, setelah rekonfigurasi rugi daya menjadi  $340.617 + j455.008$  kVA, dengan reduksi rugi-rugi dayanya  $40.184 + j22.334$  kVA. Maka didapat prosentasi reduksi rugi-rugi daya sebesar 10.55 %

Kata Kunci : Otomasi distribusi, otomasi sistem distribusi, sistem distribusi *planning*, analisis aliran daya, kombinasi optimisasi.

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, **ANALISIS REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE *TREE SEARCH* DI GARDU INDUK RUNGKUT SURABAYA**

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.

Dengan segala hormat atas bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini. Maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. **Ir. F Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITN Malang.
4. **Ir. H. Taufik Hidayat, MT** selaku dosen pembimbing I.
5. **Ir. Eko Nurcahyo** selaku dosen pembimbing II.
6. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendoakanku sampai terwujud cita-citaku serta saudara-saudaraku terima kasih atas do'a dan bantuannya.

7. Kekasihku tercinta (Rizki Prastinova) yang setia menemaniku dan memberi dukungannya selalu baik dalam suka maupun duka terima kasih banyak, serta rekan-rekanku di jurusan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini, walaupun hanya sesaat aku mengenal kalian terima kasih sedalam-dalamnya.

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

Malang, April 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PESETUJUAN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAKSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2.. Rumusan masalah .....	2
1.3. Tujuan Pembahasan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Metode Pembahasan.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II. SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK</b>	
2.1 Sistem Distribusi.....	5
2.1.1 Struktur Jaringan Radial.....	7
2.1.1.1 Macam-Macam Struktur Jaringan Distribusi Radial.....	7
2.1.2. Struktur Jaringan Loop.....	9
2.1.3. Struktur Jaringan Mesh .....	10



2.2 Daya Sistem Distribusi.....	11
2.2.1 Daya Nyata ( <i>Real Power</i> ).....	11
2.2.2 Daya Reaktif ( <i>Reactive Power</i> ) .....	11
2.2.3 Daya Semu ( <i>Apparent Power</i> ) .....	12
2.3 Faktor Daya .....	12
2.4 Rugi-rugi Jaringan .....	13
2.4.1 Meminimalisasi Rugi Daya Pada Sistem Distribusi .....	15
2.5 Konsep Dasar Rekonfigurasi.....	18
<b>BAB III. METODE REKONFIGURASI DENGAN <i>TREE SEARCH</i></b>	
3.1 Metode <i>Tree Search</i> .....	21
3.1.1 Maksud dan tujuan .....	21
3.1.2 <i>Tree Search</i> Dalam Sistem Algoritma .....	21
3.2 Analisis Aliran Daya.....	23
3.2.1 Tujuan.....	23
3.2.2 Klasifikasi Bus.....	23
3.2.3 Pembentukan Matrik Admitansi Simpul .....	25
3.2.4 Penyelesaian Aliran Daya .....	26
3.2.5 Metode <i>Newton Raphson</i> .....	28
3.2.5.1 Algoritma Aliran Daya <i>Newton Raphson</i> .....	33
3.2.5.2 Flowchart Aliran Daya <i>Newton Raphson</i> .....	34
3.2.6 Pernyataan Permasalahan .....	35
3.2.7 Metode Penyelesaian Studi Aliran Daya.....	37

3.2.8 Kalkulasi dari Terminologi Obyek .....	39
3.3 Metode <i>Backward and Forward Update</i> .....	42
3.3.1 <i>Update</i> Arus Daya.....	42
3.3.2 Kalkulasi Pengurangan Kerugian Daya .....	44
3.4 Model Penyusunan Ulang Jaringan Distribusi .....	44
3.5 Flowchart Program Metode <i>Tree Search</i> .....	46
<b>BAB IV. HASIL REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA</b>	
<b>LISTRIK MENGGUNAKAN METODE <i>TREE SEARCH</i></b>	
4.1 Bentuk Jaringan Sistem Distribusi.....	47
4.2 Hasil Percobaan Menggunakan Data Jurnal.....	48
4.3 Pengolahan Data .....	53
4.4 Analisa Perhitungan Program Menggunakan Metode	
<i>Tree Search</i> .....	58
4.4.1 Masukkan data jaringan.....	58
4.4.2 Melakukan Perhitungan Aliran Daya Sebelum	
Rekonfigurasi.....	60
4.4.3 Melakukan Pencarian Rekonfigurasi .....	63
4.4.4 Hasil Perhitungan.....	66
4.5 Rugi-rugi Daya .....	68
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik .....	6
Gambar 2.2. Struktur Jaringan Radial .....	9
Gambar 2.3. Struktur Jaringan Loop .....	10
Gambar 2.4. Struktur Jaringan Mesh.....	11
Gambar 2.5 Hubungan Segitiga Daya .....	13
Gambar 2.6 Rugi-rugi Pada Bagian Sistem Tenaga.....	14
Gambar 2.7 Contoh Kondisi Gangguan Pada Sistem Distribusi Radial.....	16
Gambar 3.1 Flowchart Aliran Daya <i>Newton Raphson</i> .....	34
Gambar 3.2 Diagram satu garis dari suatu sistem distribusi kecil .....	35
Gambar 3.3 Suatu diagram garis dari suatu jaringan radial.....	37
Gambar 3.4 Pengulangan/Jerat dihubungkan dengan cabang terbuka b .....	40
Gambar 3.5 Flowchart Program Metode <i>Tree Search</i> .....	46
Gambar 4.1 Tampilan Data Pada Program .....	48
Gambar 4.2 Tampilan Data Bus Pada Program .....	49
Gambar 4.3 Tampilan Data Saluran Pada Program.....	49
Gambar 4.4 Tampilan Loadflow Awal.....	50
Gambar 4.5 Tampilan Hasil Reduksi Rugi-rugi Awal .....	50
Gambar 4.6 Tampilan Loadflow Akhir .....	51
Gambar 4.7 Tampilan Hasil Reduksi Rugi-rugi Akhir.....	51

Gambar 4.8 Tampilan Hasil Program Menggunakan Data Validasi.....	52
Gambar 4.9 Tampilan Grafik Perbandingan Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi .....	52
Gambar 4.10 Konfigurasi Jaringan Radial sebelum Rekonfigurasi .....	54
Gambar 4.11 Tampilan Dasar Program Rekonfigurasi .....	58
Gambar 4.12 Tampilan Program Memasukkan Data Bus .....	59
Gambar 4.13 Tampilan Program Memasukkan Data Saluran .....	59
Gambar 4.14 Tampilan Program Hasil Load Flow Sebelum Rekonfigurasi .....	60
Gambar 4.15 Tampilan Program Hasil Aliran Daya Sebelum Rekonfigurasi .....	61
Gambar 4.16 Tampilan Program Hasil Rugi-rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi .....	61
Gambar 4.17 Tampilan Program Hasil Load Flow Akhir Setelah Rekonfigurasi .....	63
Gambar 4.18 Tampilan Hasil Aliran Daya Setelah Rekonfigurasi .....	64
Gambar 4.19 Tampilan Hasil Rugi-rugi Daya Setelah Rekonfigurasi ....	64
Gambar 4.20 Tampilan Program Hasil Rekonfigurasi .....	65
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Tegangan.....	65
Gambar 4.22 Total Hasil Reduksi Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi .....	66
Gambar 4.23 Konfigurasi Jaringan Radial setelah Rekonfigurasi .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Validasi Jurnal.....	48
Tabel 4.2 Data Impedansi Saluran.....	55
Tabel 4.3 Data Pembebanan.....	57
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Aliran Daya Sebelum Rekonfigurasi.....	62
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Aliran Daya Setelah Rekonfigurasi.....	67
Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Rugi-rugi Daya .....	68
Tabel 4.7 Hasil Reduksi Rugi-rugi Daya.....	68

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang<sup>11</sup>

Listrik merupakan bentuk energi yang paling cocok dan nyaman bagi manusia modern, karena tanpa listrik infrastruktur masyarakat sekarang tidak akan menyenangkan. Makin bertambahnya konsumsi listrik perkapita di seluruh dunia pun menunjukkan kenaikan standar kehidupan manusia. Pemanfaatan secara optimum bentuk energi ini oleh masyarakat dapat dibantu dengan sistem distribusi yang efektif.

Dalam sistem distribusi yang efektif, perlu benar-benar memperhatikan serta mengusahakan pelayanan yang baik kepada konsumen dengan cara penyaluran energi listrik yang lebih efektif, mulai dari sistem transmisi tenaga sampai dengan sistem distribusi. Adapun sistem distribusi utama perlu mendapat perhatian khusus sebab kesalahan-kesalahan pada sistem distribusi ini berpengaruh langsung kepada konsumen. Di samping itu sistem distribusi pada umumnya lebih rawan, terutama lokasi beban yang bervariasi, sehingga banyak terjadi rugi-rugi daya dari sistem tersebut. Oleh karena itu untuk mengisolasi kesalahan dan merekonfigurasi jaringan sistem distribusi digunakan tombol *sectionalizing*. Rekonfigurasi jaringan yang digunakan untuk mengurangi rugi-rugi daya juga dapat digunakan untuk perencanaan studi dengan interpretasi yang berbeda, yaitu untuk memutuskan *feeders* mana yang digunakan untuk mensuplai konsumen baru.

Berdasarkan hal tersebut, maka penggunaan metode *Tree Search* merupakan penyelesaian yang efisien pada persoalan jaringan konfigurasi secara optimal. Metode ini mereduksi dengan mengubah status *sectionalizing* tombol, penentuan pemecahan persamaan arus dan persamaan tegangan dari jaringan. Adapun untuk menopang pencarian aliran daya dengan derajat ketelitian yang bermacam-macam, digunakan Metode *Backward and Forward*. Penggunaan program komputer sangat efektif untuk mendukung metode ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pada sistem distribusi yang besar dan kompleks, serta dengan semakin bertambahnya beban pada jaringan distribusi akan timbul masalah dalam menentukan penyulang maupun trafo mana yang akan dipakai untuk menyalurkan energi listrik secara radial dengan cepat agar sistem tetap terjaga dan meminimalkan rugi-rugi pada jaringan.

Berdasarkan hal tersebut, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

Bagaimana pengaturan beban pada trafo atau penyulang jaringan distribusi dengan menggunakan Metode *Tree Search* sehingga dapat meminimalkan rugi-rugi daya?

Dari permasalahan di atas, maka judul skripsi yang diangkat adalah:  
**“ANALISIS REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEREDUKSI RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE *TREE SEARCH* DI GARDU INDUK RUNGKUT SURABAYA”**

### **1.3 Tujuan Pembahasan**

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Untuk mensimulasikan metode rekonfigurasi *Tree Search* sehingga didapat suatu kondisi rugi-rugi daya pada sistem distribusi seminimal mungkin.
2. Untuk mengetahui letak yang optimal dari pemilihan switch sehingga didapat rugi-rugi daya yang minimum.
3. Untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya sebelum dan sesudah rekonfigurasi.

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari skripsi ini adalah:

1. Beban diasumsikan sebagai beban tiga fasa seimbang.
2. Hanya membahas rugi-rugi daya pada saluran.
3. Tidak membahas cara pengontrolan *switching* yang dilakukan.
4. Metode rekonfigurasi yang digunakan adalah *Tree Search*.
5. Pengambilan data dilakukan pada PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur.
6. Rekonfigurasi bekerja pada kondisi normal.
7. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Borland Delphi versi 7.0*.

### **1.5 Metode Pembahasan**

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

1. Metode literatur, yaitu dengan mempelajari hal-hal yang sesuai pembahasan melalui literatur yang sesuai.
2. Memperoleh data sebagai acuan dalam melengkapi parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisis masalah.
3. Menganalisa data yang diperoleh dengan metode *Tree Search*.



## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dalam lima bab yang masing-masing membahas hal sebagai berikut:

- **BAB I:** Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan pembahasan, batasan masalah, metode pembahasan, dan sistematika penulisan skripsi ini.
- **BAB II:** Pada bab ini akan dibahas mengenai sistem jaringan distribusi radial dan *loop*, macam-macam daya, macam-macam beban, rugi-rugi jaringan dan Teori Dasar *Tree Search*.
- **BAB III:** Bab ini membahas analisis aliran daya, rekonfigurasi jaringan dan metode rekonfigurasi jaringan *Tree Search*.
- **BAB IV:** Bab ini berisi tentang penerapan metode *rekonfigurasi* jaringan *Tree Search*.
- **BAB V:** Bab ini berisi kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

## **BAB II**

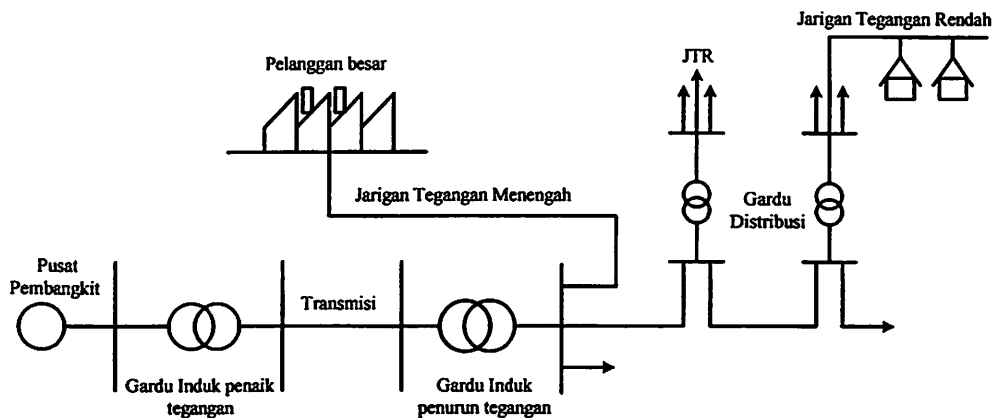
### **SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

#### **2.1 Sistem Distribusi<sup>[2]</sup>**

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 tersebut.

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

1. **Sistem Pembangkitan**, berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai **Produtor 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.



**Gambar 2.1.**  
**Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah Dan Sambungan Rumah Ke Pelanggan<sup>[2]</sup>**

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

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berperan dalam mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) sampai ke konsumen. Sistem distribusi pada hakekatnya dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu

1. Jaringan Distribusi Primer (Jaringan Tegangan Menengah) Jaringan distribusi primer merupakan sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Induk Distribusi sampai ke Gardu Distribusi dengan tegangan kerja 20 kV atau 6 kV.

## **2. Jaringan Distribusi Sekunder (Jaringan Tegangan Rendah)**

Jaringan Distribusi sekunder merupakan jaringan tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik antara Gardu Distribusi sampai ke konsumen dengan tegangan kerja 110 V atau 220 V.

Secara garis besar jaringan distribusi dapat diklasifikasikan menjadi:

- Struktur Jaringan Radial
- Struktur Jaringan Loop (Lingkaran)
- Struktur Jaringan Grid atau Mesh (Anyaman)

### **2.1.1 Struktur Jaringan Radial<sup>[2]</sup>**

Struktur jaringan radial merupakan struktur jaringan yang paling sederhana dan paling murah biaya pembangunannya. Struktur jaringan ini dalam menyalurkan energi listrik, keandalannya kurang. Suatu gangguan pada penyulang dapat mengakibatkan gangguan dalam penyaluran energi listrik ke konsumen yang berada di belakang titik gangguan.

#### **2.1.1.1 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 kontinuitas 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 :

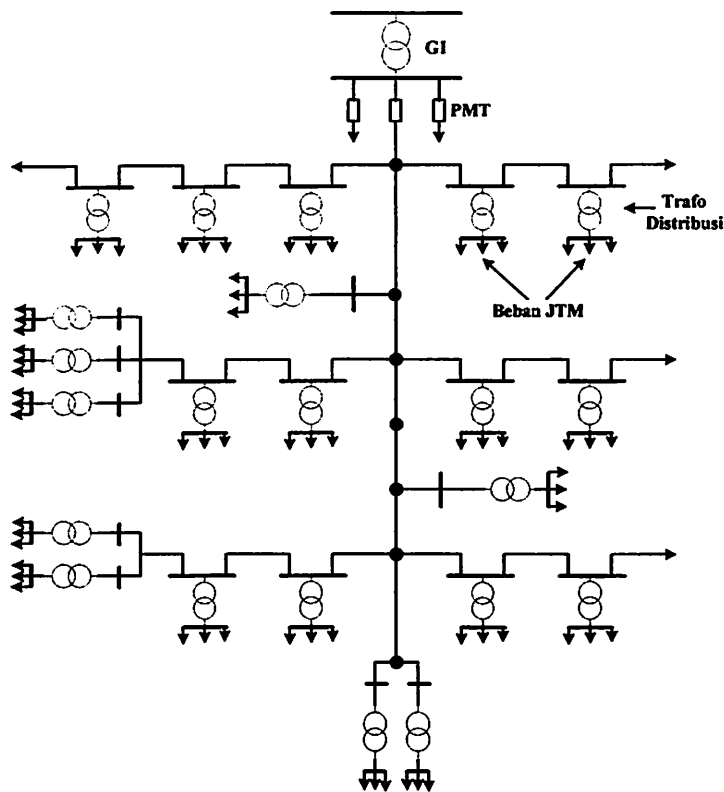
1. Bentuknya sederhana dibandingkan dengan bentuk yang lain.
2. Biaya investasinya relatif lebih murah, karena saluran menuju ke tiap beban hanya tersedia satu jalur.

Kelemahan jaringan radial :

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

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

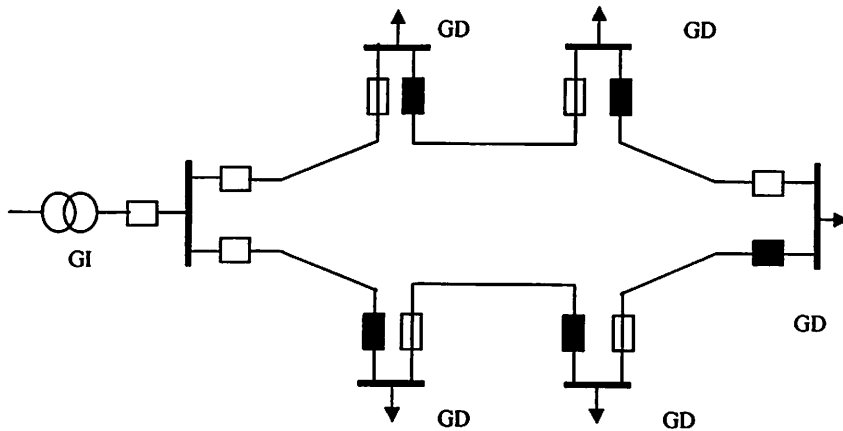
1. Sistem radial Pohon
2. Sistem radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah
3. Sistem radial dengan Pusat Beban
4. Sistem radial dengan pembagian Daerah Phasa (*Phase Area*).



**Gambar 2.2. Struktur Jaringan Radial<sup>[2]</sup>**

### 2.1.2. Struktur Jaringan Loop<sup>[2]</sup>

Struktur jaringan *loop* merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial, di mana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT/CB) atau pemisah (PMS/DS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak berhenti. Dalam kondisi normal, struktur jaringan *loop* ini merupakan dua struktur jaringan radial. Struktur jaringan ini mempunyai keandalan yang cukup, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan dengan biaya pembangunan struktur jaringan radial.

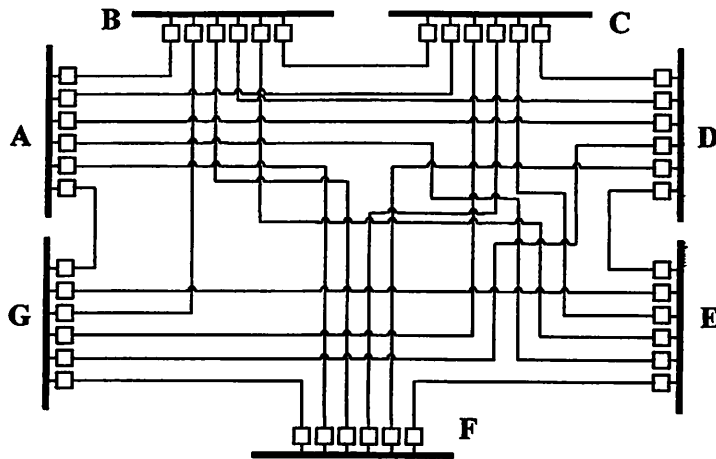


**Gambar 2.3. Struktur Jaringan Loop<sup>[2]</sup>**

Keterangan :  = *Normally Open*  
 = *Normally Close*

### 2.1.3. Struktur Jaringan Mesh<sup>[2]</sup>

Struktur jaringan ini merupakan kombinasi antara struktur jaringan radial dengan struktur jaringan *loop*. Titik beban memiliki lebih banyak alternatif penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Gambar 2-4 menunjukkan bentuk dari struktur jaringan Mesh.



**Gambar 2.4. Struktur Jaringan Mesh<sup>[2]</sup>**

## 2.2 Daya Sistem Distribusi<sup>[2]</sup>

Daya merupakan banyaknya perubahan tenaga terhadap waktu dalam besaran tegangan dan arus, satuan daya adalah watt. Daya yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat adalah hasil kali jatuh tegangan sesaat diantara beban dalam volt dengan arus sesaat yang mengalir dalam beban tersebut dalam ampere.

### 2.2.1 Daya Nyata (*Real Power*)

Daya nyata dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya nyata untuk beban 3 fasa seimbang :

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

### 2.2.2 Daya Reaktif (*Reactive Power*)

Daya reaktif dinyatakan dalam persamaan :

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



Daya reaktif untuk beban 3 fasa seimbang :

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

### 2.2.3 Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya semu dinyatakan dalam persamaan :

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

Daya semu untuk beban 3 fasa seimbang :

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

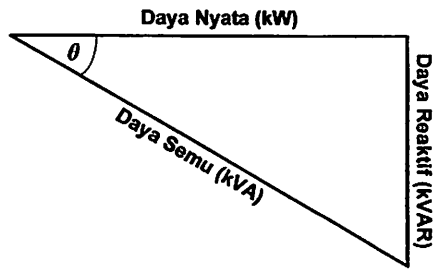
Persamaan (2.2), (2.4), (2.6) berlaku tanpa memandang apakah bebannya dihubungkan secara segitiga ( $\Delta$ ) atau bintang (Y).

## 2.3 Faktor Daya<sup>[2]</sup>

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 dari segi ekonomisnya. Faktor Daya adalah perbandingan antara daya nyata dan daya semu.

$$\text{Faktor Daya} = \frac{\text{DayaNyata}(kW)}{\text{DayaSemu}(kVA)} \quad (2.7)$$

Untuk daya semu sendiri dibentuk oleh dua komponen daya nyata (kW) dan komponen daya reaktif (kVAR). Hubungan ini dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5 Hubungan Segitiga Daya<sup>[7]</sup>**

Dengan factor daya

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{kW}{kVA} \quad (2.8)$$

$$kW = kVA \cos \theta \quad (2.9)$$

$$Kvar = Kva \sin \theta = kW \tan \theta \quad (2.10)$$

$$\tan \theta = \frac{kVAR}{kW} \quad (2.11)$$

Dimana :  $\cos \theta =$  Faktor daya

$P =$  Daya Nyata (kW)

$S =$  Daya Semu (kVA)

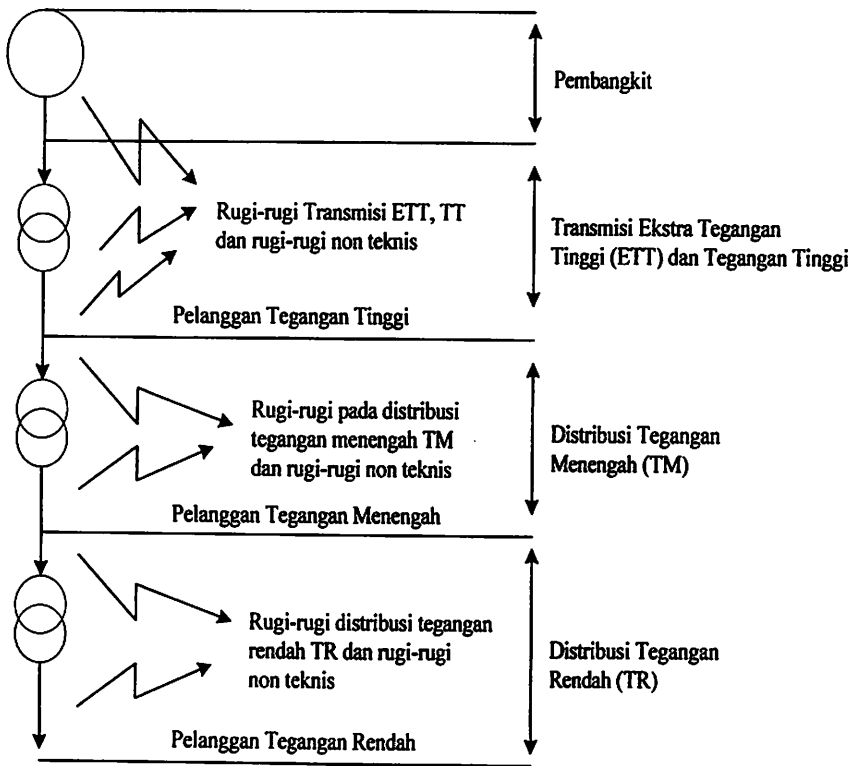
$Q =$  Daya Reaktif (kVAR)

Factor daya akan mendahului (leading) jika arus mendahului tegangan dan akan tertinggal (lagging) bila arus terbelakang terhadap tegangan.

#### 2.4 Rugi-rugi Jaringan<sup>[2]</sup>

Dalam proses penyaluran energi listrik ke pelanggan terjadi rugi-rugi teknis (*losses*), yaitu rugi daya dan rugi energi, dimulai dari Pembangkit, Transmisi dan Distribusi. Rugi-rugi teknis adalah rugi-rugi yang terdapat pada penghantar saluran karena adanya tahanan dari penghantar yang dialiri arus, maka

timbul rugi-rugi teknis ( $I^2R$ ) pada jaringan tersebut. Pada gambar 2.6. rugi teknis tersebut terdapat pada saluran dan transformator. Rugi teknis pada penyaluran merupakan penjumlahan dari  $I^2R$  atau rugi tahanan. Rugi teknis dari jaringan tenaga listrik tergantung dari macam pembebanan pada saluran tersebut (beban merata terpusat).



**Gambar 2.6 Rugi-rugi Pada Bagian Sistem Tenaga<sup>[2]</sup>**

Keterangan :

- = Aliran daya dan energi
- = Pembangkit
- ⊗ = Trafo
- ↗ = Rugi-rugi

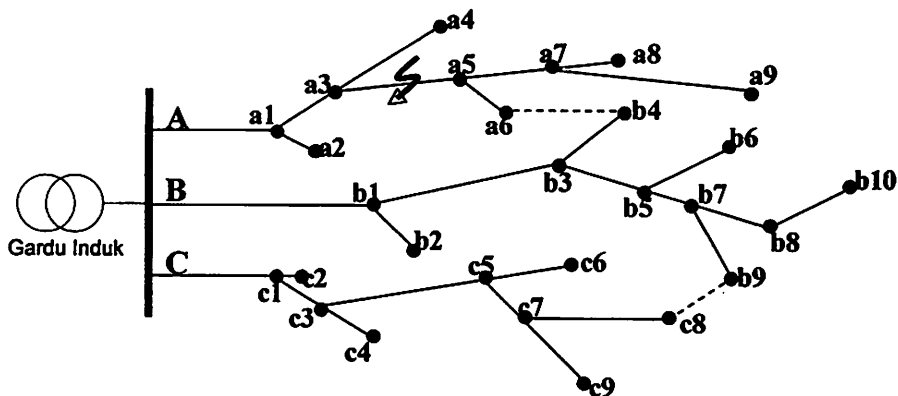
#### 2.4.1 Meminimalisasi Rugi Daya Pada Sistem Distribusi

Seperti telah disinggung sebelumnya bahwa pada kebanyakan sistem distribusi dalam penyaluran tenaga listrik umumnya dioperasikan secara radial. Namun demikian, sistem radial tersebut dioperasikan dengan beberapa “*improvisasi*”. Biasanya terdapat beberapa *tie switch* yang tersedia untuk saling interkoneksi bagi beberapa bus beban (*load bus*) baik dalam satu *feeder* maupun berlainan *feeder*. Kondisi improvisasi tersebut sangat diperlukan demi memenuhi persyaratan sebagai sistem yang cukup baik, terutama yaitu kontinuitas pelayanan. Hal ini dapat dijelaskan dengan melihat gambar 2.7.

Suatu sistem penyaluran distribusi radial dari gardu induk mempunyai tiga buah *feeder* (penyulang) yaitu *feeder* A, B dan C. *Feeder* A mempunyai bus-bus beban a1, a2, ..., a9. *Feeder* B mempunyai bus-bus beban b1, b2, ..., b10. *Feeder* C mempunyai bus-bus beban c1, c2, ..., c9. Jika pada *feeder* A terdapat gangguan pada saluran antara bus a3 dan a5 sehingga sampai menyebabkan putusnya saluran maka bus a5, a6, ..., a9 akan mengalami pemadaman total. Oleh karena itu bus-bus beban yang mengalami pemadaman total tersebut harus disupply dari *feeder* lain (bisa juga dari bus a4). Tanda (----) menunjukkan bahwa pada saluran itu terdapat *switch* (*Normally Open switch*). Dari gambar dapat dilihat bahwa NO *switch* terdapat antara bus a6 pada *feeder* A dengan bus b4 pada *feeder* B. Jika pada saat gangguan terjadi sehingga bus a3 dan a5 *open* maka NO *switch* a6-b4 dapat ditutup (*close*) sehingga dengan demikian bus-bus pada *feeder* A yang mengalami pemadaman total dapat diatasi. Hal yang sama juga dapat dilaksanakan antara *feeder* B dengan *feeder* C dengan NO *switch* b9-c8.

Pada kenyataan di lapangan, lokasi dari bus-bus itu sendiri mempunyai lokasi yang tidak sama sehingga akan menggunakan konduktor yang panjangnya tidak sama. Kondisi ini tentunya akan membutuhkan resistansi dan reaktansi saluran yang berbeda-beda.

Bahkan bukan itu saja, hal sangat mungkin terjadi adalah bahwa besarnya beban-beban pada bus-bus tersebut tidak sama sehingga dapat dikatakan mempunyai variasi kerapatan beban.



**Gambar 2.7 Contoh Kondisi Gangguan Pada Sistem Distribusi Radial<sup>[5]</sup>**

Kedua fenomena tersebut di atas itulah yang menyebabkan sulitnya sistem distribusi radial untuk memenuhi aspek teknis karena alasan lokasi beban dan variasi dari kerapatan beban itu sendiri. Pada akhirnya fenomena ini akan mengakibatkan rugi-rugi daya pada saluran distribusi menjadi tinggi.

Dari permasalahan tersebut di atas, maka diperlukan suatu upaya untuk dapat mengurangi kerugian daya yang terjadi. Dalam prakteknya, sebenarnya ada dua macam cara dalam upaya untuk mengurangi/meminimalisasi rugi-rugi daya pada sistem distribusi tenaga listrik.

Adapun kedua macam cara tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Pemasangan/penginstalasian kapasitor.
2. Rekonfigurasi jaringan distribusi.

Untuk selanjutnya, pada skripsi ini akan dibahas mengenai upaya untuk mengurangi kerugian daya yang terjadi pada saluran dengan rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu dengan memanfaatkan status dari *switch-switch* (NC/NO *switch*).

Minimalisasi rugi-rugi dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Min } P_{\text{loss}}(S_v)$$

$$\text{Dengan } P_{\text{loss}} = \sum R_i x |I_i|^2$$

$$I_i \leq I_{\text{loss}} \quad i = 1 \sim N_b$$

$$V_{\text{min}} \leq V_j \leq V_{\text{max}} \quad j = 1 \sim N$$

Di mana :

$P_{\text{loss}}$  = total rugi saluran pada *feeder* distribusi,

$S_v$  = status vector pada *switch*,

$N_b$  = total jumlah cabang dari sistem keseluruhan,

$R_i$  = tahanan cabang  $i$ ,

$I_i$  = besarnya arus dari cabang  $i$ ,

$I_{\text{max}}$  = batas atas dari besar arus cabang  $i$ ,

$N$  = total jumlah bus,

$V_j$  = besarnya tegangan dari bus  $j$ ,

$V_{\text{max}}$  = batas atas dari besarnya tegangan bus,

$V_{\text{min}}$  = batas bawah dari besarnya tegangan bus.

## 2.5 Konsep Dasar Rekonfigurasi<sup>121</sup>

Saluran Distribusi disusun secara radial untuk koordinasi yang efektif pada sistem proteksinya. Saluran distribusi terdiri dari beberapa *switch* yaitu *normally close* dan *normally open* dalam merespon kesalahan, beberapa dari NC akan dibuka untuk memisahkan dari cabang yang mengalami gangguan. Pada waktu yang sama, beberapa NC akan ditutup untuk mentransfer semua cabang yang dipisahkan ke cabang yang lainnya dalam satu saluran. Semua *switch* akan dikembalikan pada waktu kondisi normal setelah gangguannya diperbaiki. Para ahli distribusi kadangkala menyusun saluran distribusi menggunakan *switch* pembuka dan penutup (*operasi saklar/switching operation*) agar meningkatkan ketahanan dan menghilangkan rugi-rugi saluran. Hasil dari jaringan harus tetap berbentuk radial dan dapat menampung semua beban. Koordinasi skema pengamanan yang baru sama dengan yang lama.

Pada skripsi ini, rumusan umum dari masalah penyusunan ulang penyulang untuk mengurangi kerugian daya memberikan suatu solusi metode baru untuk diperkenalkan. Solusi yang mempekerjakan sebuah pencarian atas perbedaan bentuk susunan radial yang diciptakan dengan mempertimbangkan pertukaran cabang jenis *switching*.

Untuk memandu pencarian, dua perbedaan metode pendekatan aliran daya dengan derajat ketelitian yang berbeda-beda telah dikembangkan dan diuji. Metode ini digunakan untuk mengkalkulasi aliran daya baru pada sistem dan menggunakan pengembangan persamaan aliran daya untuk sistem distribusi radial.

Ketelitian analisa dan hasil yang terbaik menunjukkan bahwa :

- Metode penilaian *computationally* sangat efisien dalam memberi hasil konservatif secara umum. Juga dalam memberikan pertimbangan aliran daya reaktif dan nyata. Oleh karena itu, metode tersebut dapat digunakan untuk mencari dan mengatur kembali sistem yang ditentukan jika sistem tidak bagus penyusunan ulangnya dan melibatkan pemindahan beban antara cabang stasiun yang berbeda.
- Metode pencarian yang diperkenalkan pada skripsi ini, mempunyai properti menarik sebagai berikut : hal tersebut tidak menyeluruh, itu pesanan  $m^2$  ( $m$  adalah banyaknya dari tombol yang terbuka), dan itu melibatkan solusi tentang aliran daya  $m$ . Karakteristik pemusatannya bisa diterima meskipun tidak menjamin pemusatan jumlah optimum global. Bagaimanapun, modifikasi pada pencarian dasar diusulkan untuk meningkatkan *computational* dan karakteristik pemusatan ketika diperlukan.

Metode pencarian Distflow yang disederhanakan nampak lebih menarik dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Sejak index dari beban relatif, ketelitian dari metode Distflow yang disederhanakan adalah cukup.
- Metode Distflow yang disederhanakan menyediakan suatu perkiraan kasar dan cepat menyangkut aliran daya tanpa menuntut data pada parameter jaringan.



- Pada metode *backward and forward update* menjadi lebih nyata daripada metoda Distflow yang disederhanakan dalam menaksir pengurangan kerugian daya berkaitan dengan suatu pertukaran cabang, terutama sebagai figur pengurangan kerugian yang lebih kecil. Oleh karena itu, keputusan untuk memilih metode harus dibuat dengan pertimbangan yang besar untuk menggambarkan pengurangan kerugian. Suatu rencana yang kompromi antara perhitungan dan ketelitian akan dimulai dengan metode Distflow yang disederhanakan dan kemudian tombol untuk metode *backward and forward update* sebagai figur dari pengurangan kerugian untuk mendapatkan yang lebih kecil.
- Rencana pencarian memberikan solusi yang bisa diterima untuk tujuan yang praktis sejak solusi terpusat pada suatu titik optimal lokal, perbedaan antara solusi lokal dan solusi global akan menjadi lebih kecil. Lagipula, karakteristik pemusatan pencarian dapat ditingkatkan dengan memeriksa tempat solusi. Suatu rencana yang mungkin adalah melakukan pencarian cepat yang lain dengan menerapkan lebih dari satu pertukaran cabang dengan pengurangan kerugian yang besar pada masing-masing tingkatan pencarian. Kemudian dua solusi dapat dibandingkan untuk melihat jika mereka memusatkan pada titik yang sama.

## BAB III

### METODE REKONFIGURASI DENGAN *TREE SEARCH*

#### 3.1 Metode *Tree Search*<sup>[1]</sup>

##### 3.1.1 Maksud dan tujuan

Metode *Tree Search* adalah suatu aturan yang tersusun dari proses yang berdasarkan pada pengalaman, intuisi dan pertimbangan-pertimbangan. Dengan kata lain metode *Tree Search* erat hubungannya dengan cara pikir seorang insinyur yang berbasis pada kemampuan analisis dan pengalaman, jadi bukan suatu bentuk optimasi yang berbasis murni matematika.

Metode *Tree Search* merupakan salah satu metode yang mendekati baik dalam menemukan solusi dengan waktu perhitungan yang singkat. Hal ini disebabkan karena metode *tree search* mempunyai aturan-aturan (*rules*) yang mudah dan efisien sehingga mengurangi berbagai alternatif pencarian solusi, dan dengan meminimalkan jumlah kandidat suatu solusi, maka metode *Tree Search* mempunyai nilai tambah tersendiri dibandingkan dengan metode lain.

##### 3.1.2 *Tree Search* Dalam Sistem Algoritma

Pada dasarnya algoritma sering digunakan sebagai alat untuk mempermudah pemecahan suatu permasalahan yang dinyatakan dalam bentuk matematis, sedangkan *Tree Search* adalah suatu kumpulan algoritma-algoritma, maka sangatlah penting untuk menetapkan *Tree Search* dalam bentuk algoritma sehingga memiliki aturan-aturan yang jelas, terutama apabila tidak diperoleh suatu metode

yang efisien. Untuk mendapat solusi yang baik pada suatu masalah ada beberapa strategi yang perlu dipertimbangkan yaitu :

- Mencari algoritma yang efisien.
- Menunjukkan bahwa hanya kasus khusus dari masalah yang akan diselesaikan dengan membuat algoritma yang efisien.
- Melonggarkan beberapa pembatas yang ada dan mengembangkan algoritma masalahnya sejauh tidak menyimpang dari aturan-aturan yang telah ditetapkan.

Dalam pemecahan masalah rekonfigurasi jaringan digunakan bantuan program komputer. Program komputer ini sangat berguna untuk mempercepat proses perhitungan yang membutuhkan ketelitian tinggi dan sering melibatkan iterasi yang membutuhkan waktu yang lama bila dikerjakan manual. Program yang dipergunakan pada bahasa pemrograman *Borland Delphi* versi 7.0 merupakan bahasa pemrograman terstruktur yang relatif mudah untuk dipelajari dan mudah penggunaannya.

Dalam analisa metode *rekonfigurasi* diperlukan suatu proses aliran daya untuk mengetahui tegangan pada bus beban dan rugi-rugi daya pada saluran. Oleh karena itu pembahasan selanjutnya adalah membahas proses metode rekonfigurasi analisis aliran daya menggunakan metode *backward and forward update*.

## 3.2 Analisis Aliran Daya<sup>[3]</sup>

### 3.2.1 Tujuan

Dalam analisa aliran daya dilakukan perhitungan tegangan, arus, daya nyata dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jala-jala listrik pada keadaan pengoperasian normal untuk sekarang dan akan datang.

Tujuan dari aliran daya adalah:

- Untuk menentukan daya nyata dan daya reaktif.
- Untuk mengetahui apakah semua peralatan pada sistem memenuhi batas-batas yang telah ditetapkan untuk operasi penyaluran daya.
- Untuk mengetahui kondisi awal pada perencanaan sistem yang baru.
- Untuk menentukan daya yang mengalir di tiap saluran jaringan tenaga listrik.

Di dalam analisa aliran daya terdapat 3 jenis variabel :

1. Variabel bebas, misalnya  $|V|$  dan  $Q$  pada bus generator.
2. Variabel tidak bebas, misalnya  $P$  dan  $|V|$  pada bus generator.
3. Variabel yang tidak dapat diatur, misalnya kebutuhan konsumen.

### 3.2.2 Klasifikasi Bus

Tujuan aliran daya pada sistem tenaga listrik adalah untuk menghitung besar (*magnitude*) tegangan  $|V|$  dan sudut fasa tegangan  $\delta$  pada semua bus, sehingga dengan diketahuinya parameter-parameter tersebut akan dapat dihitung besar daya yang mengalir beserta rugi-ruginya.

Pada setiap bus dari jaringan terdapat parameter sebagai berikut :

1. Daya nyata, dinyatakan dengan P satuannya MW.
2. Daya reaktif, dinyatakan dengan Q satuannya MVAR.
3. Besar (*magnitude*) tegangan, dinyatakan dengan  $|V|$  satuannya kV.
4. Sudut fasa tegangan, dinyatakan dengan  $\delta$  satuannya derajat.

1 dan 2 menyatakan daya yang dibangkitkan oleh generator yang mengalir ke bus. Jika pada bus terdapat beban, maka daya tersebut menyatakan selisih antara daya yang dibangkitkan dengan daya beban.

Dalam aliran daya, pada setiap busnya perlu diketahui 2 parameter dari 4 parameter yang diperhitungkan. Dengan melihat kedua parameter tersebut dapat diketahui jenis busnya, yaitu:

1. Bus beban

Pada bus ini daya nyata P dan daya reaktif Q diketahui, sementara *magnitude* tegangan  $|V|$  dan sudut fasa  $\delta$  dicari (dihitung).

2. Bus generator (rel tegangan konstan)

Pada bus ini daya nyata P dan *magnitude* tegangan  $|V|$  diketahui, sementara daya reaktif Q dan sudut fasa  $\delta$  (sudut antara tegangan sisi kirim dan tegangan sisi terima) akan dihitung nilainya.

3. Bus berayun

Pada bus ini nilai daya aktif dan daya reaktif dibiarkan mengambang atau tidak diketahui, hal ini dikarenakan daya yang dikirim kepada sistem oleh generator tidak dapat dipastikan terlebih dahulu. Besarnya daya aktif dan

daya reaktif selain ditentukan oleh besarnya beban juga ditentukan oleh besarnya daya yang hilang atau rugi-rugi pada saluran, nilainya hanya dapat ditentukan pada akhir perhitungan. Pada bus ini nilai tegangan masing-masing telah ditetapkan, yaitu sebesar 1 pu dan 0 derajat.

### 3.2.3 Pembentukan Matrik Admitansi Simpul

Suatu rangkaian yang mempunyai  $n$  simpul (termasuk simpul referensi) dapat ditulis dalam bentuk persamaan arus :

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n$$

$$I_n = Y_{n1}V_1 + Y_{n2}V_2 + \dots + Y_{nn}V_n$$

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

Dimana :  $p = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$I_p$  = arus yang masuk ke simpul  $p$ .

$V_q$  = tegangan simpul  $q$  terhadap referensi.

$Y_{pq}$  = admitansi antara simpul  $p$  dan  $q$ .

Persamaan diatas, dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (3.2)$$

Dimana :  $I_{bus}$  = matriks kolom vektor arus simpul.

$Y_{bus}$  = matriks kolom vektor admitansi simpul.

$V_{bus}$  = matriks kolom vektor tegangan simpul.

Elemen dari  $Y_{bus}$  matriks adalah arus yang mengalir pada simpul dari jaringan dimana terdapat unit sumber tegangan atau simpul dan referensi.

Untuk elemen diagonal  $Y_{pp}$ , unit sumber tegangan dipasang pada simpul terhadap referensi dan diukur arus yang melalui elemen tersebut, dimana semua simpul yang lain dihubung singkat, sedangkan elemen bukan diagonal  $Y_{pq}$  diukur arus pada simpul p dimana unit sumber tegangan dipasang pada simpul q sedangkan simpul yang lain dihubung singkat, jika p dan q tidak dihubungkan secara langsung maka arus yang mengalir akan sama dengan nol, atau  $Y_{pq}$  sama dengan nol.

### 3.2.4 Penyelesaian Aliran Daya

Untuk penyelesaian masalah aliran daya diperlukan suatu persamaan daya aktif dan daya reaktif yang dinyatakan dalam besaran kompleks. Di mana untuk jaringan sistem tenaga listrik pada tiap-tiap bus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + \dots + Y_{1n}V_n$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + \dots + Y_{2n}V_n$$

$$I_p = Y_{p1}V_1 + Y_{p2}V_2 + \dots + Y_{pn}V_n$$

Di mana persamaan tersebut dapat dituliskan menjadi bentuk umum :

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

Di mana :  $p = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$I_p$  = arus dalam bentuk kompleks yang masuk bus p.

$V_q$  = tegangan bus q dalam bentuk kompleks terhadap referensi.

$Y_{pq}$  = admitansi antara simpul p dan q.

Dalam bentuk matriks persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}$$

atau dapat juga ditulis

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V_{bus} \quad (3.4)$$

di mana :  $I_{bus}$  = matriks kolom vektor arus bus.

$Y_{bus}$  = matriks kolom vektor admitansi bus.

$V_{bus}$  = matriks kolom vektor tegangan bus.

Persamaan daya nyata dan daya reaktif yang masuk ke bus adalah :

$$P_p - jQ_p = V_p^* I_p \quad (3.5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.3) ke persamaan (3.5) maka diperoleh persamaan :

$$P_p - jQ_p = V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \quad (3.6)$$

$$V_p^* = e_p - jf_p = |V_q| \angle -\delta_p$$

$$V_q = e_q - jf_q = |V_q| \angle \delta_p$$

$$Y_{pq} = G_{pq} - jB_{pq} = |Y_{pq}| \angle -\theta_{pq}$$

Dengan demikian persamaan ini dapat dinyatakan dalam bentuk *rectangular* sebagai berikut :

$$P_p - jQ_p = (e_p - jf_p) \sum_{q=1}^n (G_{pq} - jB_{pq}) (e_q + jf_q) \quad (3.7)$$

Di mana :  $p = 1, 2, 3, \dots, n$ .



Persamaan-persamaan terakhir menyatakan dua buah persamaan aliran daya pada sistem dengan  $n$  bus, dimana tiap-tiap bus digolongkan dalam  $4n$  variabel dan  $2n$  variabel yang lain telah ditentukan terlebih dahulu.

Variabel dari bus berayun telah ditentukan terlebih dahulu sehingga persamaan untuk bus berayun ini dapat dihilangkan dan dengan demikian hanya dibutuhkan  $(n-1)$  buah persamaan untuk studi aliran daya. Bentuk persamaan dua terakhir + 1 menyatakan hubungan matematis yang diperlukan untuk analisa aliran daya dengan komputer.

Selain itu persamaan diatas hanya berlaku untuk sistem satu fasa dan untuk sistem tiga fasa yang seimbang, dengan satuan yang dipakai adalah perunit, sebab sistem perunit tidak akan terpengaruh oleh perbedaan tegangan pada sistem jaringan yang sesungguhnya.

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

Metode *Newton Raphson* dibentuk berdasarkan matriks admitansi simpul ( $Y_{bus}$ ), sehingga merupakan suatu prosedur yang langsung dan sederhana.

Pada admitansi simpul elemen diagonalnya ( $Y_{pp}$ ) adalah jumlah admitansi dari semua elemen-elemen jaringan yang terhubung dengan simpul  $p$  tersebut. Untuk elemen bukan diagonal ( $Y_{pq}$ ) adalah sama dengan negatif admitansi dari elemen jaringan yang menghubungkan simpul  $p$  dan simpul  $q$ .

Karena pada jaringan sistem tenaga listrik tidak semua simpul saling berhubungan satu dengan yang lainnya, maka  $Y_{bus}$  akan membentuk matriks yang terdiri dari elemen-elemen yang mempunyai nilai tidak sama dengan nol (diantara simpul-simpul tersebut mempunyai hubungan saluran) dan elemen-elemen yang

bernilai sama dengan nol (diantara simpul-simpul tersebut tidak mempunyai hubungan saluran). Secara matematis persamaan aliran daya metode *Newton Raphson* dapat menggunakan koordinat *rectangular*, koordinat polar atau bentuk hibrid (gabungan antara bentuk kompleks dengan bentuk polar). Dalam pembahasan ini digunakan bentuk koordinat polar.

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

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \quad (3.8)$$

Injeksi daya pada simpul  $p$  adalah :

$$S_p = P_p - jQ_p = V_p^* \cdot I_p \quad (3.9)$$

$$= V_p^* \cdot \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \quad (3.10)$$

Dalam penyelesaian aliran daya dengan *Newton Raphson* bentuk persamaan aliran daya yang dipilih adalah polar, di mana 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 (3.6) dapat ditulis :

$$P_p - jQ_p = \sum_{q=1}^n |V_p| |V_q| |Y_{pq}| e^{-j(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})} \quad (3.11)$$

Dengan memisahkan bagian riil dan bagian imajiner maka diperoleh :

$$P_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad (3.12)$$

$$Q_p = \sum_{q=1}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad (3.13)$$

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 ( $\delta$ ) di setiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.12) dan (3.13) yang dilinierkan dengan metode *Newton Raphson* seperti persamaan berikut ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

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, L, M, N merupakan elemen-elemen *off diagonal* dan *diagonal* dari sub matriks Jaqobian yang dibentuk dengan mendefinisikan persamaan (3.12) dan (3.13),  
dimana :

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

$$M_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} \qquad L_{pq} = \frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|}$$

Adapun rumus dari elemen matriks Jaqobian adalah :

Untuk H :

$$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_q} = |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial \delta_p} = - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})$$

Untuk N :

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_q|} = |V_p Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial P_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p Y_{pp}| \cos \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})$$

Untuk M :

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_q} = -|V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \delta_p} = \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_p V_q Y_{pq}| \cos(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})$$

Untuk L :

$$\frac{\partial Q_p}{\partial |V_q|} = |V_p Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq}) \quad q \neq p$$

$$\frac{\partial Q_p}{\partial |V_p|} = 2|V_p Y_{pp}| \sin \theta_{pp} + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n |V_q Y_{pq}| \sin(\delta_p - \delta_q + \theta_{pq})$$

Untuk menghitung selisih daya, maka mula-mula ditentukan nilai awal tegangan simpul dan sudut fasanya. Kemudian daya nyata dan daya reaktif dihitung dengan menggunakan persamaan (3.12) dan (3.13). Selisih antara daya yang telah ditentukan dengan daya hasil perhitungan ini merupakan perubahan daya yang terjadi pada simpul.

$$\Delta P = P_{pembangkitan} - P_{beban} - P_{perhitungan} \quad (3.15)$$

$$\Delta Q = Q_{pembangkitan} - Q_{beban} - Q_{perhitungan} \quad (3.16)$$

Magnitude tegangan  $|V|$  dan sudut fasa  $\delta_p$  yang diasumsikan serta selisih daya yang dihitung ( $\Delta P_p$  dan  $\Delta Q_p$ ) digunakan untuk memperoleh elemen-elemen matriks Jaqobian.

Persamaan (3.14) 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 tegangan yang baru, yaitu :

$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta|V|^k \quad (3.17)$$

$$\delta_{k+1} = \delta_k + \Delta\delta_k \quad (3.18)$$

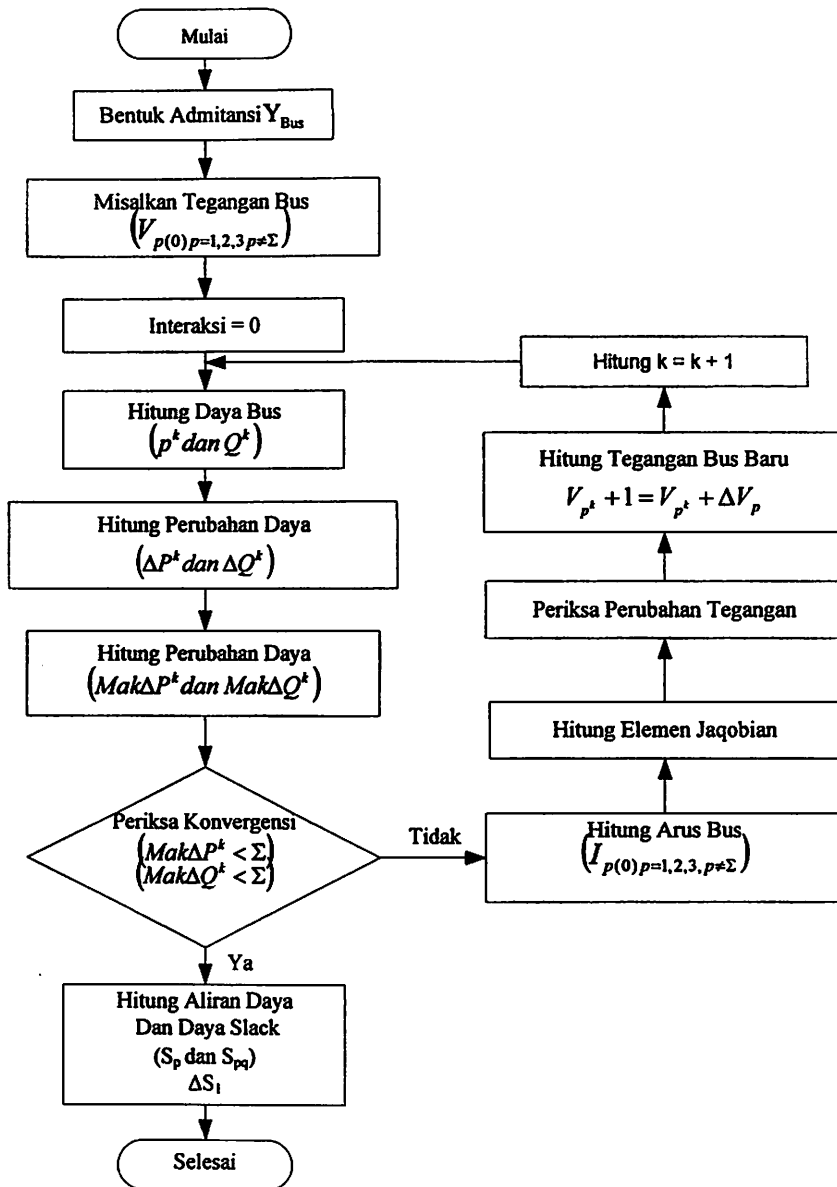
Proses perhitungan akan berulang sampai selisih daya nyata dan daya reaktif antara yang dijadwalkan dengan yang dihitung, yaitu  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  untuk semua

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

### 3.2.5.1 Algoritma Aliran Daya *Newton Raphson*

1. Tentukan nilai  $P_{p(\text{ditetapkan})}$  dan  $Q_{p(\text{ditetapkan})}$  yang mengalir kedalam sistem pada setiap rel untuk nilai yang ditentukan atau perkiraan dari besar dan sudut tegangan untuk iterasi pertama atau tegangan yang ditentukan paling akhir untuk iterasi berikutnya.
2. Hitung  $\Delta P$  pada setiap rel.
3. Hitung nilai-nilai matriks jaqobian dengan menggunakan nilai-nilai perkiraan atau yang ditentukan dari besar dan sudut tegangan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan differensial persamaan (3.12) dan (3.14).
4. Balikkan jaqobian itu dan hitung koreksi-koreksi tegangan  $\Delta\delta_p$  dan  $\Delta|V_q|$  pada nilai sebelumnya.
5. Hitung nilai baru dari  $\delta_q$  dan  $|V_q|$  dengan menambah  $\Delta\delta_p$  dan  $\Delta|V_q|$  pada nilai sebelumnya.
6. Kembali kelangkah pertama dan ulangi proses itu dengan menggunakan nilai untuk besar dan sudut tegangan yang ditentukan paling akhir sehingga semua nilai  $\Delta P$  dan  $\Delta Q$  atau semua nilai  $\Delta\delta$  dan  $\Delta|V|$  lebih kecil dari suatu indeks ketetapan yan dipilih.

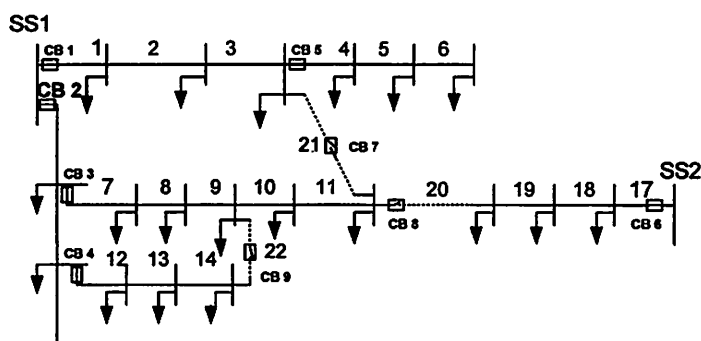
### 3.2.5.2 Flowchart Aliran Daya *Newton Raphson*



Gambar 3.1 Flowchart Aliran Daya *Newton Raphson*

### 3.2.6 Pernyataan Permasalahan<sup>[4]</sup>

Untuk menyederhanakan presentasi, kita akan menghadirkan sistem pada suatu basis per tahap dan beban sepanjang suatu pensuplai adalah tetap sedangkan penempatan beban P,Q pada ujung baris. Kita juga mengasumsikan bahwa tiap-tiap tombol dihubungkan dengan satu baris pada suatu sistem. Sebagai contoh, kita berasumsi bahwa sistem gambar 3-2 dapat diterjemahkan untuk suatu jaringan padanan yang ditunjukkan pada gambar 3-3.



**Gambar 3.2 Diagram satu garis dari suatu sistem distribusi kecil<sup>[4]</sup>**

Pada gambar, cabang padat merepresentasikan baris bahwa pada layanan dan ketentuan dasar susunan radial. Cabang yang diberi titik (cabang 20,21,22) menghadirkan baris dengan tombol terbuka.

Jaringan dasar dapat diatur kembali oleh penutupan pertama suatu cabang terbuka, katakan cabang 21 pada gambar. Sejak penekanan tombol ini akan menciptakan sebuah jaringan di dalam sistem, (yang terdiri atas cabang 1, 2, 3, 21, 11, 10, 9, 8, 7, dan 15), sebuah cabang di dalam jaringan yang berisi suatu tombol harus selalu terbuka, katakan pada cabang 7, untuk mengembalikan struktur radial dari sistem. Sebagai hasil dari switching, beban antara cabang 7-11 akan ditransfer



dari satu pensuplai ke pensuplai lainnya. Kita gunakan istilah yang sama untuk cabang 22 dan menamainya operasi dasar *switching* yang merupakan suatu pertukaran cabang antara cabang 21 dan 7. Secara umum, seperti digambarkan pada pengenalan, rencana *switching* mungkin lebih rumit; kita akan meniru kasus dengan menerapkan beberapa pertukaran cabang berturut-turut.

Perpindahan beban antar *feeder* yang berbeda dapat ditirukan oleh pertukaran cabang jenis *switching* juga. Dalam hal ini, titik cabang stasiun (titik SS1 dan SS2 pada gambar) akan diperlakukan seperti umumnya walaupun mereka bukan pada titik yang sama. Metode yang diperkenalkan pada makalah ini mampu menangani seluruh kasus. Ini adalah sesuatu yang penting dari metode yang diusulkan.

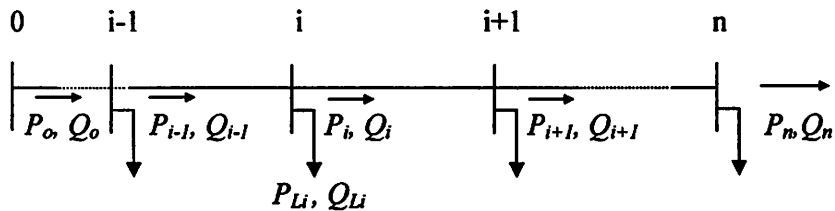
Permasalahan penyusunan ulang jaringan untuk pengurangan kerugian akan melibatkan jenis operasi yang sama, yakni beban yang berpindah antara *feeder* atau cabang stasiun oleh perubahan posisi tombol. Perbedaannya hanya pada sasaran. Faktor lain, seperti profil tegangan dari sistem, kapasitas *line/transformers*, penghambat keandalan dapat berfungsi sebagai penghambat.

Untuk menyatakan permasalahan ini sebagai permasalahan optimisasi, catat bahwa susunan yang radial sesuai dengan suatu "perputaran pohon" dari suatu grafik yang mewakili jaringan topologi. Sehingga, kita menyebutnya sebagai masalah perputaran pohon minimal yang dapat dicontohkan sebagai berikut. Berikan sebuah grafik, tentukan sebuah perputaran pohon bahwa fungsi sasaran diperkecil pada saat penghambat mencakup: (i) penghambat tegangan, (ii) penghambat kapasitas *lines/transformers*, (iii) penghambat keandalan.

Ini merupakan suatu masalah optimisasi *combinatorial* sejak solusi melibatkan pertimbangan dari segala kemungkinan perputaran pohon.

### 3.2.7 Metode Penyelesaian Studi Aliran Daya<sup>[4]</sup>

Untuk mengkalkulasi istilah pada masalah optimisasi yang digambarkan pada bagian sebelumnya, kita akan menggunakan suatu persamaan aliran daya yang dari sudut bangunannya mewah dan berguna bagi rencana solusi *computationally* yang efisien. Sebagai gambarannya, perhatikan jaringan radial pada Gambar 3-2.



Gambar 3.3 Suatu diagram garis dari suatu jaringan radial<sup>[4]</sup>

Kita mendapatkan baris dengan impedansi  $z_1 = r_1 + jx_1$ , dan beban sebagai daya tetap,

$$S_L = P_L + jQ_L.$$

Aliran daya pada suatu jaringan distribusi radial dapat diuraikan oleh satu persamaan berulang, disebut *cabang persamaan Distflow*, bahwa penggunaan daya nyata, daya reaktif, dan tegangan yang besar di pengiriman akhir dari suatu cabang-  $P_i, Q_i, V_i$  berturut-turut pernyataan jumlah yang sama tentang penerimaan akhir dari cabang sebagai berikut<sup>[3]</sup>.

$$P_{i+1} = P_i - r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{Li+1} \quad (3.19)$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{Li+1} \quad (3.20)$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (r_i^2 + x_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (3.21)$$

Karenanya, jika  $P_o$ ,  $Q_o$ ,  $V_o$  di tangkai pohon pertama dari jaringan dikenal atau diperkirakan, kemudian jumlah yang sama di tangkai pohon yang lain dapat dihitung dengan menerapkan pada persamaan cabang yang berturut-turut. Kita akan mengacu pada prosedur pembaharuan ini.

Persamaan cabang Distflow dapat ditulis mundur, yaitu dengan menggunakan daya riil, daya reaktif, dan tegangan yang besar pada penerimaan akhir suatu cabang,  $P_i$ ,  $Q_i$ ,  $V_i$  untuk menyatakan jumlah yang sama di pengiriman akhir cabang itu. Hasil dari persamaan berulang tersebut, disebut *backward branch equations* (persamaan cabang mundur),

$$P_{i-1} = P_i + r_i \frac{P_i'^2 + Q_i'^2}{V_i^2} + P_{Li} \quad (3.22)$$

$$Q_{i-1} = Q_i + x_i \frac{P_i'^2 + Q_i'^2}{V_i^2} - Q_{Li} \quad (3.23)$$

$$V_{i-1}^2 = V_i^2 + 2(r_i P_i' + x_i Q_i') + (r_i^2 + x_i^2) \frac{P_i'^2 + Q_i'^2}{V_i^2} \quad (3.24)$$

di mana,  $P_i' = P_i + P_{Li}$ ,  $Q_i' = Q_i + Q_{Li}$

Serupa untuk perbaruan ke depan, suatu perbaruan ke belakangpun dapat digambarkan: awal perbaruan dari tangkai pohon terakhir mengumpamakan variabel jaringan itu  $P_n, Q_n, V_n$  pada titik itu diberi dan diproses mundur menghitung jumlah yang sama di tangkai pohon yang lain. Pembaharuan proses berakhir di tangkai pohon yang pertama (tangkai pohon 0) dan akan menyediakan perkiraan baru dari suntikan daya ke dalam jaringan itu,  $P_0, Q_0$ .

Catat bahwa dengan rencana penerapan *backward and forward update* berturut-turut seseorang bisa mendapatkan suatu solusi arus daya, ~~sebagaimana di-~~  
~~terangkan pada~~

### 3.2.8 Kalkulasi dari Terminologi Obyek<sup>[4]</sup>

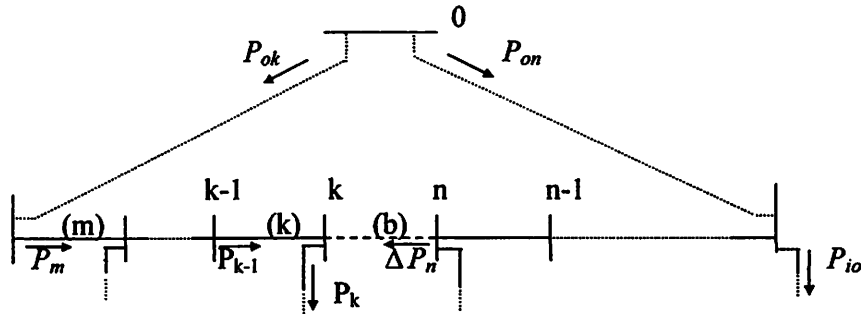
Setelah suatu model jaringan, sekarang kita dapat menyatakan kerugian daya pada sistem dalam hal variabel sistem. Untuk mengurangi kerugian, obyek akan memperkecil total  $i^2r$  kerugian pada sistem, yang mana dapat dihitung sebagai berikut :

$$LP = \sum_{i=0}^{n-1} r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad \text{p.u.} \quad (3.25)$$

Ini akan menjadi fungsi obyek,  $f_p$  dari penyusunan ulang jaringan untuk mengurangi kerugian.

Seperti contoh pada bagian sebelumnya, pertukaran cabang dapat digunakan untuk menciptakan perputaran pohon relevan mulai dari perputaran dasar. Secara umum, suatu perputaran pohon  $T_0$ , adalah menghubungkan suatu *loop* dengan tiap-tiap cabang terbuka pada jaringan dengan mempertimbangkan seolah-olah cabang tertutup. Gambar 3-4 menunjukkan sebuah *loop* dihubungkan dengan ca-

bang  $b$  yang terbuka. Perubahan cabang menciptakan suatu pohon baru dengan menutup suatu cabang terbuka (cabang  $b$  pada gambar) dan dengan membuka suatu cabang tertutup pada *loop* (katakan cabang  $m$  pada gambar).



**Gambar 3.4** Pengulangan/Jerat dihubungkan dengan cabang terbuka  $b$ <sup>[4]</sup>

Gagasan dasar rencana pencarian yang menggunakan pertukaran cabang akan dimulai dengan kemungkinan suatu pohon dan kemudian menciptakan berturut-turut sesuatu yang baru dengan menerapkan satu pergantian cabang untuk ditetapkan menjadi "satu yang terbaik" (satu yang berfungsi untuk meningkatkan sasaran paling besar tanpa pelanggaran batasan) kemungkinan antara semua pohon (cabang) bahwa dapat diturunkan dari pejabat yang sekarang yang perputaran pohon (induk) dengan pertukaran cabang. Metode dapat diuraikan sebagai suatu algoritma dengan langkah-langkah sebagai berikut :

**Langkah 1:** Berikan dengan kemungkinan sebuah pohon (induk)

menjalankan Aliran Daya untuk menentukan titik operasi

**Langkah 2:** Menguji semua cabang dari induk sebagai berikut.

untuk masing-masing cabang terbuka  $b$

- temukan suatu calon pohon baru,  $T$  dengan cara

- mengidentifikasi loop

- memutuskan atas cabang,  $m$  untuk dikembalikan
- untuk calon pohon,  $T$
- mengkalkulasi pengurangan pada sasaran,  $\Delta c_{bm}$

**Langkah 3:** Sort;Jenis cabang ( pengujian pohon ) dengan menggunakan  $\Delta c_{bm}$ 'S

**Langkah 4:** Temukan pohon  $T^*$  yang mana mempunyai  $\Delta c_{bm} > 0$  yang terbesar dan memuaskan batasan kelayakan.

**Langkah 5:** Jika ada seperti sebuah  $T^*$ ,

Kemudian memilih  $T^*$  sebagai  $T_0$  dan melangkah ke 1;selain itu stop.

Kita mencatat komentar berikut tentang pencarian.

- Pencarian ini tidak menguji kemungkinan semua pohon dan karenanya solusi akan terjadi di tempat optimal.
- Efisiensi *computational* dari engsel algoritma ini pada dua hal-hal; pemilihan cabang  $m$  untuk;menjadi terbuka, sejak secepatnya mempengaruhi banyaknya pencarian untuk dilakukan, dan kalkulasi dari terminologi sasaran, milik  $\Delta c$ 's, karena masing-masing kalkulasi memerlukan suatu aliran daya baru. Meskipun solusi aliran daya dapat diperoleh melalui Distflow yang secara efisien, adalah diinginkan untuk;menjadi mampu menaksir aliran daya lebih cepat tanpa benar-benar mempertimbangkan untuk men-jalankan suatu Distflow untuk masing-masing pertukaran cabang . Ini akan mengurangi solusi Distflow ke satu untuk mencari tingkatan yang lain (berulang-ulang)

- Perkiraan aliran daya digunakan pada urutan cabang terbuka. Oleh karena itu, kesalahan perkiraan pada figur bisa mendorong kearah suatu pencarian berbeda dibandingkan dengan penggunaan suatu aliran daya yang tepat.

Pada bagian berikutnya, dua aliran daya dengan metode pendekatan berbeda, dengan derajat ketelitian yang berbeda, diberikan untuk pengurangan kerugian.

### 3.3 Metode *Backward and Forward Update*<sup>[4]</sup>

#### 3.3.1 *Update Arus Daya*

Metode yang kedua menggunakan *Backward and Forward Update* dari Distflow, pada bagian 2 diperkenalkan *Update* aliran daya di sekitar *loop* dari suatu pertukaran cabang. Untuk pertukaran cabang nominal b-k dari gambar 3.4, langkah-langkah metoda menjadi seperti berikut :

#### Langkah 1: *Backward Update*

*Update* aliran daya di sekitar *loop* oleh *Backward Update* dimulai dari titik k dan n pada *loop* dan dengan menyelesaikan *Update* tegangan dan daya secara terpisah (yaitu, menggunakan Persamaan (3.22) dan Persamaan (3.23) dengan tegangan asli,  $V_i$  untuk perbaruan daya, dan menggunakan persamaan (3.24) untuk perbaruan tegangan. Dengan mengabaikan perbaruan daya

$$\hat{P}_i, \hat{Q}_i, \quad i=k, \dots, ok \quad ; \quad \hat{P}_i, \hat{Q}_i, \quad i=n, \dots, on \quad (3.26)$$

dan *Update* tegangan pada tangkai pohon yang umum adalah  $\hat{V}_{on}$  dan  $\hat{V}_{ok}$ .

### Langkah 2: Forward Update

Bandingkan perbedaan tegangan pada titik  $o$  (perbedaan antara  $V_o$  dan  $\hat{V}_{on}, \hat{V}_{ok}$ ). Jika perbedaan tegangan terlalu besar (lebih besar dari suatu nilai yang sudah dikenal,  $\epsilon^{\max}$ ), berhasil; keliling suatu *forward update* untuk mengurangi kesalahan (waktu ini dimulai dari titik yang umum  $o$  dan penggunaan  $V_o, \hat{P}_{ok}, \hat{P}_{on}$ , seperti memaraf, pemberian nilai-nilai dan penerapan perbaruan depan). Maka update daya adalah :

$$\hat{P}_i, \hat{Q}_i, \quad i=ok+1, \dots, k \quad ; \quad \hat{P}_i, \hat{Q}_i, \quad i=on+1, \dots, n \quad (3.27)$$

### Langkah 3: Mengoreksi aliran daya di titik yang umum

Menggunakan perbedaan antara perbaruan  $\hat{P}_k, \hat{P}_n$  and  $\hat{P}_k, \hat{P}_n$  seperti daya tak serasi dan mengoreksi  $\hat{P}_{on}$  and  $\hat{P}_{ok}$  oleh penambahan tidak sepadan mereka, yaitu.,

$$\hat{P}_{ok} = \hat{P}_{ok} + (\hat{P}_k - \hat{P}_k) \quad ; \quad \hat{P}_{on} = \hat{P}_{on} + (\hat{P}_n - \hat{P}_n) \quad (3.28)$$

Rincian pengembangan dari algoritma ini disampaikan pada catatan tambahan C.

Catatan *backward and forward update* mendasari suatu iterasi dari solusi aliran daya yang menggunakan cabang persamaan Distflow. Di sini, kita memanfaatkan metode dengan melokalisir *loop* pertukaran cabang dan melakukan suatu iterasi khusus, Oleh karena itu::

- ketelitian dari metode sebagian besar tergantung pada pemindahan beban  $P_k, Q_k$ .



### 3.3.2 Kalkulasi Pengurangan Kerugian Daya<sup>[1]</sup>

Karena penilaian kerugian daya, maka :

$$P_{ok} - \hat{P}_{ok} \approx \Delta P_k + \Delta LP_L \quad ; \quad P_{on} - \hat{P}_{on} \approx -\Delta P_k + \Delta LP_R \quad (3.29)$$

di mana,  $\Delta LP_R$  dan  $\Delta LP_L$  menyebabkan pengurangan kerugian daya pada R dan L sisi *loop* berturut-turut. Oleh karena itu, jumlah pengurangan kerugian daya dapat mendekati seperti :

$$\Delta L \hat{P} = \Delta LP_L + \Delta LP_R = (P_{ok} - \hat{P}_{ok}) + (P_{on} - \hat{P}_{on}) \quad (3.30)$$

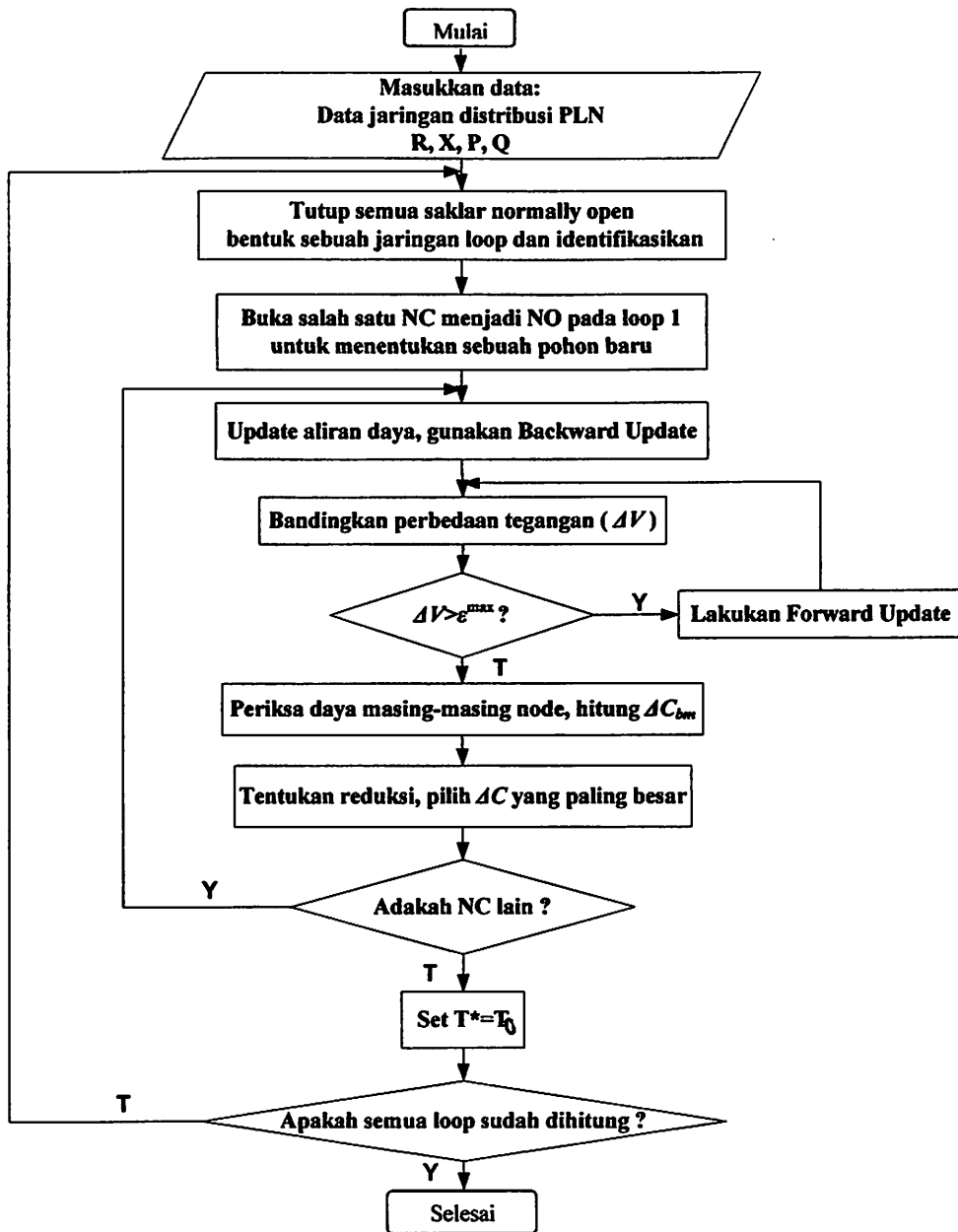
### 3.4 Model Penyusunan Ulang Jaringan Distribusi

Dalam strategi penyusunan ulang jaringan distribusi ada beberapa aturan untuk mendapat konfigurasi baru yang bisa mengatasi pelanggaran-pelanggaran di atas. Diagram alir (*flow-chart*) pengoperasian program penyusunan ulang jaringan secara *branch exchange* ditunjukkan pada gambar 3.5, dan secara garis besarnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Masukkan data-data jaringan
2. Tutup semua *Normally Open*, bentuk jaringan *loop*
3. Tentukan pohon awal ( $T_0$ ) dan hitung aliran daya
4. Identifikasi *loop*
5. Tentukan pohon baru (T) dengan membuka salah satu *Normally Close* menjadi *Normally Open*

6. *Update* aliran daya dengan menggunakan *Backward Update*. Gunakan persamaan 3.22 dan 3.23 dengan tegangan yang asli dan gunakan persamaan 3.24 untuk meng-*update* tegangan
7. Bandingkan perbedaan tegangan pada *node* awal dengan kedua tegangan ujung ( $V_0$  dengan  $V_{ok}, V_{on}$ ). Jika perbedaan tegangan besar sekali (lebih besar dari  $\varepsilon^{\max}$ ), lakukan *Forward Update* untuk menguji error.
8. Periksa daya masing-masing *node*, dan hitung besarnya reduksi ( $\Delta C_{bm}$ ).
9. Periksa apakah ada NC pada *loop* ini. Jika ada, buka NC dan tutup NO. Kembali ke langkah 6. Jika tidak ada, tentukan reduksi pada *loop* 1 ( $T^{\#}$ ) dengan memilih  $\Delta C$  yang paling besar, kemudian lanjutkan ke langkah 10.
10. Set  $T^* = T_0$
11. Periksa apakah semua *loop* sudah dihitung, jika belum kembali ke langkah 3 dan jika sudah perhitungan selesai.

### 3.5 Flowchart Program Metode *Tree Search*



Gambar 3.5 Flowchart Program Metode *Tree Search*



## BAB IV

### HASIL REKONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK MENGUNAKAN METODE *TREE SEARCH*

#### 4.1 Bentuk Jaringan Sistem Distribusi

Sebagai sarana untuk mengilustrasikan pelaksanaan program penyusunan ulang jaringan distribusi dengan metode *Tree Search* dipergunakan contoh sistem jaringan distribusi primer yang dalam keadaan awalnya seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 dengan data jaringan distribusi seperti pada tabel 4.2.

Sistem distribusi yang awalnya diasumsikan bersifat radial yaitu dalam kelompok beban dilayani oleh satu sumbu, dan beban-beban untuk tiap node ditetapkan besarnya, serta terdapat *switch-switch* yang statusnya dapat diubah sesuai dengan karakteristik dan bentuk jaringan. Adapun jaringan distribusi ini menggunakan transformator IV GI Rungkut sebagai sumber tenaga yang mensuplai daerah yang kepadatan bebannya sangat bervariasi, di mana semua itu digunakan hanya sebagai contoh untuk menunjukkan bagaimana program penyusunan ulang jaringan dapat ditampilkan. Tujuan utama pada program ini adalah untuk mencari solusi yang mendekati optimal dalam mengatasi beban lebih pada jaringan dan tegangan abnormal pada jaringan, begitu pula secara bersama dapat mereduksi rugi-rugi daya yang ada pada suatu jaringan.

## 4.2 Hasil Percobaan Menggunakan Data Jurnal

Tabel 4.1 Data Validasi Jurnal

No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus	Impedansi		Pembebanan	
			R (ohm)	X (ohm)	PL (kw)	QL(kvar)
1	1	2	0.075	0.1	2.0	1.6
2	1	6	0.11	0.11	3.0	1.5
3	1	11	0.11	0.11	2.0	0.8
4	2	3	0.08	0.11	1.5	1.2
5	2	4	0.09	0.18	4.0	2.7
6	4	5	0.04	0.04	5.0	3.0
7	6	7	0.04	0.04	1.0	0.9
8	6	8	0.09	0.12	0.6	0.1
9	7	9	0.08	0.11	4.5	2.0
10	7	10	0.11	0.11	1.0	0.9
11	11	12	0.11	0.11	1.0	0.7
12	11	13	0.08	0.11	1.0	0.9
13	13	14	0.04	0.04	2.1	1.0
14	3	9	0.09	0.12		
15	5	14	0.08	0.11		
16	8	12	0.04	0.04		

The screenshot shows a software window titled "Tampilan Data" with a blue title bar and standard Windows window controls. The window contains a tabbed interface with the "General" tab selected. The parameters are as follows:

- Jumlah Bus: 14
- Jumlah Saluran: 16
- Tegangan Dasar: 23 kV
- Daya Dasar: 100 MVA
- Parameter Saluran: pu

At the bottom right of the window, there are two buttons: "Next" and "Close".

Gambar 4.1 Tampilan Data Pada Program

**Tampilan Data**

General | **Data Bus** | Data Saluran | Data Generator

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)	Cap (pu)	Type Bus
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	2	1.6	0	3
3	1	0	0	1.1	3	1.5	0	3
4	1	0	0	1.2	2	0.8	0	3
5	1	0	0	0	1.5	1.2	0	3
6	1	0	0	0	4	2.7	0	3
7	1	0	0	1.2	5	3	0	3
8	1	0	0	0	1	0.9	0	3
9	1	0	0	0.6	0.6	0.1	0	3
10	1	0	0	3.7	4.5	2	0	3
11	1	0	0	0	1	0.9	0	3
12	1	0	0	1.8	1	0.7	0	3
13	1	0	0	0	1	0.9	0	3
14	1	0	0	1.8	2.1	1	0	3

Next Close

Gambar 4.2 Tampilan Data Bus Pada Program

**Tampilan Data**

General | Data Bus | **Data Saluran** | Data Generator

No	Dari	Ke	R (pu)	X (pu)	Lc (pu)	Tr	Tu	Su (deg)	Kap (MVA)
1	1	2	0.075	0.1	0	0	0	0	10000
2	1	6	0.11	0.11	0	0	0	0	10000
3	1	11	0.11	0.11	0	0	0	0	10000
4	2	3	0.08	0.11	0	0	0	0	10000
5	2	4	0.09	0.18	0	0	0	0	10000
6	3	9	0.04	0.04	0	0	0	0	10000
7	4	5	0.04	0.04	0	0	0	0	10000
8	5	14	0.12	0.12	0	0	0	0	10000
9	6	7	0.08	0.11	0	0	0	0	10000
10	6	8	0.11	0.11	0	0	0	0	10000
11	7	9	0.11	0.11	0	0	0	0	10000
12	7	10	0.08	0.11	0	0	0	0	10000
13	8	12	0.04	0.04	0	0	0	0	10000
14	11	12	0.09	0.12	0	0	0	0	10000

Next Close

Gambar 4.3 Tampilan Data Saluran Pada Program

7 Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Reconfigurasi | LFAKhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)	Sups (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	29.211	6.490	0.000	0.000	0.000	1
2	0.99067	-0.36981	0.000	0.000	2.000	1.600	0.000	3
3	0.98779	-0.54429	0.000	1.100	3.000	1.500	0.000	3
4	0.98599	-0.69720	0.000	1.200	2.000	0.800	0.000	3
5	0.98489	-0.70428	0.000	0.000	1.500	1.200	0.000	3
6	0.97906	-0.76348	0.000	0.000	4.000	2.700	0.000	3
7	0.97108	-1.45227	0.000	1.200	5.000	3.000	0.000	3
8	0.97692	-0.77007	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
9	0.97096	-1.52578	0.000	0.600	0.600	0.100	0.000	3
10	0.96927	-1.83632	0.000	3.700	4.500	2.000	0.000	3
11	0.99442	-0.32934	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
12	0.99484	-0.45618	0.000	1.800	1.000	0.700	0.000	3
13	0.99180	-0.52283	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
14	0.99128	-0.59043	0.000	1.800	2.100	1.000	0.000	3

Free Search Hitung Awal Close

Gambar 4.4 Tampilan Loadflow Awal

7 Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Reconfigurasi | LFAKhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Summary Loadflow

Jumlah Pembangkitan	29.211+ j 17.890	MVA
Jumlah Pembebanan	28.700+ j 17.300	MVA
Jumlah Rugi-Rugi	0.511+ j 0.590	MVA
Iterasi	2	
Waktu Hitung	0:0:0:0	

Free Search Hitung Awal Close

Gambar 4.5 Tampilan Hasil Reduksi Rugi-rugi Awal



7 Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Reconfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	PL (MW)	QL (MVAR)	Sups (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	29.166	6.444	0.000	0.000	0.000	1
2	0.99070	-0.42619	0.000	0.000	2.000	1.600	0.000	3
3	0.98789	-0.66270	0.000	1.100	3.000	1.500	0.000	3
4	0.98603	-0.75355	0.000	1.200	2.000	0.800	0.000	3
5	0.98493	-0.76063	0.000	0.000	1.500	1.200	0.000	3
6	0.98140	-0.68485	0.000	0.000	4.000	2.700	0.000	3
7	0.97338	-1.30679	0.000	1.200	5.000	3.000	0.000	3
8	0.98995	-0.48908	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
9	0.98785	-0.68853	0.000	0.600	0.600	0.100	0.000	3
10	0.97158	-1.68904	0.000	3.700	4.500	2.000	0.000	3
11	0.99230	-0.33636	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
12	0.99072	-0.48674	0.000	1.800	1.000	0.700	0.000	3
13	0.98967	-0.53068	0.000	0.000	1.000	0.900	0.000	3
14	0.98914	-0.59857	0.000	1.800	2.100	1.000	0.000	3

Tree Search | Hitung Awal | Close

Gambar 4.6 Tampilan Loadflow Akhir

7 Hasil Loadflow

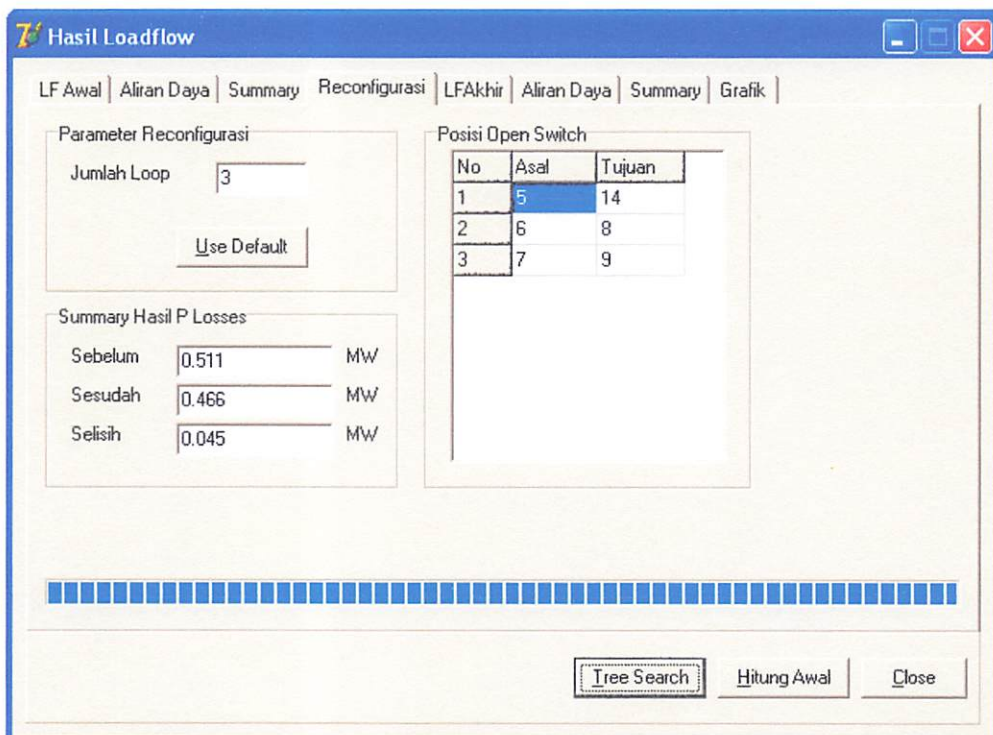
LF Awal | Aliran Daya | Summary | Reconfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Summary Loadflow

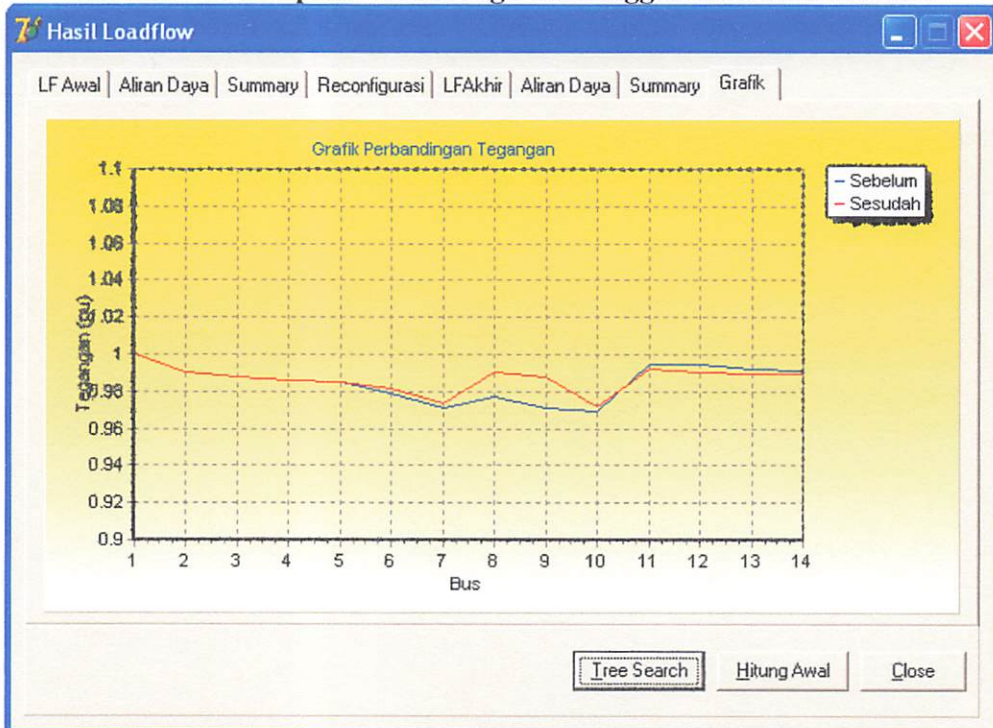
Jumlah Pembangkitan	29.166+ j 17.844	MVA
Jumlah Pembebanan	28.700+ j 17.300	MVA
Jumlah Rugi-Rugi	0.466+ j 0.544	MVA
Iterasi	2	
Waktu Hitung	0:0:0:0	

Tree Search | Hitung Awal | Close

Gambar 4.7 Tampilan Hasil Reduksi Rugi-rugi Akhir



**Gambar 4.8 Tampilan Hasil Program Menggunakan Data Validasi**



**Gambar 4.9 Tampilan Grafik Perbandingan Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi**

Setelah melakukan perhitungan dengan metode *Tree Search* maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Hasil Data Jurnal : 0.46613 MW

Hasil Tree Search : 0.466 MW

Maka didapat hasil persentase errornya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\% \text{ Error} &= \frac{\text{Hasil Jurnal} - \text{Hasil Pengujian}}{\text{Hasil Jurnal}} \times 100\% \\ &= \frac{0.46613 - 0.466}{0.46613} \times 100\% \\ &= 0.027 \%\end{aligned}$$

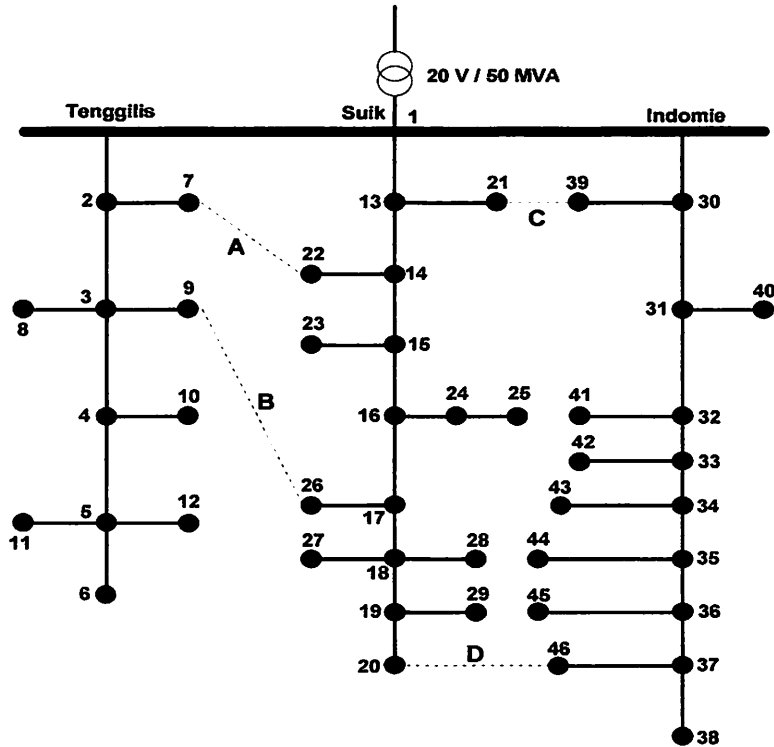
### 4.3 Pengolahan Data

Dalam skripsi ini data yang digunakan adalah *feeder* yang keluar dari Trafo IV G.I. Rungkut. Alasan pemilihan data tersebut karena *output* dari trafo ini mensuplai daerah yang kepadatan bebannya bervariasi.

Transformator IV G.I. Rungkut terdiri dari :

1. Penyulang Tenggilis
2. Penyulang Suik
3. Penyulang Indomie

Data teknis trafo IV	: 150/20 KV
Tegangan dasar	: 20 kV
Daya dasar	: 100 MVA
Penghantar SUTM 20 kV	: AAAC 150 mm
Impedansi Penghantar	: 0,2162 + j 0,3305 $\Omega$ /km
Cos $\phi$	: 0,8



**Gambar 4.10 Konfigurasi Jaringan Radial sebelum Rekonfigurasi**

Keterangan Saklar Normal-Open:

A. LBS Kuntisari

B. AVS Sier Barat

C. LBS Surya Multi

D. LBS Henson Makmur

Sedangkan pada bus-busnya sebagai Saklar Normal-Close

**Tabel 4.2**  
**Data Impedansi Saluran**

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (Km)	Impedansi Saluran	
				R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	0,6225	0.1345	0.2057
2	2	7	0,0943	0.0253	0.0318
3	2	3	0.4338	0.0937	0.1433
4	3	8	1.0186	0.2737	0.3438
5	3	9	0.3207	0.0862	0.1082
6	3	4	0.9526	0.2059	0.3148
7	4	10	0.962	0.2585	0.3247
8	4	5	2.1881	0.473	0.7231
9	5	11	0.1886	0.0506	0.0636
10	5	12	0.0755	0.0202	0.0254
11	5	6	2.6691	0.577	0.8821
12	1	13	0.2746	0.0593	0.0907
13	13	21	1.0445	0.2807	0.3526
14	13	14	0.1184	0.0255	0.0391
15	14	22	0.0700	0.0188	0.0236
16	14	15	0.1238	0.0267	0.0409
17	15	23	0.4684	0.1259	0.1581
18	15	16	0.0431	0.0931	0.0142
19	16	24	0.1777	0.0477	0.0599
20	24	25	0.9529	0.2561	0.3216
21	16	17	0.4146	0.0896	0.137
22	17	26	0.7645	0.2054	0.258
23	17	18	0.1184	0.0255	0.0391
24	18	27	0.0485	0.013	0.0163
25	18	28	0.0485	0.013	0.0163
26	18	19	0.3661	0.0791	0.1235
27	19	29	0.0538	0.0144	0.0181
28	19	20	0.1615	0.0349	0.0533
29	1	30	0.4502	0.0973	0.1487
30	30	39	0.0048	0.0129	0.0162
31	30	31	0.0718	0.0155	0.0237
32	31	40	0.5029	0.1351	0.1697
33	31	32	0.2347	0.0507	0.0775
34	32	41	0.0239	0.0642	0.0806
35	32	33	0.091	0.0196	0.03

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (Km)	Impedansi Saluran	
				R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
36	33	42	0.0239	0.0642	0.0806
37	33	34	0.0192	0.0415	0.0634
38	34	43	0.0144	0.0387	0.0486
39	34	35	0.1437	0.031	0.0474
40	35	44	0.8573	0.2304	0.2894
41	35	36	0.091	0.0196	0.03
42	36	45	0.5268	0.1416	0.1778
43	36	37	0.1676	0.0362	0.0553
44	37	46	0.7088	0.1905	0.2392
45	37	38	0.0623	0.0134	0.0205
46	7	22	0.1443	0.0387	0.0487
47	9	26	0.3707	0.0996	0.1251
48	21	39	1.0945	0.2942	0.3695
49	20	46	0.7588	0.2039	0.2561

Bus 1 merupakan bus berayun, Bus 2 sampai dengan 49 merupakan bus beban

Dari tabel 4.1 lampiran, daya P (MW) dan Q (MVAR), maka beban untuk masing-masing bus akan diperoleh hasil seperti pada tabel 4.2 berikut ini :

**Tabel 4.3**  
**Data Pembebanan**

No Bus	Pembebanan		Type Bus
	P (Kw)	Q(Kvar)	
1	0	0	Slack
2	296.519	222.389	Load
3	728.549	546.412	Load
4	476.646	357.485	Load
5	1388.371	1041.279	Load
6	1116.793	837.595	Load
7	0	0	Load
8	1242.884	932.162	Load
9	0	0	Load
10	415.68	311.761	Load
11	0	0	Load
12	0	0	Slack
13	0	0	Load
14	0	0	Load
15	0	0	Load

No Bus	Pembebanan		Type Bus
	P (Kw)	Q(Kvar)	
16	0	0	Load
17	1807.502	1355.626	Load
18	474.852	356.139	Load
19	626.638	469.977	Load
20	0	0	Load
21	2317.167	1737.875	Load
22	0	0	Load
23	1896.623	1422.467	Load
24	810.451	607.838	Load
25	5414.149	4060.612	Load
26	3319.687	2489.84	Load
27	0	0	Load
28	0	0	Load
29	346.74	260.055	Slack
30	103.048	77.286	Load
31	0	0	Load
32	0	0	Load
33	0	0	Load
34	0	0	Load
35	41.715	31.332	Load
36	20.888	15.666	Load
37	27.85	20.887	Load
38	0	0	Load
39	0	0	Load
40	771.46	578.595	Load
41	0	0	Load
42	286.861	215.146	Load
43	0	0	Load
44	3317.001	2487.751	Load
45	2751.634	2063.726	Load
46	955.273	716.457	Load

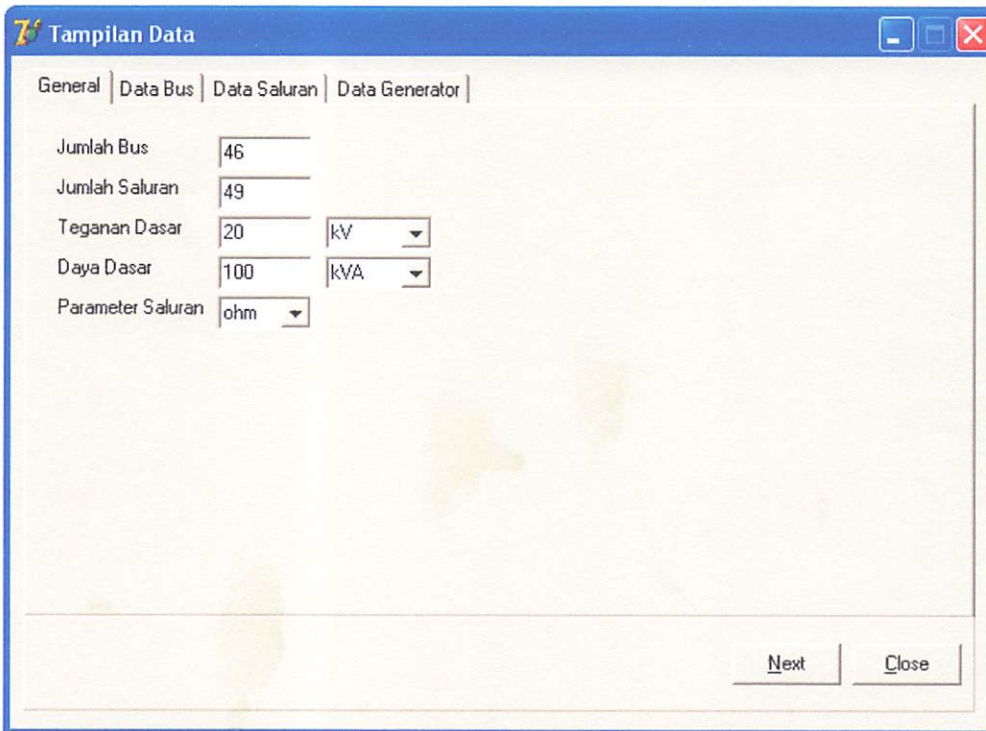
Bus 1 merupakan bus berayun, Bus 2 sampai dengan 46 merupakan bus beban

#### 4.4 Analisa Perhitungan Program Menggunakan Metode *Tree Search*

Analisa hasil perhitungan program rekonfigurasi sistem jaringan distribusi ini dilakukan untuk mereduksi rugi-rugi seoptimal mungkin. Dalam melakukan perhitungan dibutuhkan suatu bahasa pemrograman agar perhitungan dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Dalam skripsi digunakan bahasa pemrograman Delphi 7. Adapun langkah-langkah dalam menjalankan pemrograman rekonfigurasi dengan metode *tree search* adalah sebagai berikut:

##### 4.4.1 Masukkan data jaringan

Data jaringan yang dimasukkan berupa data bus dan data saluran



Gambar 4.11 Tampilan Dasar Program Rekonfigurasi



**Tampilan Data**

General | **Data Bus** | Data Saluran | Data Generator

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (kW)	Qg (kVAR)	PL (kW)	QL (kVAR)	Cap (ohm)	Type Bus
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	296.52	222.39	0	3
3	1	0	0	0	728.55	546.41	0	3
4	1	0	0	0	476.65	357.49	0	3
5	1	0	0	0	1388.37	1041.28	0	3
6	1	0	0	0	1116.79	837.6	0	3
7	1	0	0	0	0	0	0	3
8	1	0	0	0	1242.88	932.16	0	3
9	1	0	0	0	0	0	0	3
10	1	0	0	0	415.68	311.76	0	3
11	1	0	0	0	0	0	0	3
12	1	0	0	0	0	0	0	3
13	1	0	0	0	0	0	0	3
14	1	0	0	0	0	0	0	3
15	1	0	0	0	0	0	0	3

Next Close

**Gambar 4.12 Tampilan Program Memasukkan Data Bus**

**Tampilan Data**

General | **Data Bus** | **Data Saluran** | Data Generator

No	Dari	Ke	R (ohm)	X (ohm)	Lc (ohm)	Tr	Tu	Su (deg)	Kap (kVA)
1	1	2	0.1345	0.2057	0	0	0	0	10000
2	2	7	0.0253	0.0318	0	0	0	0	10000
3	2	3	0.0937	0.1433	0	0	0	0	10000
4	3	8	0.2737	0.3438	0	0	0	0	10000
5	3	9	0.0862	0.1082	0	0	0	0	10000
6	3	4	0.2059	0.3148	0	0	0	0	10000
7	4	10	0.2585	0.3247	0	0	0	0	10000
8	4	5	0.473	0.7231	0	0	0	0	10000
9	5	11	0.0506	0.0636	0	0	0	0	10000
10	5	12	0.0202	0.0254	0	0	0	0	10000
11	5	6	0.577	0.8821	0	0	0	0	10000
12	1	13	0.0593	0.0907	0	0	0	0	10000
13	13	21	0.2807	0.3526	0	0	0	0	10000
14	13	14	0.0255	0.0391	0	0	0	0	10000

Next Close

**Gambar 4.13 Tampilan Program Memasukkan Data Saluran**

#### 4.4.2 Melakukan Perhitungan Aliran Daya Sebelum Rekonfigurasi

Dengan data jaringan yang ada maka dilakukan perhitungan untuk mencari aliran daya awal yang merupakan aliran daya dari sistem sebelum rekonfigurasi. Pada tahap ini digunakan metode *Newton Raphson*, hasil dari perhitungan ini akan dibandingkan dengan hasil rekonfigurasi sehingga diketahui besar reduksi rugi daya. Dari data pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 (data jaringan distribusi) dimasukkan ke dalam *software* rekonfigurasi, maka hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3.

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (kW)	Qg (kVAR)	PL (kW)	QL (kVAR)	Sup (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	31335.782	23693.752	0.000	0.000	0.000	1
2	0.99585	-0.08543	0.000	0.000	296.520	222.390	0.000	3
3	0.99311	-0.14222	0.000	0.000	728.550	546.410	0.000	3
4	0.98929	-0.22166	0.000	0.000	476.650	357.490	0.000	3
5	0.98280	-0.35761	0.000	0.000	1388.370	1041.280	0.000	3
6	0.97927	-0.43230	0.000	0.000	1116.790	837.600	0.000	3
7	0.99585	-0.08543	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
8	0.99144	-0.16727	0.000	0.000	1242.880	932.160	0.000	3
9	0.99311	-0.14222	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
10	0.98876	-0.22963	0.000	0.000	415.680	311.760	0.000	3
11	0.98280	-0.35761	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
12	0.98280	-0.35761	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
13	0.99449	-0.11413	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
14	0.99243	-0.15711	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
15	0.99029	-0.20220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-

Gambar 4.14 Tampilan Program Hasil Load Flow Sebelum Rekonfigurasi

Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Rekonfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

No	Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)	Dari	Ke	P (kW)	Q
1	1	2	5720.030	4332.056	286.002	216.603	2	1	-5702.718	-4
2	2	7	0.000	-0.000	0.000	-0.000	7	2	-0.000	
3	2	3	5406.198	4083.190	271.130	205.415	3	2	-5395.356	-4
4	3	8	1244.560	934.271	62.543	47.193	8	3	-1242.880	-9
5	3	9	0.000	-0.000	0.000	-0.000	9	3	-0.000	
6	3	4	3422.246	2585.929	171.976	130.621	4	3	-3412.643	-2
7	4	10	415.858	311.984	20.957	15.849	10	4	-415.680	-3
8	4	5	2520.135	1901.773	126.998	96.610	5	4	-2508.091	-1
9	5	11	-0.000	0.000	-0.000	0.000	11	5	0.000	-
10	5	12	0.000	-0.000	0.000	-0.000	12	5	-0.000	
11	5	6	1119.721	842.081	56.697	43.196	6	5	-1116.790	-8
12	1	13	17262.217	13040.129	863.111	652.006	13	1	-17192.832	-1
13	13	21	2323.161	1745.406	116.627	87.987	21	13	-2317.170	-1
14	13	14	14869.671	11188.598	746.484	564.020	14	13	-14847.349	-1

Tree Search | Hitung Awal | Close

Gambar 4.15 Tampilan Program Hasil Aliran Daya Sebelum Rekonfigurasi

Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Rekonfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Summary Loadflow

Jumlah Pembangkitan	31335.782+ j23693.752	kVA
Jumlah Pembebanan	30954.980+ j23216.410	kVA
Jumlah Rugi-Rugi	380.802+ j 477.342	kVA
Iterasi	3	
Waktu Hitung	0:0:0.32	

Tree Search | Hitung Awal | Close

Gambar 4.16 Tampilan Program Hasil Rugi-rugi Daya Sebelum Rekonfigurasi

**Tabel 4.4**  
**Hasil Perhitungan Aliran Daya Sebelum Rekonfigurasi**

Hasil Loadflow Newton Raphson Rectangular

Jumlah Bus = 46

Jumlah Saluran = 49

Jumlah Iterasi = 3

Waktu Computasi = 0:0:0:00 (jam:menit:detik:mdetik)

Bus	Tegangan		Pembangkitan		Pembebanan	
	re	im	P	Q	P	Q
	(pu)		(kv)	(kVAR)	(kv)	(kVAR)
1	1.00000	+ j0.00000	31335.782	+ j23693.752	0.000	+ j0.000
2	0.99585	- j0.08543	0.000	+ j0.000	296.52	+ j222.39
3	0.99311	- j0.14222	0.000	+ j0.000	728.55	+ j546.41
4	0.98929	- j0.22166	0.000	+ j0.000	476.65	+ j357.49
5	0.98280	- j0.35761	0.000	+ j0.000	1388.37	+ j1041.28
6	0.97927	- j0.43230	0.000	+ j0.000	1116.79	+ j837.60
7	0.99585	- j0.08543	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
8	0.99144	- j0.16727	0.000	+ j0.000	1242.88	+ j932.16
9	0.99311	- j0.14222	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
10	0.98876	- j0.22963	0.000	+ j0.000	415.68	+ j311.76
11	0.98280	- j0.35761	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
12	0.98280	- j0.35761	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
13	0.99449	- j0.11413	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
14	0.99243	- j0.15711	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
15	0.99029	- j0.20220	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
16	0.98690	- j0.09683	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
17	0.98368	- j0.16458	0.000	+ j0.000	1807.50	+ j1355.63
18	0.98348	- j0.16887	0.000	+ j0.000	474.85	+ j356.14
19	0.98305	- j0.17812	0.000	+ j0.000	626.64	+ j469.98
20	0.98305	- j0.17812	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
21	0.99130	- j0.16197	0.000	+ j0.000	2317.17	+ j1737.88
22	0.99243	- j0.15711	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
23	0.98911	- j0.21987	0.000	+ j0.000	1896.62	+ j1422.47
24	0.98543	- j0.11895	0.000	+ j0.000	810.45	+ j607.84
25	0.97855	- j0.22312	0.000	+ j0.000	5414.15	+ j4060.61
26	0.98030	- j0.21584	0.000	+ j0.000	3319.69	+ j2489.84
27	0.98348	- j0.16887	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
28	0.98348	- j0.16887	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
29	0.98303	- j0.17850	0.000	+ j0.000	346.74	+ j260.06
30	0.99562	- j0.09022	0.000	+ j0.000	103.05	+ j77.29
31	0.99493	- j0.10450	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
32	0.99289	- j0.14689	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
33	0.99210	- j0.16337	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
34	0.99049	- j0.19686	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
35	0.98929	- j0.22200	0.000	+ j0.000	41.72	+ j31.33
36	0.98889	- j0.23042	0.000	+ j0.000	20.89	+ j15.67
37	0.98870	- j0.23447	0.000	+ j0.000	27.85	+ j20.89
38	0.98870	- j0.23447	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
39	0.99562	- j0.09022	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
40	0.99442	- j0.11213	0.000	+ j0.000	771.46	+ j578.60
41	0.99289	- j0.14689	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
42	0.99201	- j0.16472	0.000	+ j0.000	286.86	+ j215.15
43	0.99049	- j0.19686	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
44	0.98552	- j0.27882	0.000	+ j0.000	3317.00	+ j2487.75
45	0.98697	- j0.25933	0.000	+ j0.000	2751.63	+ j2063.73
46	0.98780	- j0.24797	0.000	+ j0.000	955.27	+ j716.46

Jumlah Pembangkitan = 31335.782 + j23693.752 kVA

Jumlah Pembebanan = 30954.980 + j23216.410 kVA

Jumlah Rugi Daya = 380.802 + j477.342 kVA

#### 4.4.3 Melakukan Pencarian Rekonfigurasi

Tahap ini merupakan tahap akhir program rekonfigurasi dengan metode *Tree Search*. Pada tahap ini dilakukan penerapan dari metode *Tree Search* untuk melakukan rekonfigurasi jaringan dengan memilih *switch-switch* mana yang akan di buka atau ditutup sehingga diperoleh hasil reduksi yang paling besar.

Bus	absV (pu)	sudV (deg)	Pg (kW)	Qg (kVAR)	PL (kW)	QL (kVAR)	Sups (pu)	Type Bus
1	1.00000	0.00000	31295.597	23671.418	0.000	0.000	0.000	1
2	0.99340	-0.13586	0.000	0.000	296.520	222.390	0.000	3
3	0.98895	-0.22841	0.000	0.000	728.550	546.410	0.000	3
4	0.98511	-0.30852	0.000	0.000	476.650	357.490	0.000	3
5	0.97860	-0.44563	0.000	0.000	1388.370	1041.280	0.000	3
6	0.97505	-0.52096	0.000	0.000	1116.790	837.600	0.000	3
7	0.99340	-0.13586	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
8	0.98728	-0.25367	0.000	0.000	1242.880	932.160	0.000	3
9	0.98754	-0.24961	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
10	0.98458	-0.31655	0.000	0.000	415.680	311.760	0.000	3
11	0.97860	-0.44563	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
12	0.97860	-0.44563	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
13	0.99558	-0.09158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
14	0.99400	-0.12468	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
15	0.99234	-0.15939	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	-

Gambar 4.17 Tampilan Program Hasil Load Flow Akhir Setelah Rekonfigurasi

Hasil Loadflow

LF Awal | Aliran Daya | Summary | Rekonfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

No	Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)	Arus re (A)	Arus im (A)	Dari	Ke	P (kW)	Q
1	1	2	9092.387	6900.187	454.619	345.009	2	1	-9048.579	-6
2	2	7	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	7	2	0.000	
3	2	3	8752.059	6610.798	439.721	333.781	3	2	-8723.503	-6
4	3	8	1244.574	934.288	62.735	47.487	8	3	-1242.880	-9
5	3	9	3327.919	2500.172	167.750	127.075	9	3	-3324.101	-2
6	3	4	3422.460	2586.255	172.512	131.446	4	3	-3412.774	-2
7	4	10	415.860	311.986	21.022	15.948	10	4	-415.680	-3
8	4	5	2520.264	1901.971	127.396	97.223	5	4	-2508.117	-1
9	5	11	-0.000	0.000	-0.000	0.000	11	5	0.000	-
10	5	12	-0.000	0.000	-0.000	0.000	12	5	0.000	-
11	5	6	1119.747	842.120	56.875	43.470	6	5	-1116.790	-8
12	1	13	13849.676	10449.665	692.484	522.483	13	1	-13805.051	-1
13	13	21	2323.148	1745.389	116.533	87.843	21	13	-2317.170	-1
14	13	14	11481.903	8636.022	575.951	434.640	14	13	-11468.627	-8

Tree Search Hitung Awal Close

Gambar 4.18 Tampilan Hasil Aliran Daya Setelah Rekonfigurasi

Hasil Loadflow

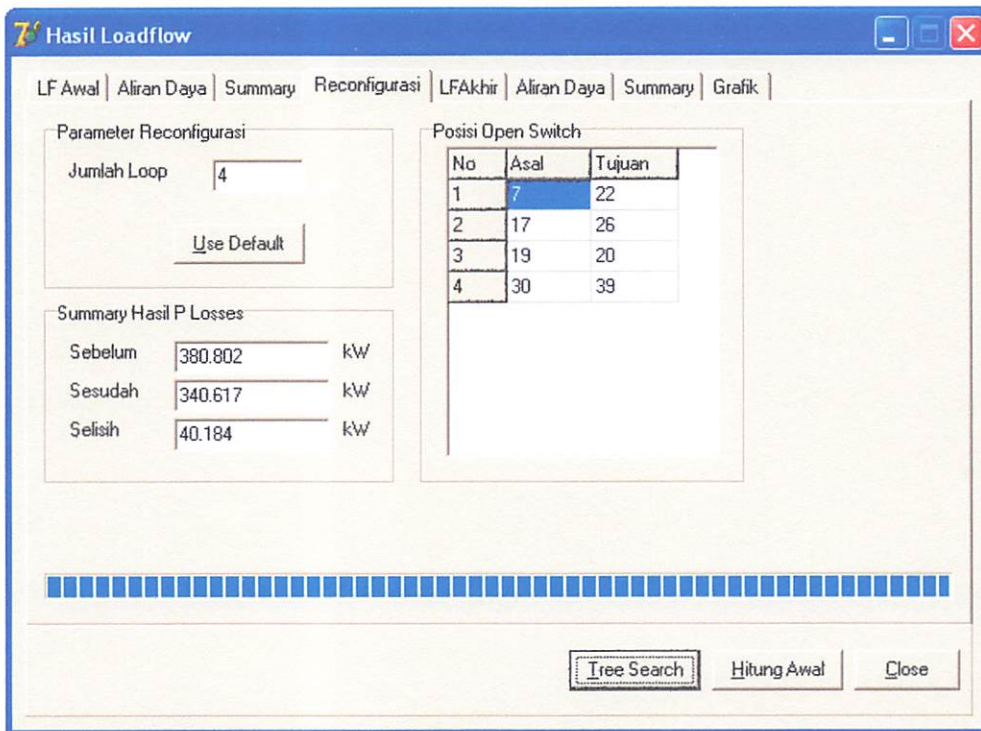
LF Awal | Aliran Daya | Summary | Rekonfigurasi | LFAkhir | Aliran Daya | Summary | Grafik

Summary Loadflow

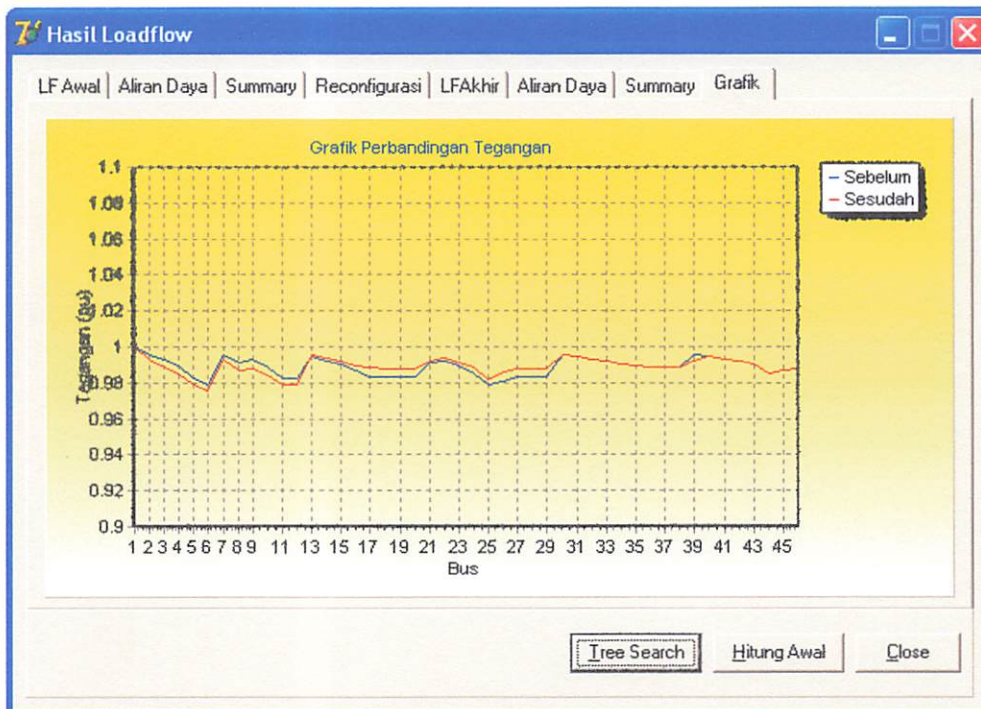
Jumlah Pembangkitan	31295.597+ j23671.418	kVA
Jumlah Pembebanan	30954.980+ j23216.410	kVA
Jumlah Rugi-Rugi	340.617+ j 455.008	kVA
Iterasi	3	
Waktu Hitung	0:0:0:31	

Tree Search Hitung Awal Close

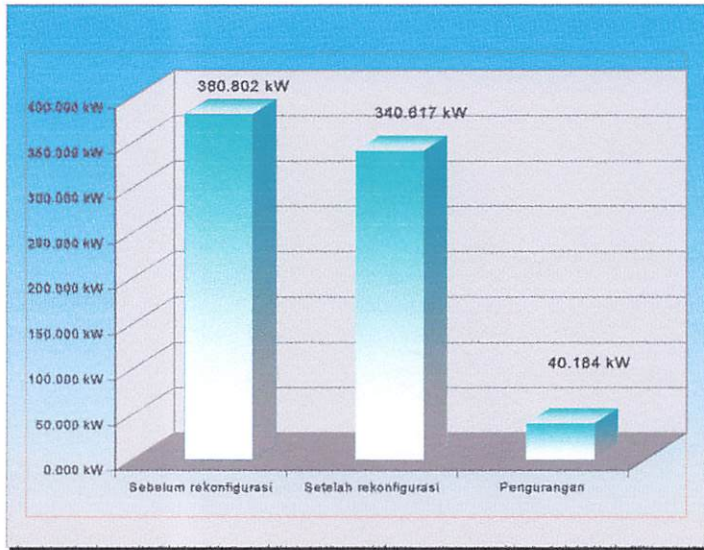
Gambar 4.19 Tampilan Hasil Rugi-rugi Daya Setelah Rekonfigurasi



Gambar 4.20 Tampilan Program Hasil Rekonfigurasi

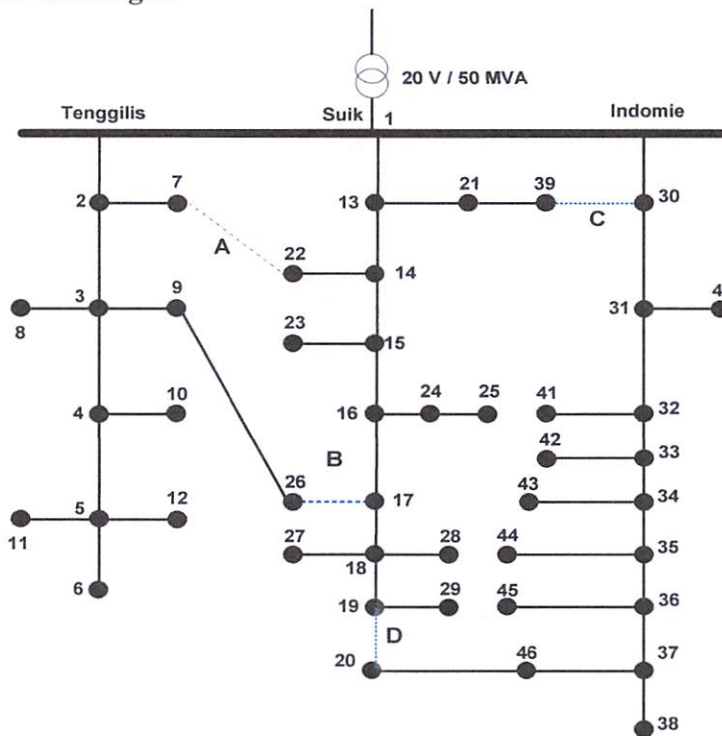


Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Tegangan



Gambar 4.22 Total Hasil Reduksi Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi

#### 4.4.4 Hasil Perhitungan



Gambar 4.23 Konfigurasi Jaringan Radial setelah Rekonfigurasi

Setelah melakukan analisa dan perhitungan dengan Metode *Tree Search*,

maka diperoleh hasil rekonfigurasi, dan tabel 4.4 menunjukkan hasil aliran daya setelah proses rekonfigurasi tersebut.



**Tabel 4.5**

**Hasil Perhitungan Aliran Daya Setelah Rekonfigurasi**

Hasil Loadflow Newton Raphson Rectangular

Jumlah Bus = 46

Jumlah Saluran = 49

Jumlah Iterasi = 3

Waktu Computasi = 0:0:0:0 (jam:menit:detik:mdetik)

Bus	Tegangan		Pembangkitan		Pembebanan	
	re	im	P	Q	P	Q
	(pu)		(kv)	(kVAR)	(kv)	(kVAR)
1	1.00000	+ j0.00000	31295.597	+ j23671.418	0.000	+ j0.000
2	0.99340	- j0.13586	0.000	+ j0.000	296.52	+ j222.39
3	0.98895	- j0.22841	0.000	+ j0.000	728.55	+ j546.41
4	0.98511	- j0.30852	0.000	+ j0.000	476.65	+ j357.49
5	0.97860	- j0.44563	0.000	+ j0.000	1388.37	+ j1041.28
6	0.97505	- j0.52096	0.000	+ j0.000	1116.79	+ j837.60
7	0.99340	- j0.13586	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
8	0.98728	- j0.25367	0.000	+ j0.000	1242.88	+ j932.16
9	0.98754	- j0.24961	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
10	0.98458	- j0.31655	0.000	+ j0.000	415.68	+ j311.76
11	0.97860	- j0.44563	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
12	0.97860	- j0.44563	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
13	0.99558	- j0.09158	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
14	0.99400	- j0.12468	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
15	0.99234	- j0.15939	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
16	0.98984	- j0.08184	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
17	0.98826	- j0.11512	0.000	+ j0.000	1807.50	+ j1355.63
18	0.98806	- j0.11936	0.000	+ j0.000	474.85	+ j356.14
19	0.98763	- j0.12853	0.000	+ j0.000	626.64	+ j469.98
20	0.98780	- j0.24797	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
21	0.99240	- j0.13931	0.000	+ j0.000	2317.17	+ j1737.88
22	0.99400	- j0.12468	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
23	0.99117	- j0.17698	0.000	+ j0.000	1896.62	+ j1422.47
24	0.98837	- j0.10383	0.000	+ j0.000	810.45	+ j607.84
25	0.98151	- j0.20738	0.000	+ j0.000	5414.15	+ j4060.61
26	0.98591	- j0.27422	0.000	+ j0.000	3319.69	+ j2489.84
27	0.98806	- j0.11936	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
28	0.98806	- j0.11936	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
29	0.98761	- j0.12891	0.000	+ j0.000	346.74	+ j260.06
30	0.99562	- j0.09022	0.000	+ j0.000	103.05	+ j77.29
31	0.99493	- j0.10450	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
32	0.99289	- j0.14689	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
33	0.99210	- j0.16337	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
34	0.99049	- j0.19686	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
35	0.98929	- j0.22200	0.000	+ j0.000	41.72	+ j31.33
36	0.98889	- j0.23042	0.000	+ j0.000	20.89	+ j15.67
37	0.98870	- j0.23447	0.000	+ j0.000	27.85	+ j20.89
38	0.98870	- j0.23447	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
39	0.99240	- j0.13931	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
40	0.99442	- j0.11213	0.000	+ j0.000	771.46	+ j578.60
41	0.99289	- j0.14689	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
42	0.99201	- j0.16472	0.000	+ j0.000	286.86	+ j215.15
43	0.99049	- j0.19686	0.000	+ j0.000	0.000	+ j0.000
44	0.98552	- j0.27882	0.000	+ j0.000	3317.00	+ j2487.75
45	0.98697	- j0.25933	0.000	+ j0.000	2751.63	+ j2063.73
46	0.98780	- j0.24797	0.000	+ j0.000	955.27	+ j716.46

Jumlah Pembangkitan = 31295.597 + j23671.418 kVA

Jumlah Pembebanan = 30954.980 + j23216.410 kVA

Jumlah Rugi Daya = 340.617 + j455.008 kVA

#### 4. 5 Rugi-rugi Daya

Dengan dilakukannya rekonfigurasi jaringan ternyata mempengaruhi besar kerugian pada saluran, setelah dilakukan rekonfigurasi rugi-rugi daya akan turun. seperti dalam tabel 4.6 di mana rugi-rugi dayanya :

**Tabel 4.6**  
**Hasil Perbandingan Rugi-rugi Daya**

<b>Rugi-rugi Sebelum</b>		<b>Rugi-rugi Sesudah</b>	
<b>kW</b>	<b>kVAR</b>	<b>kW</b>	<b>kVAR</b>
<b>380.802</b>	<b>477.342</b>	<b>340.617</b>	<b>455.008</b>

Setelah dilakukan rekonfigurasi reduksi rugi-rugi dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut :

**Tabel 4.7**  
**Hasil Reduksi Rugi-rugi Daya**

<b>Reduksi Rugi-rugi</b>	
<b>kW</b>	<b>kVAR</b>
<b>40.184</b>	<b>22.334</b>

Dengan prosentase reduksi rugi-rugi saluran adalah 10,55 %

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah didapat hasil perhitungan rekonfigurasi pada jaringan 20 kV sistem distribusi radial di Gardu Induk Rungkut Surabaya menggunakan metode *Tree Search*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa *rekonfigurasi* yang dikembangkan dalam makalah ini
  - Menggunakan metode rekonfigurasi *Tree Search*.
  - Mereduksi rugi-rugi daya hanya dengan merubah status *switch* tanpa menambah biaya investasi.
2. Rekonfigurasi dengan melakukan *open switch* dari: bus 7 ke bus 22, bus 17 ke bus 26, bus 19 ke bus 20 dan bus 30 ke bus 39 akan diperoleh reduksi rugi-rugi daya pada saluran.
3. Rugi-rugi saluran sebelum *rekonfigurasi* =  $380.802 + j477.342$  kVA  
Rugi-rugi saluran setelah *rekonfigurasi* =  $340.617 + j455.008$  kVA  
Reduksi rugi-rugi salurannya =  $40.184 + j22.334$  kVA  
Dengan prosentasi reduksi rugi-rugi saluran adalah 10.55 %

#### 5.2 Saran

Penentuan letak switch pada jaringan distribusi primer tipe radial dengan menggunakan metode *Tree Search* perlu dikembangkan dan diaplikasikan dalam menganalisa saluran-saluran yang telah ada maupun untuk perencanaan perluasan jaringan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. *Marcos A. N. Guimaraes, C. A. Castro*, **“Reconfiguration of Distribution System for Loss Reduction using Tree Search”**, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 2005.
2. *A.S. Pabla*, **“Sistem Distribusi Daya Listrik”**, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994.
3. *Hasan Basri*, **“Sistem Distribusi”**, Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta, 1996.
4. *W.D. Stevenson, Jr.*, **“Analisa Sistem Tenaga Listrik”**, Penerbit Erlangga, Jakarta 1983.
5. *Yusra Sabri, Dr.Ir.*, **“Arsitektur dan Pengembangan Jaringan Distribusi”**, Gedung Kerjasama PLN-ITB, Bandung, 1990.

# LAMPIRAN

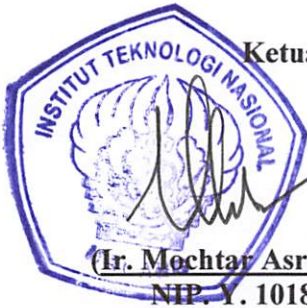


INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : RUSDHY  
N.I.M. : 97.12.039  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : Analisis Rekonfigurasi Jaringan Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Metode Tree Search Di Gardu Induk Rungkut-Surabaya  
Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)  
Hari : Senin  
Tanggal : 3 September 2007  
Dengan Nilai : 74,3 (B+) *BY*

**Panitia Ujian Skripsi**



**Ketua**

**(Ir. Mochtar Asroni, MSEE.)**  
NIP. Y. 1018100036

**Sekretaris**

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

**Anggota Penguji**

**Penguji I**

**(Ir. Djojo Priatmono, MT)**  
NIP. Y. 1018500107

**Penguji II**

**(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)**  
NIP.Y. 1018800189



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

Hari : Senin  
Tanggal : 3 September 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : RUSDHY
2. Nim : 97.12.039
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : Analisis Rekonfigurasi Jaringan Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Metode Tree Search Di Gardu Induk Rungkut-Surabaya

Perbaikan meliputi :

No.	Materi Perbaikan	Paraf
1.	Uji validasi atau error program	

Disetujui / diperiksa  
Dosen Penguji II

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)  
NIP.Y. 1018800189

Mengetahui / menyetujui  
Dosen Pembimbing

Pembimbing I

(Ir. H. Taufik Hidayat, MT)  
NIP. P. 1018700151

Pembimbing II


(Ir. Eko Nurcahyo)  
NIP. P. 1028700172



Nama : **RUSDHY**  
Nim : **97.120.39**  
Masa Bimbingan : **27 Pebruari 2007 s/d 27 Agustus 2007**  
Judul Skripsi : **Analisis Rekonfigurasi Jaringan Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Metode Tree Search Di Gardu Induk Rungkut - Surabaya**

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	2-3-07	Selesaikan Bab IV, analisis nya	AL.
2	1-5-07	Lanjutkan ke Bab V	AL.
3	10-5-07	Revisi Bab V. Kesimpulan sinkronkan dgn tujuan, muncul kan daya!	AL.
4	20-5-07	Lanjutkan ke Bab III (Teori model)	AL.
5	25-5-07	Tambahkan uraian dari parameter: Tree Search.	AL.
6	30-5-07	Tambahkan di Bab III. flow chart Newton Raphson.	AL.
7	10-6-07	Lanjutkan ke Bab II (Teori distribusi)	AL
8	28-6-07	Lanjutkan ke Bab I	AL
9	20-07-07	Ace mengikuti Summar	AL.
10			

Malang, 2007  
Dosen Pembimbing I

  
**Ir. H. Taufik Hidayat, MT**  
NIP. P. 1018700015





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl. Bendungan Sigura-gura 2  
Malang

Nama : **RUSDHY**  
Nim : **97.120.39**  
Masa Bimbingan : **27 Pebruari 2007 s/d 27 Agustus 2007**  
Judul Skripsi : **Analisis Rekonfigurasi Jaringan Untuk Mereduksi Rugi-rugi Daya Pada Sistem Distribusi Menggunakan Metode Tree Search Di Gardu Induk Rungkut - Surabaya**

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Malang, 2007  
Dosen Pembimbing II

**Ir. Eko Nurcahyo**  
NIP. Y. 1028700172

Form S-4a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-113/I.TA/2/07  
Lampiran : -  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Malang, 01 Maret 2007

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. H. TAUFIK HIDAYAT, MT**  
Dosen Pembimbing  
Jurusan T. Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : RUSDHY  
Nim : 9712039  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : T. Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbing tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/I selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai tanggal :

27 Februari 2007 s/d 27 Agustus 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan terima kasih.



Ketua Jurusan  
Teknik Elektro S-1

*Fy*  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-114/I.TA/2/07  
Lampiran : -  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Malang, 01 Maret 2007

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. EKO NURCAHYO**  
Dosen Pembimbing  
Jurusan T. Elektro S-1  
di  
Malang

Dengan hormat  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi untuk mahasiswa :

Nama : RUSDHY  
Nim : 9712039  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : T. Energi Listrik

Maka dengan ini pembimbing tersebut kami serahkan sepenuhnya kepada Saudara/I selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai tanggal :

27 Februari 2007 s/d 27 Agustus 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik,  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
Demikian atas perhatian serta kerjasamanya yang baik kami sampaikan terima kasih.



Kepada Jurusan  
Teknik Elektro S-1  
Ir. F. Yudi Limpraptono, MT *fy*  
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form S-4a

**Data Beban Trafo Pada G.I. Rungkut**

No Bus	Beban Trafo (kVA)
1	0
2	370.649
3	910.687
4	595.808
5	1735.464
6	1395.992
7	0
8	1553.6049
9	0
10	519.60
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	2259.378
18	593.5650
19	783.2950
20	0
21	2897.209
22	0
23	2370.779
24	1013.100
25	6787.144
26	4149.600
27	0
28	0
29	433.432
30	129.36
31	0
32	0
33	0
34	0
35	51.999
36	25.1111
37	34.820
38	0
39	0
40	964.33
41	0
42	358.5768
43	0
44	4147.002
45	3439.543
46	1194.09

**Data Pembebanan G.I. Rungkut**

No Bus	Pembebanan		Type Bus
	P (Kw)	Q(Kvar)	
1	0	0	Slack
2	296.519	222.389	Load
3	728.549	546.412	Load
4	476.646	357.485	Load
5	1388.371	1041.279	Load
6	1116.793	837.595	Load
7	0	0	Load
8	1242.884	932.162	Load
9	0	0	Load
10	415.68	311.761	Load
11	0	0	Load
12	0	0	Slack
13	0	0	Load
14	0	0	Load
15	0	0	Load
16	0	0	Load
17	1807.502	1355.626	Load
18	474.852	356.139	Load
19	626.638	469.977	Load
20	0	0	Load
21	2317.167	1737.875	Load
22	0	0	Load
23	1896.623	1422.467	Load
24	810.451	607.838	Load
25	5414.149	4060.612	Load
26	3319.687	2489.84	Load
27	0	0	Load
28	0	0	Load
29	346.74	260.055	Slack
30	103.048	77.286	Load
31	0	0	Load
32	0	0	Load
33	0	0	Load
34	0	0	Load
35	41.715	31.332	Load
36	20.888	15.666	Load
37	27.85	20.887	Load
38	0	0	Load
39	0	0	Load
40	771.46	578.595	Load
41	0	0	Load
42	286.861	215.146	Load
43	0	0	Load
44	3317.001	2487.751	Load
45	2751.634	2063.726	Load
46	955.273	716.457	Load

### Data Impedansi Saluran G.I. Rungkut

Saluran	Dari Node	Ke Node	Panjang (Km)	Impedansi Saluran	
				R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )
1	1	2	0,6225	0.1345	0.2057
2	2	7	0,0943	0.0253	0.0318
3	2	3	0.4338	0.0937	0.1433
4	3	8	1.0186	0.2737	0.3438
5	3	9	0.3207	0.0862	0.1082
6	3	4	0.9526	0.2059	0.3148
7	4	10	0.962	0.2585	0.3247
8	4	5	2.1881	0.473	0.7231
9	5	11	0.1886	0.0506	0.0636
10	5	12	0.0755	0.0202	0.0254
11	5	6	2.6691	0.577	0.8821
12	1	13	0.2746	0.0593	0.0907
13	13	21	1.0445	0.2807	0.3526
14	13	14	0.1184	0.0255	0.0391
15	14	22	0.0700	0.0183	0.0236
16	14	15	0.1238	0.0267	0.0409
17	15	23	0.4684	0.1259	0.1581
18	15	16	0.0431	0.0931	0.0142
19	16	24	0.1777	0.0477	0.0599
20	24	25	0.9529	0.2561	0.3216
21	16	17	0.4146	0.0896	0.137
22	17	26	0.7645	0.2054	0.258
23	17	18	0.1184	0.0255	0.0391
24	18	27	0.0485	0.013	0.0163
25	18	28	0.0485	0.013	0.0163
26	18	19	0.3661	0.0791	0.1235
27	19	29	0.0538	0.0144	0.0181
28	19	20	0.1615	0.0349	0.0533
29	1	30	0.4502	0.0973	0.1487
30	30	39	0.0048	0.0129	0.0162
31	30	31	0.0718	0.0155	0.0237
32	31	40	0.5029	0.1351	0.1697
33	31	32	0.2347	0.0507	0.0775
34	32	41	0.0239	0.0642	0.0806
35	32	33	0.091	0.0156	0.03
36	33	42	0.0239	0.0642	0.0806
37	33	34	0.0192	0.0415	0.0634
38	34	43	0.0144	0.0387	0.0486
39	34	35	0.1437	0.031	0.0474
40	35	44	0.8573	0.2304	0.2894
41	35	36	0.091	0.0196	0.03
42	36	45	0.5268	0.1416	0.1778
43	36	37	0.1676	0.0362	0.0553
44	37	46	0.7088	0.1905	0.2392
45	37	38	0.0623	0.0134	0.0205
46	7	22	0.1443	0.0387	0.0487
47	9	26	0.3707	0.0996	0.1251
48	21	39	1.0945	0.2942	0.3695
49	20	46	0.7588	0.2039	0.2561

No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus	Jarak (km)	Impedansi (pu) P. Tenggiis		
1	1	2	0,6225	0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187	0,1834 +j 0,5388
				0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866	0,1834 +j 0,6882
				0,1834 +j 0,5388	0,1834 +j 0,6882	0,7190 +j 1,6553
2	2	7	0,0943	0,1108 +j 0,2404	0,0288 +j 0,0937	0,0278 +j 0,0816
				0,0288 +j 0,0937	0,1108 +j 0,2404	0,0278 +j 0,1043
				0,0278 +j 0,0816	0,0278 +j 0,1043	0,1089 +j 0,2508
3	2	3	0,4338	0,5096 +j 1,1058	0,1323 +j 0,4312	0,1279 +j 0,3755
				0,3123 +j 0,4312	0,5096 +j 1,1058	0,1279 +j 0,4796
				0,1279 +j 0,3755	0,1279 +j 0,4796	0,5011 +j 1,1537
4	3	8	1,0186	1,1965 +j 2,5963	0,3106 +j 1,1024	0,3002 +j 0,8816
				0,3106 +j 1,0124	1,1965 +j 2,5963	0,3002 +j 1,1261
				0,3002 +j 0,8816	0,3002 +j 1,1261	1,1766 +j 2,7087
5	3	9	0,3207	0,3767 +j 0,8173	0,0978 +j 0,3187	0,1898 +j 0,6187
				0,0978 +j 0,3187	0,3767 +j 0,8173	0,1834 +j 0,6882
				0,0945 +j 0,2776	0 0945 +j 0,3545	0,5096 +j 1,1058
6	3	4	0,9526	0,0278 +j 0,0816	0,3106 +j 1,1024	0,7312 +j 1,5866
				0,0278 +j 0,1043	1,1965 +j 2,5963	0,1898 +j 0,6187
				0,1089 +j 0,2508	0,3002 +j 1,1261	0,1834 +j 0,5388
7	4	10	0,9620	0,1323 +j 0,4312	1,1965 +j 2,5963	0,0278 +j 0,0816
				0,5096 +j 1,1058	0,3106 +j 1,0124	0,0278 +j 0,1043
				0,1279 +j 0,4796	0,3002 +j 0,8816	0,1089 +j 0,2508
8	4	5	2,1881	0,3767 +j 0,8173	0,1323 +j 0,4312	0,1898 +j 0,6187
				0,0978 +j 0,3187	0,5096 +j 1,1058	0,7312 +j 1,5866
				0,0945 +j 0,2776	0,1279 +j 0,4796	0,1834 +j 0,6882
9	5	11	0,1886	0,5096 +j 1,1058	0,0288 +j 0,0937	0,1279 +j 0,3755
				0,3123 +j 0,4312	0,1108 +j 0,2404	0,1279 +j 0,4796
				0,1279 +j 0,3755	0,0278 +j 0,1043	0,5011 +j 1,1537
10	5	12	0,0755	0,3002 +j 0,8816	0,1108 +j 0,2404	0,1898 +j 0,6187
				0,3002 +j 1,1261	0,0288 +j 0,0937	0,7312 +j 1,5866
				1,1766 +j 2,7087	0,0278 +j 0,0816	0,1834 +j 0,6882
11	5	6	2,6691	1,1965 +j 2,5963	1,1766 +j 2,7087	0,3106 +j 1,1024
				0,3106 +j 1,0124	0,3002 +j 0,8816	1,1965 +j 2,5963
				0,3002 +j 0,8816	0,3002 +j 1,1261	0,3002 +j 1,1261

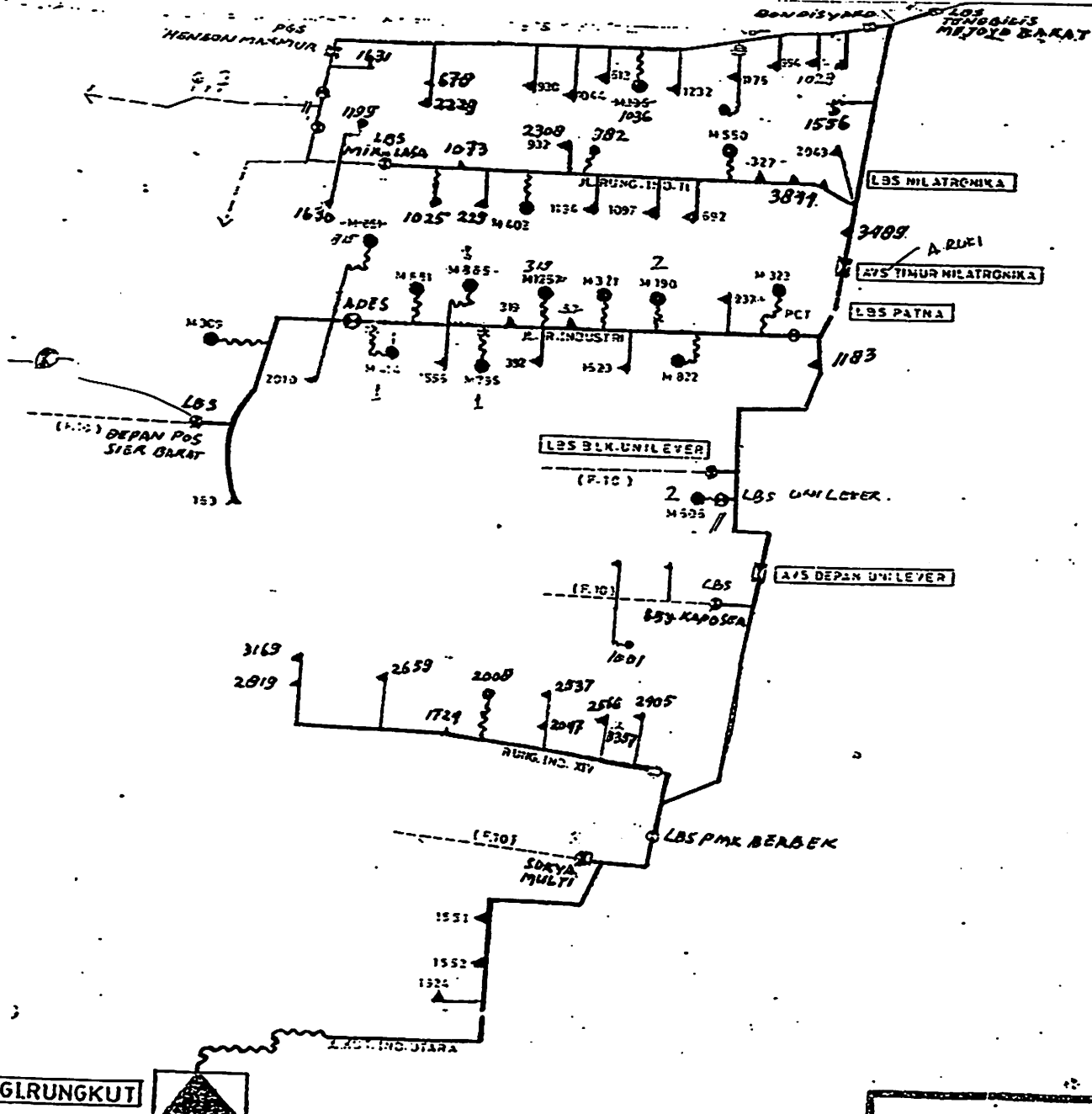
Laporan Data Impedansi P. Suik

No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus	Jarak (km)	Impedansi (pu) P. Suik		
12	1	13	0,2746	0,3225 +j0,6999	0,0837 +j0,2729	0,0809 +j0,2377
				0,0837 +j0,2729	0,3225 +j0,6999	0,0809 +j0,3036
				0,0809 +j0,2377	0,0809 +j0,3036	0,3172 +j0,7302
13	13	21	1,0445	1,2269 +j2,6622	0,3185 +j1,0381	0,3078 +j0,9040
				0,3185 +j1,0381	1,2269 +j2,6622	0,3078 +j1,1547
				0,3078 +j0,9040	0,3078 +j1,1547	1,2065 +j2,7775
14	13	14	0,1184	0,1391 +j0,3019	0,0361 +j0,1177	0,0349 +j0,1025
				0,0361 +j0,1177	0,1391 +j0,3019	0,0349 +j0,1309
				0,0349 +j0,1025	0,0349 +j0,1309	0,1268 +j0,3150
15	14	22	0,0700	0,0822 +j0,1784	0,0213 +j0,0696	0,0206 +j0,0806
				0,0213 +j0,0696	0,0822 +j0,1784	0,0206 +j0,0774
				0,0206 +j0,0606	0,0206 +j0,0774	0,0808 +j0,1861
16	14	15	0,1238	0,1455 +j0,3156	0,0378 +j0,1231	0,0365 +j0,1072
				0,0378 +j0,1231	0,1455 +j0,3156	0,0365 +j0,1369
				0,0365 +j0,1072	0,0365 +j0,1369	0,1430 +j0,3293
17	15	23	0,4684	0,3002 +j 0,8816	0,7312 +j 1,5866	0,0278 +j 0,0816
				0,3002 +j 1,1261	0,1898 +j 0,6187	0,0278 +j 0,1043
				1,1766 +j 2,7087	0,1834 +j 0,5388	0,1089 +j 0,2508
18	15	16	0,0431	0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187
				0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866
				0,1834 +j 0,6882	0,1834 +j 0,5388	0,1834 +j 0,6882
19	16	24	0,1777	0,1279 +j 0,3755	1,2269 +j2,6622	0,0278 +j 0,0816
				0,1279 +j 0,4796	0,3185 +j1,0381	0,0278 +j 0,1043
				0,5011 +j 1,1537	0,3078 +j0,9040	0,1089 +j 0,2508
20	24	25	0,9529	0,1898 +j 0,6187	0,3106 +j 1,1024	0,1279 +j 0,3755
				0,7312 +j 1,5866	1,1965 +j 2,5963	0,1279 +j 0,4796
				0,1834 +j 0,6882	0,3002 +j 1,1261	0,5011 +j 1,1537
21	16	17	0,4146	0,3106 +j 1,1024	0,0978 +j 0,3187	0,1455 +j0,3156
				1,1965 +j 2,5963	0,3767 +j 0,8173	0,0378 +j0,1231
				0,3002 +j 1,1261	0,0945 +j 0,3545	0,0365 +j0,1072
22	17	26	0,7645	0,5096 +j 1,1058	0,3106 +j 1,1024	0,3002 +j 0,8816
				0,3123 +j 0,4312	1,1965 +j 2,5963	0,3002 +j 1,1261
				0,1279 +j 0,3755	0,3002 +j 1,1261	1,1766 +j 2,7087
23	17	18	0,1184	0,3002 +j 0,8816	1,1965 +j 2,5963	0,1279 +j 0,3755
				0,3002 +j 1,1261	0,3106 +j 1,0124	0,1279 +j 0,4796
				1,1766 +j 2,7087	0,3002 +j 0,8816	0,5011 +j 1,1537
24	18	27	0,0485	1,1965 +j 2,5963	0,1323 +j 0,4312	0,5096 +j 1,1058
				0,3106 +j 1,0124	0,5096 +j 1,1058	0,3123 +j 0,4312
				0,3002 +j 0,8816	0,1279 +j 0,4796	0,1279 +j 0,3755
25	18	28	0,0485	1,1766 +j 2,7087	0,0288 +j 0,0937	1,1965 +j 2,5963
				0,3002 +j 0,8816	0,1108 +j 0,2404	0,3106 +j 1,0124
				0,3002 +j 1,1261	0,0278 +j 0,1043	0,3002 +j 0,8816
26	18	19	0,3661	0,3106 +j 1,1024	0,1108 +j 0,2404	0,3767 +j 0,8173
				1,1965 +j 2,5963	0,0288 +j 0,0937	0,0978 +j 0,3187
				0,3002 +j 1,1261	0,0278 +j 0,0816	0,0945 +j 0,2776
27	19	29	0,0538	0,1898 +j 0,6187	1,1766 +j 2,7087	0,0978 +j 0,3187
				0,7312 +j 1,5866	0,3002 +j 0,8816	0,3767 +j 0,8173
				0,1834 +j 0,6882	0,3002 +j 1,1261	0,0945 +j 0,3545
28	19	20	0,1615	0,1108 +j 0,2404	0,1834 +j 0,5388	0,1898 +j 0,6187
				0,0288 +j 0,0937	0,1834 +j 0,6882	0,7312 +j 1,5866
				0,0278 +j 0,0816	0,7190 +j 1,8553	0,1834 +j 0,6882



Laporan Data Impedansi P. Indomie

No. Saluran	Dari Bus	Ke Bus	Jarak (km)	Impedansi (pu) P. Indomie		
29	1	30	0,4502	0,5096 +j 1,1058	0,1323 +j 0,4312	0,1279 +j 0,3755
				0,3123 +j 0,4312	0,5096 +j 1,1058	0,1279 +j 0,4796
				0,1279 +j 0,3755	0,1279 +j 0,4796	0,5011 +j 1,1537
30	30	39	0,0048	1,1965 +j 2,5963	0,3106 +j 1,1024	0,3002 +j 0,8816
				0,3106 +j 1,0124	1,1965 +j 2,5963	0,3002 +j 1,1261
				0,3002 +j 0,8816	0,3002 +j 1,1261	1,1766 +j 2,7087
31	30	31	0,0718	0,3767 +j 0,8173	0,0978 +j 0,3187	0,1898 +j 0,6187
				0,0978 +j 0,3187	0,3767 +j 0,8173	0,1834 +j 0,6882
				0,0945 +j 0,2776	0,0945 +j 0,3545	0,5096 +j 1,1058
32	31	40	0,5029	0,3002 +j 0,8816	0,7312 +j 1,5866	0,0278 +j 0,0816
				0,3002 +j 1,1261	0,1898 +j 0,6187	0,0278 +j 0,1043
				1,1766 +j 2,7087	0,1834 +j 0,5388	0,1089 +j 0,2508
33	31	32	0,2347	0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187
				0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866
				0,1834 +j 0,6882	0,1834 +j 0,5388	0,1834 +j 0,6882
34	32	41	0,0239	0,3225 +j 0,6999	0,0837 +j 0,2729	0,0809 +j 0,2377
				0,0837 +j 0,2729	0,3225 +j 0,6999	0,0809 +j 0,3036
				0,0809 +j 0,2377	0,0809 +j 0,3036	0,3172 +j 0,7302
35	32	33	0,0910	0,1391 +j 0,3019	0,0361 +j 0,1177	0,0349 +j 0,1025
				0,0361 +j 0,1177	0,1391 +j 0,3019	0,0349 +j 0,1309
				0,0349 +j 0,1025	0,0349 +j 0,1309	0,1368 +j 0,3150
36	33	42	0,0239	0,1898 +j 0,6187	0,3106 +j 1,1024	0,1279 +j 0,3755
				0,7312 +j 1,5866	1,1965 +j 2,5963	0,1279 +j 0,4796
				0,1834 +j 0,6882	0,3002 +j 1,1261	0,5011 +j 1,1537
37	33	34	0,0192	0,5096 +j 1,1058	0,3106 +j 1,1024	0,3002 +j 0,8816
				0,3123 +j 0,4312	1,1965 +j 2,5963	0,3002 +j 1,1261
				0,1279 +j 0,3755	0,3002 +j 1,1261	1,1766 +j 2,7087
38	34	43	0,0144	0,3106 +j 1,1024	0,1108 +j 0,2404	0,3767 +j 0,8173
				1,1965 +j 2,5963	0,0288 +j 0,0937	0,0978 +j 0,3187
				0,3002 +j 1,1261	0,0278 +j 0,0816	0,0945 +j 0,2776
39	34	35	0,1437	0,1108 +j 0,2404	0,1834 +j 0,5388	0,1898 +j 0,6187
				0,0288 +j 0,0937	0,1834 +j 0,6882	0,7312 +j 1,5866
				0,0278 +j 0,0816	0,7190 +j 1,6553	0,1834 +j 0,6882
40	35	44	0,8573	0,1898 +j 0,6187	1,1766 +j 2,7087	0,0978 +j 0,3187
				0,7312 +j 1,5866	0,3002 +j 0,8816	0,3767 +j 0,8173
				0,1834 +j 0,6882	0,3002 +j 1,1261	0,0945 +j 0,3545
41	35	36	0,0910	0,1108 +j 0,2404	0,1834 +j 0,5388	0,1898 +j 0,6187
				0,0288 +j 0,0937	0,1834 +j 0,6882	0,7312 +j 1,5866
				0,0278 +j 0,0816	0,7190 +j 1,6553	0,1834 +j 0,6882
42	36	45	0,5268	0,3002 +j 0,8816	0,1108 +j 0,2404	0,1898 +j 0,6187
				0,3002 +j 1,1261	0,0288 +j 0,0937	0,7312 +j 1,5866
				1,1766 +j 2,7087	0,0278 +j 0,0816	0,1834 +j 0,6882
43	36	37	0,1676	1,1965 +j 2,5963	1,1766 +j 2,7087	0,3106 +j 1,1024
				0,3106 +j 1,0124	0,3002 +j 0,8816	1,1965 +j 2,5963
				0,3002 +j 0,8816	0,3002 +j 1,1261	0,3002 +j 1,1261
44	37	46	0,7088	0,7312 +j 1,5866	0,1898 +j 0,6187	0,1834 +j 0,5388
				0,1898 +j 0,6187	0,7312 +j 1,5866	0,1834 +j 0,6882
				0,1834 +j 0,5388	0,1834 +j 0,6882	0,7190 +j 1,6553
45	37	38	0,0623	0,1108 +j 0,2404	0,0288 +j 0,0937	0,0278 +j 0,0816
				0,0288 +j 0,0937	0,1108 +j 0,2404	0,0278 +j 0,1043
				0,0278 +j 0,0816	0,0278 +j 0,1043	0,1089 +j 0,2508



GLRUNGKUT



Indomie

SUKI

GIRUNGKUI



SARAWALIT  
LAWALIP (F.9)

PIAM  
P. II TENAGILIS

LOS KUMBARSEL

LOS P. II TENAGILIS

KANOSER  
AL. RUMUNGKUI IND. III

2871  
DUMAKTU  
RUMUNGKUI IND. II

2875  
RUMUNGKUI IND. II

2876  
RUMUNGKUI IND. II

2877  
RUMUNGKUI IND. II

2878  
RUMUNGKUI IND. II

2879  
RUMUNGKUI IND. II

2880  
RUMUNGKUI IND. II

2881  
RUMUNGKUI IND. II

2882  
RUMUNGKUI IND. II

2883  
RUMUNGKUI IND. II

2884  
RUMUNGKUI IND. II

2885  
RUMUNGKUI IND. II

2886  
RUMUNGKUI IND. II

2887  
RUMUNGKUI IND. II

2888  
RUMUNGKUI IND. II

2889  
RUMUNGKUI IND. II

2890  
RUMUNGKUI IND. II

2891  
RUMUNGKUI IND. II

2892  
RUMUNGKUI IND. II

2893  
RUMUNGKUI IND. II

2894  
RUMUNGKUI IND. II

2895  
RUMUNGKUI IND. II

2896  
RUMUNGKUI IND. II

2522

1248

1605

1011

992

714

2202

2816

1023

2777

2822

352

1710

2230

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

AL. RUMUNGKUI IND. IX

LOS BLK TRAKINDO

LOS SEL LOS BANAI

LOS W. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

P. II TENAGILIS

LOS W. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

LOS D. P. II TENAGILIS

NESTANIDA

BONDISYARD





Data Pembangunan Temporal

No. Subarea	1970			1975			1980			1985			1990			1995		
	RUMAH	SUKSES	TRAWA	RUMAH	SUKSES	TRAWA	RUMAH	SUKSES	TRAWA	RUMAH	SUKSES	TRAWA	RUMAH	SUKSES	TRAWA	RUMAH	SUKSES	TRAWA
1	1740	74284	68327	84283	83094	81732	52390	57046	50328	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103
	1023	51779	54058	48485	52785	52071	70088	71728	71079	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103
	3703	78158	73408	72422	70589	70301	77023	76072	75090	100117	103116	107730	75180	74437	74130	71592	74301	71592
	472	74380	72083	69192	68348	68346	70676	71728	72076	103020	105308	102001	76100	75180	74022	103740	91440	102760
2	1035	64534	61103	61000	61334	65786	67842	66546	64534	64534	65714	64522	62382	60980	61313	60451	64592	62061
	1035	65126	62141	60900	61334	65786	67842	66546	64534	64534	65714	64522	62382	60980	61313	60451	64592	62061
	2401	62742	58081	63817	60300	122262	64332	60772	61120	103077	107730	103077	80371	56117	57038	87000	88279	143004
	2524	58158	54489	58288	59071	100047	58289	57046	50328	100458	98417	98070	57158	54483	54117	102001	51440	120028
7	1957	60948	58788	60282	60084	63422	60008	58008	58250	60084	60371	60025	60589	58180	58180	53440	58451	60451
	1482	64534	62594	63057	74308	75064	67132	65306	65072	70672	69018	68365	68016	63730	64777	78075	54070	68103
	1152	64534	62594	63057	74308	75064	67132	65306	65072	70672	69018	68365	68016	63730	64777	78075	54070	68103
	55	53571	48158	50010	52345	71087	58289	57046	50328	60084	60371	60025	60589	58180	58180	53440	58451	60451
3	2042	63040	62225	63792	62073	103346	67132	65306	65072	107384	103077	103077	103077	103077	103077	113108	81448	113108
	2042	63040	62225	63792	62073	103346	67132	65306	65072	107384	103077	103077	103077	103077	103077	113108	81448	113108
	2042	63040	62225	63792	62073	103346	67132	65306	65072	107384	103077	103077	103077	103077	103077	113108	81448	113108
	2042	63040	62225	63792	62073	103346	67132	65306	65072	107384	103077	103077	103077	103077	103077	113108	81448	113108
4	2811	111542	108840	108274	108094	123013	52390	57046	50328	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103
	1828	73230	68504	71855	71072	103415	70088	71728	71079	102304	108077	108077	102304	108077	108077	102304	108077	108077
	3002	64534	61928	61900	63243	63210	60088	58289	58250	60084	60371	60025	60589	58180	58180	53440	58451	60451
	155	68120	63100	63100	63422	63094	64332	60772	61120	103077	107730	103077	80371	56117	57038	87000	88279	143004
5	2203	62742	58081	63817	60300	122262	64332	60772	61120	103077	107730	103077	80371	56117	57038	87000	88279	143004
	1023	51779	54058	48485	52785	52071	70088	71728	71079	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103
	1023	51779	54058	48485	52785	52071	70088	71728	71079	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103
	1023	51779	54058	48485	52785	52071	70088	71728	71079	88000	85214	84006	80280	87204	87348	87448	88011	84103





**TABEL**  
**Penghantar AAAC**

Penampang nominal (mm <sup>2</sup> )	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ω/km)	Impedansi urutan nol (Ω/km)
16	2.2563	7	1.6380	2.0161 + j0.4036	2.1641 + j1.6911
25	2.8203	7	2.0475	1.2903 + j0.3895	1.4384 + j1.6770
35	3.3371	7	2.4227	0.9217 + j0.3790	1.0697 + j1.6665
50	3.9886	7	2.8957	0.6452 + j0.3678	0.7932 + j1.6553
70	4.7193	7	3.4262	0.4608 + j0.3572	0.6088 + j1.6447
95	5.4979	19	4.1674	0.3396 + j0.3449	0.4876 + j1.6324
120	6.1791	19	4.6837	0.2688 + j0.3376	0.4168 + j1.6251
150	6.9084	19	5.2365	0.2162 + j0.3305	0.3631 + j1.6180
185	7.6722	19	5.8155	0.1744 + j0.3239	0.3224 + j1.6114
240	8.7386	19	6.6238	0.1344 + j0.3158	0.2824 + j1.6033

**TABEL**  
**KHA Penghantar Campuran Aluminium Telanjang (AAAC)**

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Terus-menerus (A)
16	105
25	135
35	170
50 (7 kawat)	210
50 (19 kawat)	210
70	255
95	320
120	365
150	425
185	490
240	585
300	670
400	810
500	930
630	1075
800	1255
1000	1450