

# **SKRIPSI**

## **REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI UNTUK MENGATASI BEBAN LEBIH DAN MEMINIMALKAN RUGI – RUGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI TENGGAWANG SAMARINDA**



*Disusun oleh :*

**ARYAN BUDI SAPUTRA**

**NIM : 1212030**

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

**2016**

REKONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI UNTUK MENGATASI BEBAN LEBIH  
DAN MEMINIMALKAN RUGI – RUGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI  
TENGGAWANG SAMARINDA

ARYAN BUDI SAPUTRA, NIM : 1212030

[aryan\\_saputrabudi@yahoo.co.id](mailto:aryan_saputrabudi@yahoo.co.id)

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT dan  
Ir. Eko Nurcahyo, MT

*Abstrak*

Dalam penyaluran tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan, maka sistem mengalami kenaikan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang cukup besar yang mengakibatkan rendahnya kinerja sistem tersebut . Untuk meningkatkan profil tegangan dan menurunkan rugi-rugi daya tersebut, maka penelitian ini membahas modifikasi sistem distribusi dengan metode rekonfigurasi. Dengan melakukan rekonfigurasi akan dapat mengatasi rugi daya sekaligus memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi 20 kV sehingga dapat meningkatkan kualitas penyaluran daya listrik. Metode rekonfigurasi dilakukan dengan bantuan *Software Electrical Transient Analisis Program (ETAP) 12.6.0* dan telah diuji pada sistem distribusi 20 kV PT. PLN Tengkwang Samarinda. Setelah dilakukan rekonfigurasi diperoleh peningkatan profil tegangan hingga berada pada margin yang diinginkan, serta dapat mengurangi rugi – rugi daya dari keadaan eksisting 164.2 kW menjadi 153.1 kW.

Kata Kunci : *Sistem Distribusi, Rekonfigurasi, Profil Tegangan, Rugi – rugi daya, Beban Lebih.*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>ABSTRAKSI</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	x
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Prosedur penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II    KAJIAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2.3 Jaringan Distribusi Radial .....	7
2.4 Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup.....	8
2.5 Sistem Jaringan Distribusi Spindel .....	8
2.5.1 Sistem Radial Pohon .....	9
2.5.2 Sistem Radial dengan Tie Switch Penghubung .....	9
2.6 Analisa Aliran Daya.....	9
2.7 Pendekatan Studi Aliran Daya .....	10
2.8 Sistem Per-Unit .....	10

2.9	Klasifikasi Bus .....	11
2.9.1	Bus Beban atau Load Bus .....	12
2.9.2	Bus generator .....	12
2.9.3	Bus Referensi ( Slack Bus ) .....	12
2.10	Metode Newton Raphson.....	13
2.11	Metode Rekonfigurasi Jaringan .....	15
2.12	Formulasi Masalah Rekonfigurasi .....	16
2.13	Rugi – rugi daya.....	18
2.13.1	Meminimalkan Rugi Daya Pada sistem Distribusi .....	19
2.14	Jatuh Tegangan ( Voltage Drop ).....	20
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1.	Software <i>ETAP Power Station</i> .....	21
3.2.	Rekonfigurasi Jaringan .....	23
3.2.	Algoritma simulasi <i>Program Etap Power Station</i> .....	23
3.3.	<i>Flowchart</i> Penyelesaian Masalah.....	25
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS HASIL .....</b>	<b>26</b>
4.1.	Profil di G.I Tengkwang Samarinda .....	26
4.2.	Data Umum pada Trafo G.I Tengkwang.....	27
4.2.1	Data Saluran Pada PLN. Tengkwang Samarinda.....	27
4.3	Pemodelan Single Line Diagram Sistem Kelistrikan PLN. Tengkwang Samarinda menggunakan <i>ETAP Power Simulation</i> .....	29
4.4	Simulasi Load Flow Menggunakan <i>Software ETAP Power Station</i> Pada Kondisi <i>Base Case</i> Sebelum Rekonfigurasi.....	30
4.4.1	Hasil Tegangan Tiap Bus Kondisi Base Case Sebelum Rekonfigurasi .....	32
4.4.2	Hasil Profil Tegangan Tiap Bus Kondisi Base Case Sebelum Rekonfigurasi .....	30
4.5	Hasil Losses Sebelum Rekonfigurasi.....	32

4.6	Hasil Penentuan Sistem Rekonfigurasi .....	33
4.7	Kondisi Load Flow pada Single Line Tengkwang Samarinda .....	35
4.7.1	Hasil Load Flow Setelah Dilakukan Rekonfigurasi.....	36
4.7.2	Hasil Tegangan Tiap Bus Sesudah Dilakukan Rekonfigurasi.....	38
4.8	Hasil Losses Sebelum Dan Sesudah Rekonfigurasi.....	39
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>40</b>
5.1.	Kesimpulan .....	40
5.2.	Saran.....	40

**REFERENSI**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Hal :
2. 1. Sistem Tenaga Listrik.....	5
2. 2. Struktur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik .....	7
2. 3. Sistem Jaringan Distribusi Jaringan Tertutup.....	8
2. 4. Sistem Jaringan Spindel .....	8
2. 5. Skematik Tipe NC dan NO Switch .....	16
3. 1 Tampilan progam <i>ETAP Power Station</i> .....	23
3. 2. <i>flowchart</i> Rekonfigurasi Algoritma.....	24
4. 1. <i>Single Line Diagram</i> PLN.Tengkawang Samarinda .....	25
4. 2. Gambar Simulasi Single Line Tengkawang Samarinda Pada Software ETAP 12.6.0 Power Simulation.....	28
4. 3. Simulasi Sesudah Dijalankan Dengan Load Flow Kondisi Base Case .....	29
4. 4. Gambar Penentuan Simulasi Rekonfigurasi_1 .....	32
4. 5. Gambar Penentuan Simulasi Rekonfigurasi_2.....	32
4. 6. Gambar Load Flow Setelah Rekonfigurasi Pada Program ETAP.....	34

## **DAFTAR TABEL**

Tabel	Hal :
4. 1. Data Umum Pada Trafo G.I Tengawang samarinda.....	27
4. 2 Data Saluran pada Simulasi .....	27
4. 3. Hasil Tegangan Tiap Bus Sebelum Dilakukan Rekonfigurasi .....	29
4. 5. Hasil Penentuan Sistem Rekonfigurasi .....	31
4. 6 Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Rekonfigurasi .....	34

## DAFTAR GRAFIK

Grafik	Hal :
4. 1. Grafik Hasil Tegangan Tiap Bus Kondisi <i>Base Case</i> .....	30
4. 2 Grafik Rugi – Rugi Hasil <i>Load Flow</i> Dalam Kondisi <i>Base Case</i> .....	31
4. 3. Grafik Hasil Penentuan Sistem Rekonfigurasi .....	33
4. 4. Grafik Tegangan Tiap Bus Kondisi Sesudah Rekonfigurasi.....	35
4. 5. Grafik Ploss Total Sebelum Dan Sesudah Rekonfigurasi .....	37



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkiraan kebutuhan tenaga listrik dihitung berdasarkan besarnya aktivitas dan intensitas penggunaan tenaga listrik yang semakin bertambah. Aktivitas penggunaan tenaga listrik berkaitan dengan tingkat perekonomian dan jumlah penduduk. Dalam penyaluran tenaga listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan selalu mengalami terjadinya kerugian berupa rugi-rugi daya dan rugi tegangan[1]. Besarnya rugi-rugi daya dan rugi tegangan pada saluran distribusi tergantung pada jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya, dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif[2].

Pada operasi sistem distribusi, sering terdapat *feeder-feeder* yang mengalami beban berat. *Feeder* dengan beban berat tersebut akan meningkatkan rugi-rugi daya nyata serta melanggar standar PLN yaitu *drop* tegangan yang diijinkan tidak melebihi 5%[2]. Untuk mencegah kondisi tersebut, dilakukan upaya merekonfigurasi ulang jaring distribusi yaitu dengan mengubah status terbuka/tertutup pada saklar - saklar penyulang (*feederswitches*) sehingga terjadi perpindahan beban dari *feeder* yang mengalami beban berat menuju *feeder* yang memiliki beban lebih ringan[1]. Dengan demikian akan terbentuk keseimbangan beban di antara semua feeder dan aliran daya pada sistem distribusi mengalami pemerataan. Objek sepenuhnya dioperasikan dengan strategi pengontrolan open-closed dari switch-switch yang terletak pada penyulang. Banyaknya alternatif rekonfigurasi sistem baru yang mungkin dibuat, akan menyulitkan operator menentukan pilihan konfigurasi yang tepat[3].

Keadaan tersebut kalau dibiarkan terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan serta menyebabkan kerusakan alat-alat yang bersangkutan[3]. Untuk itu diperlukan suatu tindakan yaitu memperbaiki profil tegangan[4].

Penelitian ini membahas metode rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu dengan mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup *switch* yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dan sekaligus meningkatkan profil tegangan sistem distribusi sehingga efisiensi daya listrik yang disalurkan meningkat dan konsumen dapat dilayani dengan baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari Latar Belakang diatas Maka dapat diperoleh beberapa rumusan masalah di antaranya :

1. Bagaimana menentukan rekonfigurasi jaringan untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi rugi – rugi daya ?
2. Bagaimana menentukan berapa besar profil tegangan dapat ditingkatkan dan berapa rugi – rugi daya asal dapat direduksi ?

## 1.3 Tujuan

1. Menentukan rekonfigurasi jaringan untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi rugi – rugi daya.
2. Menentukan peningkatan profil tegangan dan mengatasi beban lebih pada jaringan distribusi.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Mekanisme batas penyaluran tegangan distribusi yang khusus dilayani dari Pusat Gardu Induk ke beban Tengawang Samarinda.
2. Menghitung besarnya jatuh tegangan dan juga rugi-rugi daya pada jaringan distribusi berdasarkan panjang maupun diameter suatu penghantar. Sehingga perhitungan tersebut dapat menjadi acuan untuk memperoleh nilai faktor daya yang optimal.
3. Studi aliran daya menggunakan *Load Flow* untuk menentukan besarnya rugi-rugi daya pada sistem.

## 1.5 Prosedur

Prosedur yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian literatur

Kajian literatur yaitu kajian pustaka untuk mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang ada, yang berhubungan dengan permasalahan. Studi literatur yang digunakan meliputi buku, jurnal ilmiah, beberapa user manual peralatan dan dari nara sumber yang kompeten.

2. Pengumpulan data diambil dari jenis beban yang dilayani Gardu Induk (GI) yang digunakan PT. PLN Tengkwang Samarinda.
3. Menganalisa data – data yang telah di kumpulkan pada Gardu Induk (GI) yang digunakan PT. Tengkwang yang telah dianalisa. Selain itu diberikan juga saran atau rekomendasi terkait dengan hal yang telah di analisis.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penyusunan skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut :

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini penulis menguraikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah.

### **BAB II : LANDASAN TEORI**

Pada bab ini pembahasan jenis beban, profil tegangan, perbaikan faktor daya, jatuh tegangan atau drop tegangan, dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah.

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan langkah – langkah penelitian rekonfigurasi jaringan untuk memperbaiki tegangan dan mengurangi rugi – rugi daya menggunakan optimum power flow.

### **BAB IV : HASIL DAN ANALISA HASIL**

Bab ini menjelaskan mengenai analisa, hasil dari rekonfigurasi peningkatan tegangan dan penurunan rugi –rugi daya yang telah direduksi .

### **BAB V : KESIMPULAN & SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

## BAB II

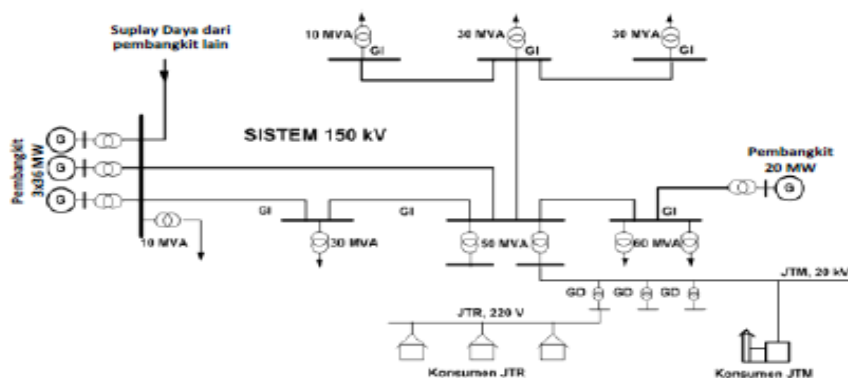
### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri dari komponen-komponen listrik seperti : generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban sistem yang merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem yang disebut sistem distribusi tenaga listrik[2].

Untuk keperluan penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, diperlukan berbagai peralatan listrik[2]. Berbagai peralatan listrik ini dihubungkan satu sama lain mempunyai interelasi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik disini adalah sekumpulan Pusat Listrik dan Gardu Induk (Pusat Beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi[4].

Tenaga listrik yang telah dihasilkan pada pusat listrik akan ditransmisikan ke beban melalui saluran transmisi. Sebelum ditransmisikan, tegangan dinaikkan menggunakan transformator penaik tegangan (*step-up*) pada pusat listrik. Tegangan tersebut dinaikkan kelevel tegangan tinggi (antara tegangan 70 kV sampai 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (diatas 150 kV). Saluran transmisi yang digunakan bisa berupa saluran udara maupun kabel tanah[4].



**Gambar 2-1**  
Sistem Tenaga Listrik

## Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada dasarnya sistem pembangkit dan sistem penyaluran tenaga listrik yang lengkap mengandung tiga unsur. Pertama, adanya unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik skala besar umumnya merupakan Tegangan Menengah (TM). Kedua, adalah sistem penyaluran, diantaranya saluran transmisi, yang dilengkapi dengan gardu induk. Karena jarak pengiriman yang cukup jauh dan besarnya daya yang dikirim maka diperlukan penggunaan Tegangan Tinggi (TT), atau Tegangan Ekstra Tinggi (TET). Saluran distribusi adalah saluran yang menghubungkan gardu induk dengan konsumen, terdiri atas saluran distribusi *primer* dengan Tegangan Menengah (TM) dan saluran distribusi *sekunder* dengan Tegangan Rendah (TR). Ketiga adalah saluran yang disebut instalasi pemanfaatan, yaitu saluran yang menghubungkan sumber tenaga listrik dengan peralatan pemanfaatan tenaga listrik[4] .

Berdasarkan dari masing – masing sub sistem dapat diperjelas sebagai berikut :

- a. Pembangkit berperan sebagai sumber daya tenaga listrik dan disebut juga sebagai produsen *energy*.
- b. Sistem transmisi berfungsi sebagai penyaluran daya listrik secara besar – besaran dari pembangkit ke bagian distribusi atau konsumen. Dilihat dari sistem transmisi sistem distribusi dapat dianggap sebagai beban sistem transmisi. Sistem distribusi berperan sebagai distribusi energi ke konsumen – konsumen yang membutuhkan energi tersebut.
- c. Sistem distribusi berperan sebagai distribusi energi ke konsumen – konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.

Pengklasifikasian sistem distribusi tenaga listrik menjadi dua yang berdasarkan tingkat tegangan distribusinya. Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat maupun sistem tiga fasa dengan empat kawat.

### 2.2 Strukur Jaringan Distribusi Tenaga Listrik<sup>[4]</sup>.

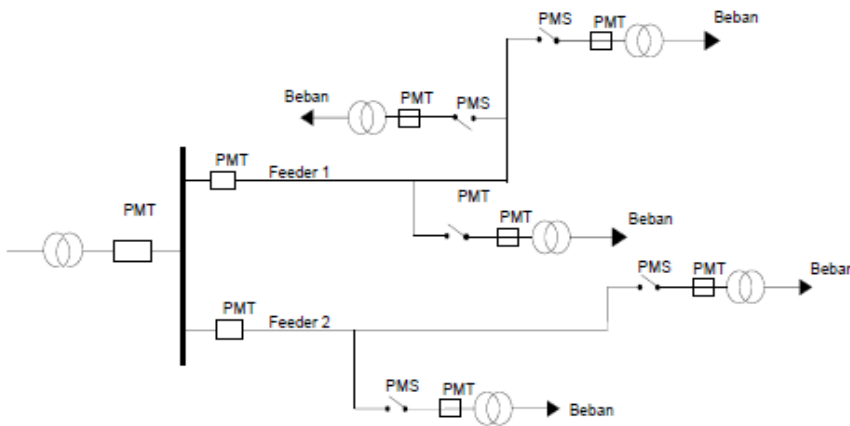
Ada beberapa bentuk Jaringan yang umum dipergunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik yaitu:

1. Struktur jaringan distribusi radial.
2. Struktur jaringan distribusi rangkaian tertutup.
3. Struktur jaringan jaringan ditribusi Spindel.

Batas maksimum pembebanan ditentukan oleh kemampuan hantaran arus dari saluran, kapasitas transformator dan jatuh tegangan maksimum yang diizinkan pada ujung saluran yang ditetapkan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) adalah 10% dan +5%. Berdasarkan konfigurasi saluran ada beberapa jenis saluran distribusi tegangan menengah yang digunakan, yaitu ; sistem saluran distribusi *radial*, sistem saluran distribusi *loop*, dan sistem saluran distribusi *spindel*.

### 2.3 Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan sistem ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan. Sistem disebut radial karena jaringan ini ditarik secara radial dari Gardu Induk ke pusat-pusat beban atau konsumen yang dilayani[3]. Sistem ini terdiri dari saluran utama dan saluran cabang seperti terlihat pada gambar 2.

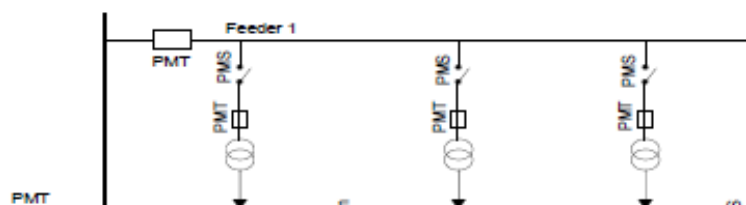


Gambar 2-2

Sistem Jaringan Distribusi Radial

### 2.4 Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup

Sistem jaringan ini disebut rangkaian tertutup karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian tertutup seperti terlihat pada gambar 3[4].

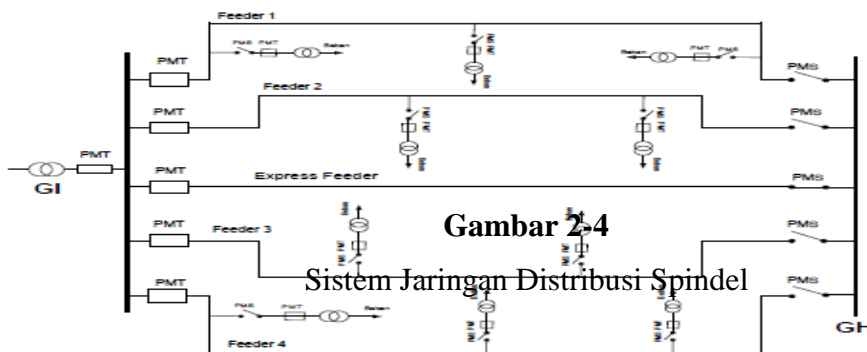


**Gambar 2-3**

Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup

## 2.5 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan radial dengan jaringan rangkaian terbuka (*open loop*). Titik beban memiliki kombinasi alternatif penyulang sehingga bila salah satu penyulang terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang lain[4]. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Bentuk sistem jaringan distribusi spindel dapat dilihat pada gambar 4.



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

### 2.5.1 Sistem Radial Pohon

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

### 2.5.2 Sistem Radial dengan *Tie Switch* Penghubung.

Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial, untuk meningkatkan keandalan sistem saat terjadinya gangguan maka feeder yang terganggu akan dilokalisasi

sedangkan area yang semula dilayani feeder tersebut pelayanannya dialihkan pada feeder yang sehat atau yang tidak terganggu.

Spesifikasi dari jaringan radial ini adalah :

1. Bentuk sederhana.
2. Biaya investasinya relatif murah.
3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi saluran relatif besar.
4. Konstinyuitas pelayanan dayanya tidak terjamin karena antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami *black out* secara total.

## 2.6 Analisis Aliran Daya

Dengan semakin kompleksnya problem di dalam sistem tenaga listrik, sebagai akibat dari meningkatnya permintaan konsumen, bertambahnya jumlah saluran transmisi dan distribusi, maka perlu adanya studi aliran daya dalam analisa sistem sehingga 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 mempelajari aliran daya ini dilakukan untuk menentukan :

- a) Aliran daya aktif dan reaktif pada cabang – cabang rangkaian.
- b) Tidak adanya rangkaian yang mempunyai beban lebih dari tegangan busbar dalam batas – batas yang diterima.
- c) Pengaruh penambahan atau perubahan pada suatu sistem.
- d) Pengaruh hilangnya hubungan dalam keadaan darurat.
- e) Kondisi optimum pembebanan sistem.
- f) Kehilangan daya optimum sistem.

## 2.7 Pendekatan Studi Aliran Daya

Di dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, parameter – parameter listrik yang perlu di perhatikan sahubungan dengan analisa aliran daya adalah besarnya magnitude tegangan  $|V|$ , sudut fasa tegangan  $\theta$ , daya nyata  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . Daya nyata  $P$  mempunyai ketergantungan yang kuat dengan besarnya magnitude tegangan  $|V|$ . Bila  $P$  dan  $Q$  berubah, maka  $\theta$  dan  $|V|$  berubah pula demikian sebaliknya[4].

Di dalam analisa aliran daya terdapat 3 jenis variable :

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 teratur, misalnya kebutuhan konsumen.

## 2.8 Sistem Per-Unit<sup>[5]</sup>

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

Rumus - rumus yang digunakan untuk persamaan arus dasar dan impedansi dasar ialah,

- Untuk sistem 1 fasa :

$$\text{Arus dasar} = \frac{\text{Dasar KVA}_{1\phi}}{\text{Tegangan dasar, kV}_{LN}} \quad (2.1)$$

- Unt

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{Tegangan dasar, V}_{LN}}{\text{Arus dasar}} \quad (2.2)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LN})^2 \times 1000}{\text{Arus dasar}} \quad (2.3)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, KV}_{LN})^2}{\text{Dasar MVA}_{1\phi}} \quad (2.4)$$

## 2.9 Klasifikasi Bus<sup>[5]</sup>

$$\text{Arus dasar} = \frac{\text{Dasar KVA}_{3\phi}}{\sqrt{3} \times \text{tegangan dasar, kV}_{LL}} \quad (2.5)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LL})^2 \times 1000}{\text{Dasar KVA}_{3\phi}} \quad (2.6)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{Tegangan dasar, kV}_{LL})^2}{\text{Dasar MVA}_{3\phi}} \quad (2.7)$$

simpul (rel

atau bus) terdapat parameter – parameter sebagai berikut :

- a. Daya nyata dinyatakan P satuannya Megawatt (MW).
- b. Daya reaktif dinyatakan dengan Q satuannya Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR).
- c. Besar (*magnitude*) tegangan mempunyai simbol | V | dengan satuan Kilo Volt (kV).
- d. Sudut fasa tegangan mempunyai symbol  $\delta$  dengan satuan derajat.

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

Dalam analisis aliran daya, pada setiap busnya perlu diketahui 2 parameter dari keseluruhan 4 parameter yang diperhitungkan. Dengan melihat kedua parameter yang diketahui, setiap bus dalam suatu sistem dapat di diklasifikasi menjadi tiga yaitu :

1. Bus beban atau *load bus*.
2. Bus generator.
3. Bus referensi atau *slack bus*.

### **2.9.1 Bus beban atau (*Load Bus*)<sup>[5]</sup>**

Pada bus ini terhubung dengan beban – beban yang permintaannya daya aktif dan daya reaktif jelas diketahui, sedangkan tegangan  $|V|$  dan sudut fasa tegangan  $\delta$  ( sudut antara tegangan sisi kirim dan tegangan sisi kirim ) merupakan dua besaran yang akan dihitung nilainya.

### **2.9.2 Bus Generator (*generator bus*)**

Bus ini terdapat generator – generator yang nilai tegangan dan daya aktifnya diketahui, sementara daya reaktif dan sudut fasa tegangan  $\delta$  dihitung.

### **2.9.3 Bus Referensi (*Slack bus*)**

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 di pastikan terlebih dahulu. Besarnya daya aktif dan daya reaktif selain ditentukan oleh besarnya beban juga 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 diterapkan yaitu sebesar 1 pu dan 0 derajat.

## **2.10 Aliran Daya Metode Newton Raphson<sup>[5]</sup>**

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

bentuk kompleks dengan bentuk polar ). Dalam pembahasan skripsi ini menggunakan bentuk polar.

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

$$\text{Injeksi daya pada simpul p adalah :} \quad I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \quad (2.8)$$

$$S_p = P_p - jQ_p = V_p^* \cdot I_p \quad (2.9)$$

$$= V_p^* \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_{pq} \quad (2.10)$$

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

$$V_p^* = |V_p| e^{-j\delta^p} \quad (2.11)$$

$$V_q = |V_q| e^{j\delta^q} \quad (2.12)$$

$$Y_{pq}^* = e^{-j\phi_{pq}} \quad (2.13)$$

Maka persamaan dapat ditulis :

$$\text{Dengan memisahkan bagian riil dengan bagian imajiner maka diperoleh :} \quad P_p - jQ_p = \sum_{q=1}^n |Y_{pq} V_q V_{pq}| e^{-j(\delta^p + \phi_{pq})} \quad (2.14)$$

$$P_p = \sum_{q=1}^n |Y_{pq} V_q V_{pq}| \cos(\delta^p - \delta^q + \phi_{pq}) \quad (2.15)$$

$$\text{edua} \quad \sum_{q=1}^n |Y_p V_q V_{pq}| \sin(\delta p - \delta q + \phi_{pq}) \quad (2.16)$$

persamaa

n diatas akan menghasilkan suatu kumpulan persamaan serempak (*simultan*) yang tidak linier untuk setiap simpul sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui maginitude tegangan (V) dan sudut fasa ( $\delta$ ) di setiap simpul dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (3.13) dan (3.14) yang dilinierkan dengan *metode Newton Raphson* yang dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

Dimana :

$$\begin{matrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{matrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

=

Selisih injeksi bersih daya nyata dengan daya nyata dengan penjumlah aliran daya nyata tiap saluran yang menghubungkan simpul dengan V yang 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 di dapat dari perhitungan iterasi ke-k

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

$\Delta |V|$  = Vektor koreksi maginitude tegangan

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

$$|V|^{k+1} = |V|^k + \Delta |V|^k \quad (2.18)$$

$$\delta^{k+1} = \delta^k + \Delta \delta^k \quad (2.19)$$

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*.

### 2.11 Metode Rekonfigurasi Jaringan<sup>[5]</sup>

Proses menata konfigurasi awal dari jaringan (*intial condition*) menjadi suatu konfigurasi optimum akhir (*optimal condition*), sehingga dari konfigurasi yang terakhir ini

diperoleh kerugian daya sistem distribusi yang paling kecil (aliran daya yang paling optimum).

Meskipun jaringan distribusi dioperasikan menggunakan sistem radial, namun besarnya sistem tersebut dikombinasikan ke dalam beberapa tipe. Tipe yang paling umum adalah model jaringan distribusi radial dengan tie dan switch pemisah.

Rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dilakukan dengan mengatur kondisi dari *switch- switch* ini dalam keadaan on atau off. Switch yang terdapat dalam jaringan distribusi terdapat dua macam :

1. *Normally Closed Switch ( NC Switch )* yang dalam keadaan operasi normal, posisi kontakannya selalu tertutup (on).
2. *Normally Open Switch ( NO Switch )* yang dalam keadaan operasi normal, posisi kontakannya selalu terbuka (off).



**Gambar 2-5**

Diagram Skematik Tipe (a) NC Switch dan (b) NO switch

## 2.12 Formulasi masalah rekonfigurasi jaringan<sup>[4]</sup>

Pada bagian ini permasalahan rekonfigurasi jaringan disusun sebagai permasalahan multiobjektif. Di mana fungsi tersebut terdiri dari lima fungsi objektif, dan memiliki faktor beban yang berfungsi untuk menyatakan besarnya hubungan antara masing-masing fungsi objektif tersebut. Fungsi-fungsi objektif tersebut adalah:

### a) Minimalisasi daya untuk faktor rugi - rugi

$$TSU = \sum_{j=1}^m S_j^u \quad (2.20)$$

Dimana :

$m$  = jumlah saluran *feeder* dari *feeder* utama

$S_j^u$  = daya kompleks tiga fasa, tak seimbang pada fasa, dinyatakan dengan :

$$S_j^u = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{p=a,b,c} |S_j^p - S_j^o|^2} \quad (2.21)$$

$$S_j^o = (S_j^a + S_j^b + S_j^c) / 3 \quad (2.22)$$

$S_j^p$  = Daya complex pada pembebanan per fasa, fasa a,b, dan c.

$S_j^o$  = Daya kompleks ideal per fasa yang bergantung pada pembebanan ideal per setiap fasa. Jika bernilai 0 maka daya complex pada saluran j seimbang,

## b) Minimalisasi total rugi saluran

Min

$$TL_l = \sum_{j=1}^m \sum_{p=a,b,c} (I_j^p)^2 \cdot r_j^p + (I_j^{ne})^2 \cdot r_j^{ne} \quad (2.23)$$

Dimana :

$I_j^p$  = Arus fasa p dari saluran *feeder* j

$R_j^p$  = Resistansi fasa p dari saluran *feeder* j

$I_j^{ne}$  = Resistansi saluran netral dari saluran *feeder* j

## c) Minimalisasi rata – rata jatuh tegangan<sup>[5]</sup>

$$AV_d = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n VD_k \quad (2.24)$$

$$VD_k = \frac{1}{3} \sum_{p=a,b,c} \left| \frac{V_{no\ min\ al} - V_k^p}{V_{no\ min\ al}} \right| \times 100\% \quad (2.25)$$

Dimana :

n = jumlah titik beban pada *feeder*

$V_{nominal}$  = Tegangan nominal fasa

$V_k^p$  = Besar tegangan fasa p pada titik beban k

$VD_k$  = Jatuh tegangan tiga fasa p pada titik beban k

#### d) Minimalisasi faktor rugi tegangan

$$T_{dt} = T_{d0} + T_{d2}$$

Dimana :

$$T_{d0} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (d_{0,k})^2} \quad (2.26)$$

$$d_{0,k} = \frac{V_k^{(0)}}{V_k^{(1)}} \quad (2.27)$$

dimana,

$V_k^{(0)}$  = Tegangan urutan nol pada titik beban k

$V_k^{(1)}$  = Tegangan urutan positif pada titik beban k

$V_k^{(2)}$  = Tegangan urutan negatif pada titik beban k

$d_{0,k}$  = Faktor tegangan tak seimbang urutan nol pada titik beban k

$d_{2,k}$  = Faktor tegangan tak seimbang urutan negative pada titik beban k.

### 2.13 Rugi – Rugi Daya<sup>[5]</sup>

Rugi-rugi daya adalah besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan, yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber dikurangi besarnya daya yang diterima.

Rugi – rugi ini dapat terjadi dari rugi daya aktif dan rugi daya reaktif. Rugi – rugi ini dapat terjadi pada komponen – komponen umum pada sistem tenaga listrik seperti :

1. Rugi pada penyulang utama dan peralatan saluran.
2. Rugi pada trafo distribusi.

Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya [5]. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \text{ (watt)} \quad (2.28)$$

Keterangan:

$\Delta P$  = Rugi daya pada jaringan (watt)

I = Arus beban pada jaringan (amper)

R = Tahanan murni (ohm)

Untuk rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dinyatakan oleh persamaan:

$$\Delta P = \sqrt{3} \cdot I^2 \cdot R \text{ (watt)} \quad (2.29)$$

Dengan mengabaikan arus kapasitif pada saluran, maka arus disepanjang kawat dapat dianggap sama dan besarnya adalah sama dengan arus pada ujung terima[5].

$$I = \sqrt{3} \text{ (ampere)} \quad (2.30)$$

Besarnya daya pada saluran tiga fasa adalah:

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi \text{ (watt)} \quad (2.31)$$

Keterangan:

P = daya beban pada ujung penerima saluran (watt)

V = tegangan fasa (volt)

Cos  $\varphi$  = factor daya beban

### 2.13.1 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 tie switch yang tersedia untuk saling interkoneksi bagi beberapa bus beban (*load bus*) baik dalam satu *feeder* maupun berlainan *feeder*.

Namun, 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.

Dari permasalahan tersebut, maka dipererlukan suatu upaya untuk dapat mengurangi kerugian daya yang terjadi. Dalam prakteknya, ada macam cara dalam upaya untuk mengurangi / meminimalisasi rugi – rugi daya pada sistem distribusi tenaga listrik yaitu :



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

Selanjutnya pada skripsi ini membahas mengenai upaya mengurangi kerugian daya yang terjadi pada saluran distribusi dengan merekonfigurasi jaringan yaitu dengan memanfaatkan status dari NC Switch / NO Switch.

#### **2.14 Jatuh Tegangan ( *Voltage Drop* )**

Terjadinya jatuh tegangan pada saluran disuatu lokasi adalah disebabkan oleh bagian yang berbeda tegangan didalam suatu sistem daya tersebut dan juga dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran. Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik[5].

Penurunan tegangan terdiri dari dua komponen :

- a.  $I.R$ s yaitu rugi-rugi tegangan akibat tahanan saluran
- b.  $I.X$ l yaitu rugi-rugi tegangan akibat reaktansi induktif saluran

Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta V = I.R.\cos \theta + I.X.\sin \theta \quad (2.32)$$

$$\Delta V = I x Z \quad (2.33)$$

keterangan :

$\Delta V$  = Jatuh tegangan (Volt)

$I$  = Arus yang mengalir (Amper)

$R$  = Tahanan saluran (Ohm)

$X$  = Reaktansi (Ohm)

$Z = R + jX$  = impedansi saluran

Pada saluran arus bolak-balik besarnya jatuh tegangan tergantung dari impedansi saluran serta beban dan faktor daya. Untuk jarak yang dekat jatuh tegangan tidak begitu

berarti[5]. Perhitungan jatuh tegangan yang diperlukan tidak hanya untuk peralatan sistem saja namun juga untuk dapat menjamin tegangan terpasang yang dapat dipertahankan dalam batas-batas yang layak. Oleh karena itu perlu diketahui hubungan fasor antar tegangan dan arus serta reaktansi dan resistansi pada perhitungan yang akurat[5].

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Dalam analisis rekonfigurasi untuk memperbaiki profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya, skripsi ini menggunakan standart *IEEE* sebagai titik acuan dalam proses pelaksanaan dan pengerjaannya. Pengujian dan penelitian ini dimulai dengan survey data yang diperoleh dari PLN.Tengkawang Samarinda Dengan data yang diperoleh maka dapat dilakukan simulasi sistem 20 kV menggunakan *software ETAP Power Station*. Simulasi yang dapat dilakukan berupa aliran daya atau *Load Flow*, yang mana untuk mengetahui profil tegangan, daya aktif, daya reaktif dan rugi-rugi yang terjadi pada system 20 kV Setelah melakukan studi aliran daya maka dapat diketahui kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan (*under voltage*). Apabila terdapat kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan dibawah margin yang diijinkan ( $0,95 < V_{pu} < 1,05$ ) maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan dengan melakukan rekonfigurasi.(D.William, and Jr.Stevenson 1990)

#### 3.1 *ETAP Power Station*

*ETAP* merupakan *software* full grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisis untuk mendesain dan menguji kondisi sistem tenaga listrik yang ada. *ETAP* dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik secara *off-line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi sistem *real time*, optimasi, manajemen energi system dan simulasi *intelligent load shedding*. *ETAP* didesain untuk dapat menangani berbagai kondisi dan topologi sistem tenaga listrik baik di sisi konsumen industri maupun untuk menganalisa performa sistem di sisi *utility*. *Software* ini dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang simulasi seperti jaringan AC dan DC (*AC and DC networks*), desain jaringan kabel (*cable raceways*), *grid* pentanahan (ground grid), GIS, desain panel, *arc-flash*, koordinasi peralatan proteksi (*protective device coordination/selectivity*), dan AC/ DC control sistem diagram. (D.William, and Jr.Stevenson 1990)

*ETAP Power Station* juga menyediakan fasilitas Library yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan. *Software* ini bekerja berdasarkan plant (*project*). Setiap plant harus menyediakan modelling peralatan dan alat-alat pendukung yang berhubungan dengan analisis yang akan dilakukan. Misalnya generator, data beban, data saluran, dll. Sebuah

plant terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap plant harus menyediakan data base untuk keperluan itu.

*ETAP Power Station* dapat digunakan untuk menggambarkan *single line* diagram secara grafis dan mengadakan beberapa analisis/studi yakni *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor starting, harmonisa, *transient stability*, *protective device coordination*, dan *Optimal Capacitor Placement*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan *ETAP Power Station* adalah:

(D.William, and Jr.Stevenson 1990)

- **One Line Diagram**, menunjukkan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu sistem kelistrikan.
- **Library**, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisis.
- **Standar** yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC atau ANSI, frekuensi sistem dan metode – metode yang dipakai.
- **Study Case**, berisikan parameter – parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisis.
- Kelengkapan data dari setiap elemen/komponen/peralatan listrik pada sistem yang akan dianalisis akan sangat membantu hasil simulasi/analisis dapat mendekati keadaan operasional sebenarnya.

### 3.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan (*Network Reconfiguration*) merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan ditribusi dengan pemasangan *switch NO* (*Normally Open*) dan *switch NC* (*Normally Close*) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan. Maka pemasangan *switch NO* (*Normally Open*) dan *switch NC* (*Normally Close*) dilakukan setelah *Load Flow* dalam kondisi *Base Case*. Pemasangan *switch NO* (*Normally Open*) pada titik ujung penyulang yang mengalami pelanggaran dengan pemasangan *tie switch* dari ujung titik penyulang baru ke bus pada penyulang yang telah terpasang *switch NO* (*Normally Open*).

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan :

- a. Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem (*loss reduction*).

- b. Mendapatkan pembebanan yang seimbangan untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan ( *load balancing* ).

Minimalisasi daya untuk faktor rugi – rugi :

$$TSu = \sum_{j=1}^m S_j^u \quad (3.1)$$

Dimana :

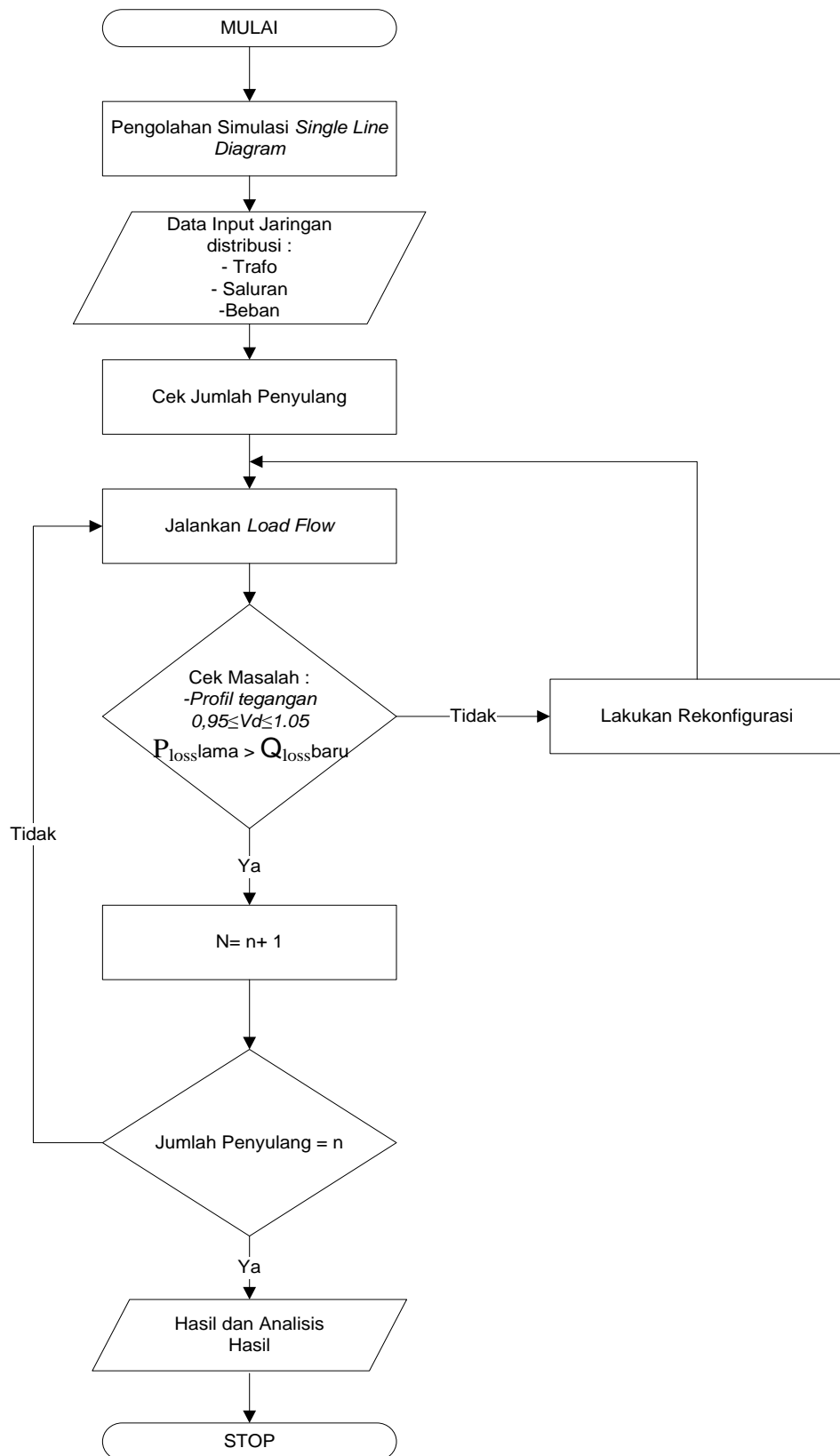
m = jumlah saluran *feeder* dari *feeder* utama

$S_j^u$  = daya kompleks tiga fasa, tak seimbang pada fasa, dinyatakan dengan :

$$S_j^u = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{p=a,b,c} |S_j^p - S_j^o|^2} \quad (3.2)$$

### 3.3 Algoritma Program

1. Memasukkan data :
  - Data Trafo *step down* (kVA)
  - Data Beban (kVA)
  - Data Saluran
2. Menjalankan *load flow* pada kondisi *base case* sebelum rekonfigurasi.
3. mengecek setiap penyulang apakah terdapat bus – bus yang mengalami pelanggaran tegangan dengan batas yang diijinkan.
4. Memasang *switch NO (Normally Open)* pada saluran penyulang sebelum bus pertama yang mengalami pelanggaran tegangan.
5. Cek penyulang yang terdekat dengan penyulang yang mengalami pelanggaran tegangan tersebut.
  - Jika Ya, lanjut langkah 4
  - Jika Tidak, lanjut langka 8
6. Tambah saluran dengan *tie switch NC (Normally Close)* pada penyulang langkah 5 yang menghubungkan bus akhir dengan bus awal.
7. Kembali ke langkah 2 pada kondisi base case rekonfigurasi.
8. Hasil dan Analisis Hasil
9. Selesai.



Gambar 3-2

Flow Chart Rekonfigurasi Algoritma





Tabel 4-1  
Data Penyulang Tengkawang

NO.Trafo	Nominal (KVA)	Beban Trafo (kVA)	Persen Beban (%)	P ( MW )	Q (MVAR)
TLU 825	200	171.81	85.91	146.04	90.51
TLU 913	250	175.97	87.99	186.97	115.88
LBU 827	160	100.23	62.64	85.19	52.79
TLU 973	160	130.25	81.4	110.7	68.61
TLU 519	160	133.17	79.67	108.35	67.15
LBU 641	200	145.49	72.74	123.65	76.63
DPR 746	160	108.5	66.83	90.88	56.32
LBU 750	200	131.4	65.7	55.84	34.61
TLU 037	160	133.17	79.67	108.35	67.15
PAM 31	160	130.71	81.89	111.37	69.02
TLU 010	50	42.03	84.06	37.72	22.14
TLU 137	50	12.24	24.48	10.4	6.44
TLU 862	150	95.48	62.81	80.08	49.63
TLU 573	200	174.7	87.18	148.2	91.85
TLU 614	100	76.21	76.21	64.77	40.14
APL 053	100	76.21	76.21	64.77	40.14
APL 339	100	110.39	73.59	93.82	58.15
GH3	150	95.48	62.81	80.08	49.63
TLU 103	100	110.39	73.59	93.82	58.15
LBU 948	50	17.78	35.56	15.11	9.36
APL 924	100	84.55	60.78	51.66	32.01
APL 275	100	87.06	87.06	74	45.86
APL 945	150	100.34	65.09	82.98	51.43
APL 990	100	73.9	73.9	62.81	38.93
APL 245	160	155.42	97.14	132.11	81.87
APL 939	160	124.93	78.08	106.18	10.94
APL 036	160	120.42	73.59	100.08	62.02
APL 490	150	100.34	65.09	82.98	51.43
APL 921	100	137.87	37.87	32.18	19.94
APL 910	100	167.66	67.66	57.51	35.64
APL 319	100	154.96	54.96	46.77	28.95
APL 739	100	160.27	60.27	51.22	31.75
APL 830	200	183.47	87.18	148.2	91.85
APL 629	150	111.51	74.51	95	58.87
APL 642	1600	119.39	79.6	101.49	62.89
APL 965	160	111.08	69.42	94.41	58.87
APL 502	160	101.38	63.36	86.16	53.4

IC	150	119.39	79.6	101.49	62.89
APD 926	150	97.45	64.97	82.83	51.33
APD 906	150	107.61	72.32	92.2	57.14
APD 914	100	117.77	74.51	95	58.87
APD 564	3600	300.24	175.86	5381.31	3335.14
APD 686	200	150.12	84.98	144.46	89.53
APD 470	100	76.18	76.02	92.23	57.13
APD 950	100	57.57	58.32	40.21	31.29
KRA459	250	496.89	102.81	85.61	73.53
KRA 987	200	124.17	62.79	115.2	90.81
KRA 944	100	80.39	80.21	79.23	58.89
KRA 529	200	198.87	96.01	138.22	80.88
KRA 942	100	53.86	54.21	87.13	56.21

#### 4.2.1 Data Saluran pada PLN Tengkwang Samarinda di *Software Etap Power Simulation*

Tabel 4-2

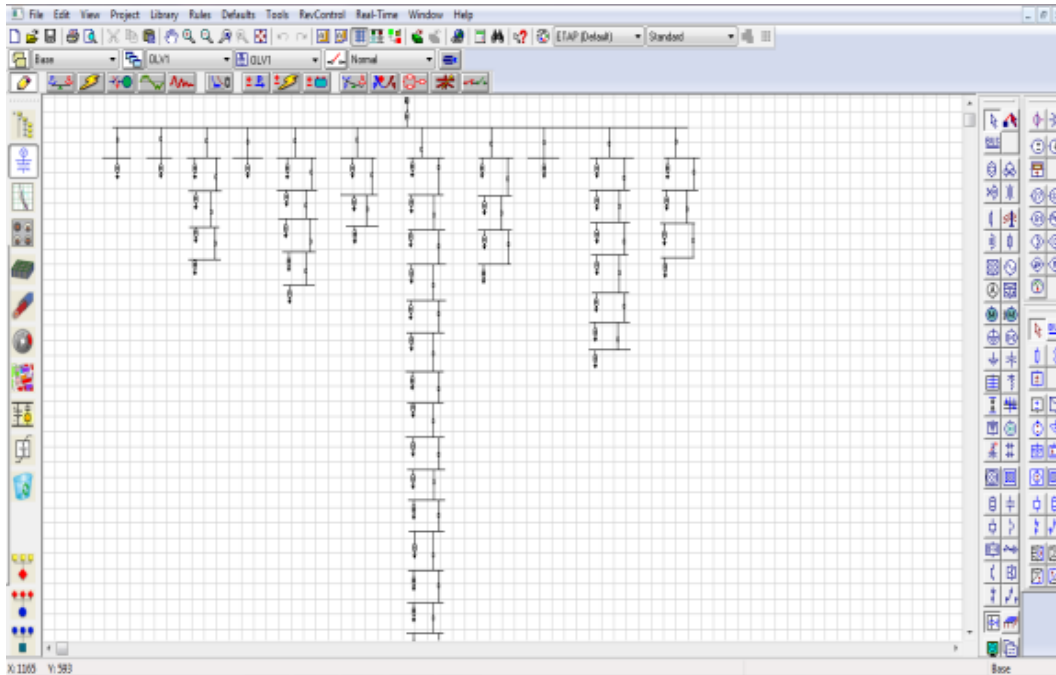
Data masukkan saluran sebelum load flow.

Tegangan Dasar	20 KV
Penghantar SUTM 20 kV	AAAC 150 mm <sup>2</sup>
Impedansi Saluran	0.2162 + j 0.3305 Ω/km
	0,3949 < 56,81°

Sebelum menjalankan simulasi, diperlukan terlebih dahulu pemodelan sistem kelistrikan PLN Tengkwang Samarinda dari gambar yang didapat saat *survey*. Pemodelan *single line* dikerjakan menggunakan *software ETAP Power Simulation*, serta memasukkan semua data yang mendukung simulasi. Berikut adalah gambar sistem kelistrikan PLN Tengkwang Samarinda yang akan di modelkan pada *software ETAP Power Simulation*.

#### 4.3 Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan PLN Tengkwang Samarinda Menggunakan *ETAP Power Simulation*

Berdasarkan hasil simulasi *single line* dari program ETAP versi 12.6.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-3 dibawah ini.



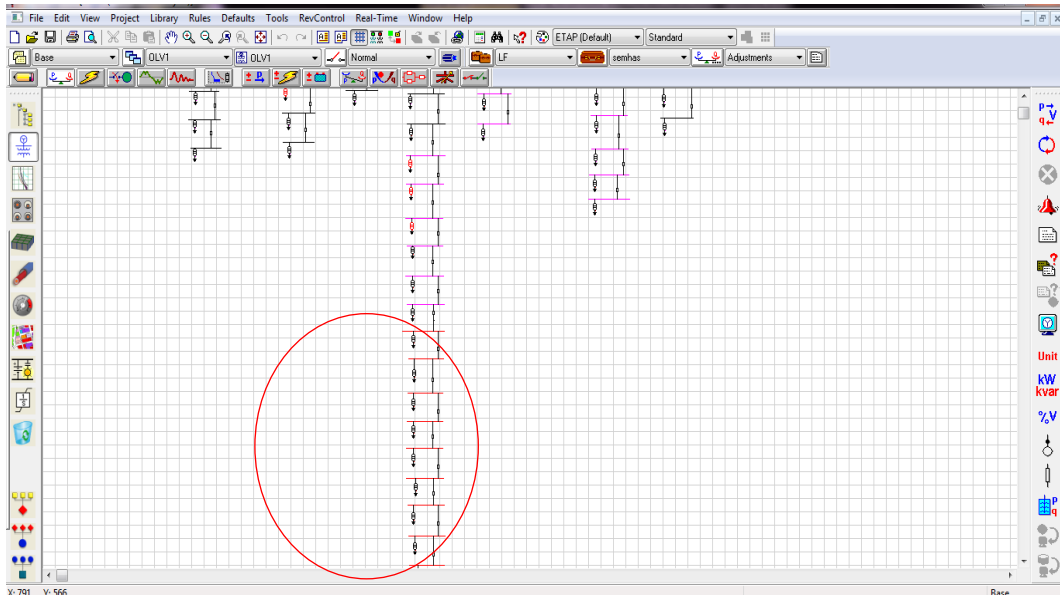
Gambar 4 - 2

Gambar simulasi *single line* tengkawang samarinda pada *software ETAP 12.6.0 Power Simulation*

Rangkaian simulasi merupakan gambar jaringan distribusi radial sebelum dilakukan rekonfigurasi yang terdiri dari sebelas *feeder*. Dimana bus beban merupakan penyusunan dari trafo – trafo yang ada dalam saluran pada masing – masing penyulang ang dibatasi dengan adanya switch.

#### **4.4 Simulasi *Load Flow* Menggunakan Software *ETAP Power Station* pada kondisi *Base Case* sebelum rekonfigurasi**

Simulasi *load Flow* ini bertujuan untuk mengetahui kondisi awal sistem, mengetahui nilai rating tegangan pada setiap bus, mengetahui daya yang mengalir di setiap saluran dan mendapatkan nilai daya aktif serta daya reaktif tiap pada bus. Pada simulasi *load flow* ini menggunakan *metode Newton Raphson*.



Gambar 4 - 3

Simulasi sesudah dijalankan dengan *load flow* kondisi *base case*

#### 4.4.1 Tabel hasil tegangan tiap bus kondisi *base case* sebelum rekonfigurasi

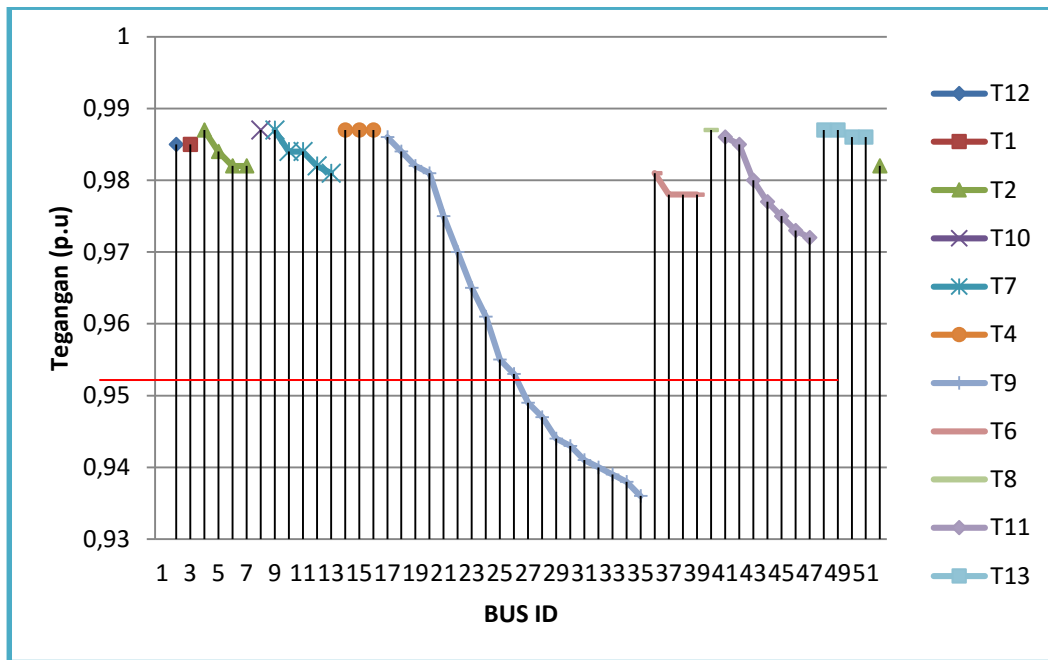
Tabel 4-3

Hasil Tegangan Tiap Bus Sebelum Dilakukan Rekonfigurasi

Bus ID	Voltage	MW Loading	Mvar Loading
1	98.74	4.881	2.83
2	98.53	0.375	0.249
3	98.72	0.137	0.088
4	98.69	0.43	0.254
5	98.43	0.348	0.212
6	98.3	0.208	0.131
7	98.29	0.103	0.066
8	98.73	0.095	0.061
9	98.69	0.422	0.24
10	98.43	0.361	0.211
11	98.4	0.3	0.174
12	98.24	0.214	0.128
13	98.15	0.138	0.088
14	98.7	0.309	0.193
15	98.68	0.221	0.139
16	98.67	0.116	0.074
17	98.56	1.694	0.999
18	98.39	1.612	0.947
19	98.22	1.541	0.902

20	98.07	1.451	0.845
21	97.52	1.302	0.751
22	97.02	1.177	0.672
23	96.46	1.057	0.597
24	96.07	0.931	0.518
25	95.51	0.871	0.485
26	95.27	0.755	0.413
27	94.92	0.66	0.358
28	94.68	0.57	0.306
29	94.42	0.496	0.264
30	94.29	0.408	0.212
31	94.13	0.326	0.166
32	93.97	0.25	0.127
33	93.91	0.188	0.091
34	93.79	0.175	0.092
35	93.62	0.097	0.063
36	98.12	0.25	0.129
37	97.83	0.147	0.091
38	97.82	0.043	0.026
39	97.82	0.01	0.006
40	98.73	0.077	0.049
41	98.59	0.721	0.393
42	98.53	0.629	0.334
43	98.05	0.58	0.314
44	97.75	0.502	0.272
45	97.41	0.416	0.227
46	97.25	0.176	0.089
47	97.16	0.059	0.038
48	98.7	0.365	0.228
49	98.67	0.3	0.189
50	98.64	0.201	0.127
51	98.64	0.043	0.027
52	98.64	0.044	0.226

**4.4.2 Grafik Hasil profil Tegangan Tiap Bus Kondisi *Base Case* Sebelum Rekonfigurasi**



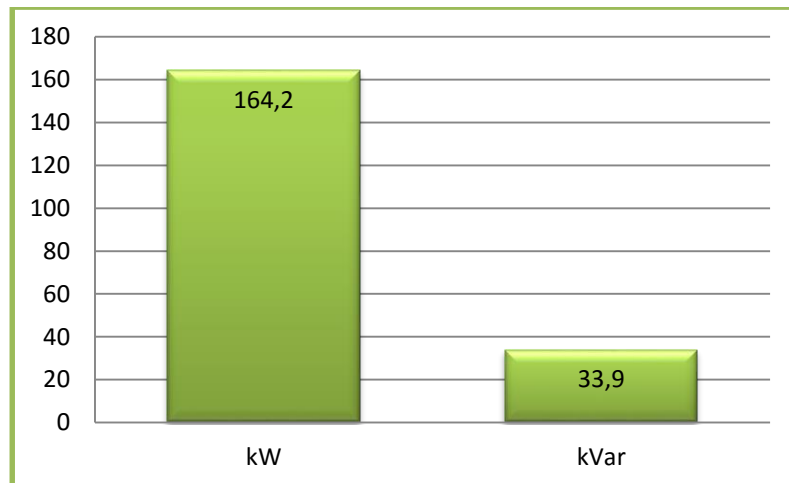
( Grafik tegangan tiap bus lebih detail dapat dilihat di lampiran )

Grafik 4 - 1

Grafik Hasil Tegangan Tiap bus kondisi *base case*

#### 4.5 Hasil Grafik Losses Sebelum Rekonfigurasi

Grafik dibawah ini menunjukkan hasil rugi – rugi daya sebelum dilakukan rekonfigurasi untuk memperbaiki profil tegangan.



Grafik 4 - 2

Grafik rugi – rugi saluran hasil *load flow* dalam kondisi *base case*

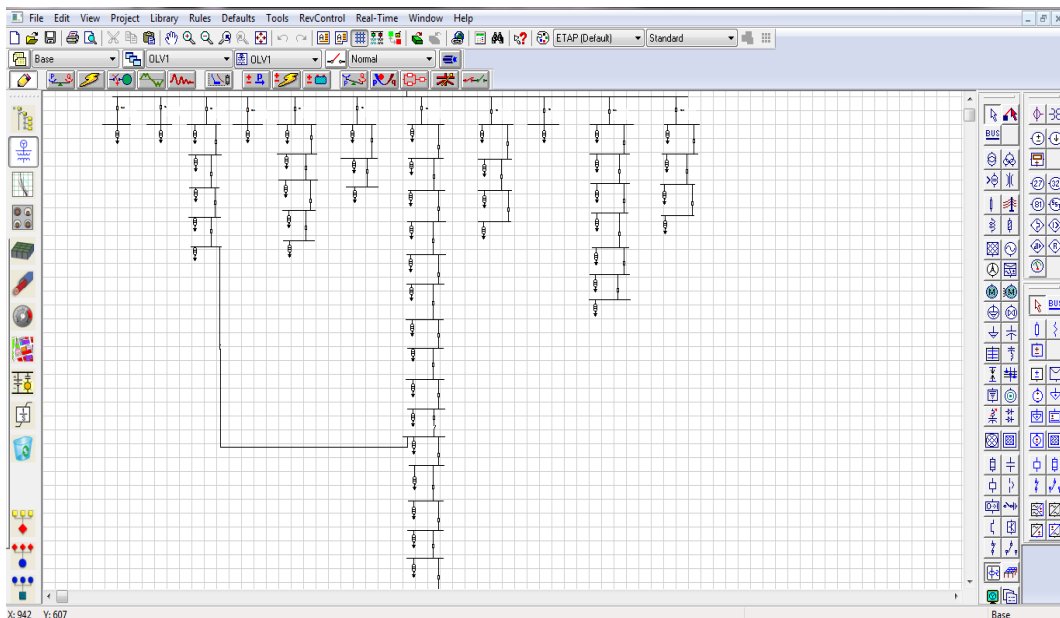
#### 4.6 Hasil Penentuan Sistem Rekonfigurasi

Berdasarkan hasil *Load Flow* pada kondisi *base case* diatas dan telah diketahui terjadi penurunan tegangan di bus 27, bus 28, bus 29, bus 30, bus 31, bus 32, bus 33, bus 34, dan

bus 35. Maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan dengan cara rekonfigurasi jaringan dengan menggunakan penambahan *switch* untuk menaikkan tegangan dan menurunkan rugi – rugi, penulis menggunakan 2 kasus Rekonfigurasi. Dari hasil perhitungan *loadflow* rekonfigurasi di dapatkan hasil sebagai berikut :

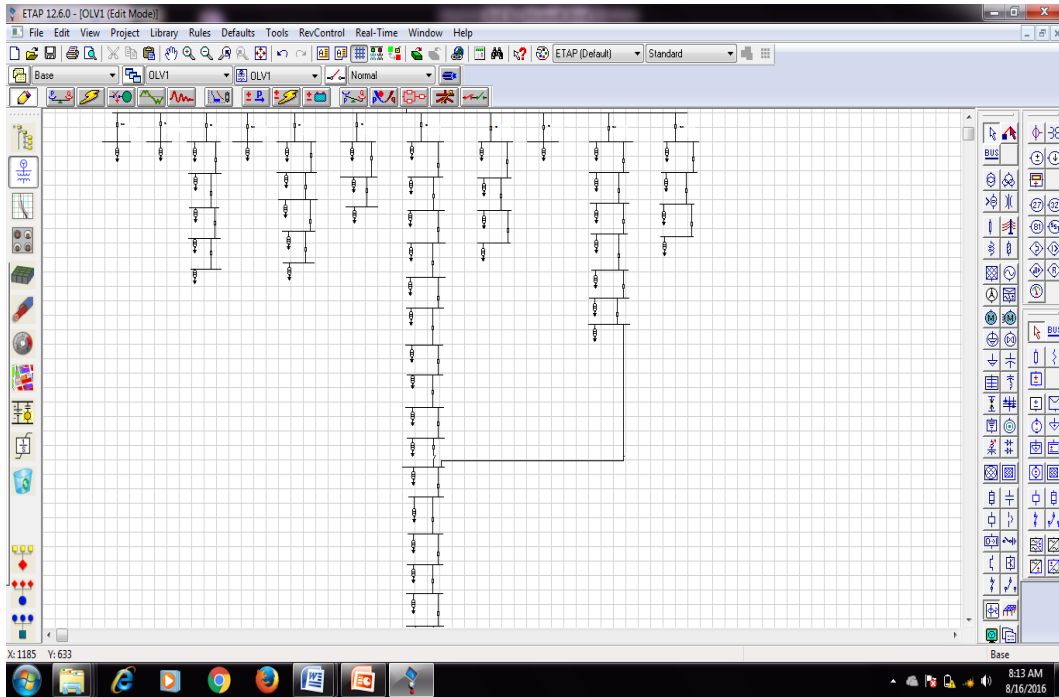
Tabel 4-5 Penentuan Sistem Rekonfigurasi pada *Single Line*

Kondisi	$P_{loss}$ kW	$Q_{loss}$ kVar
<i>Base Case</i>	164.2	33.9
Rekonfigurasi_1	153.1	16.6
Rekonfigurasi_2	157.4	24.6



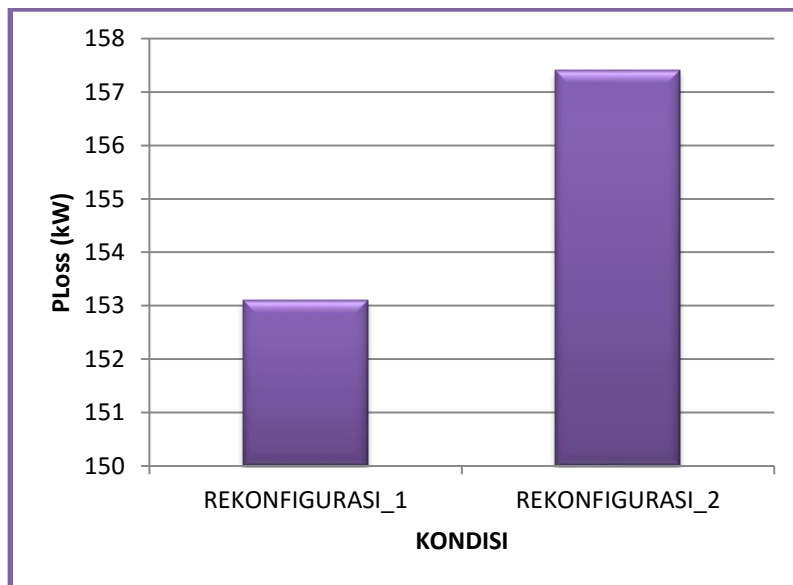
Gambar 4-4

Gambar penentuan simulasi rekonfigurasi\_1



Gambar 4-5

Gambar Penentuan simulasi rekonfigurasi\_2



Grafik 4 - 3

Grafik hasil penentuan sitem rekonfigurasi

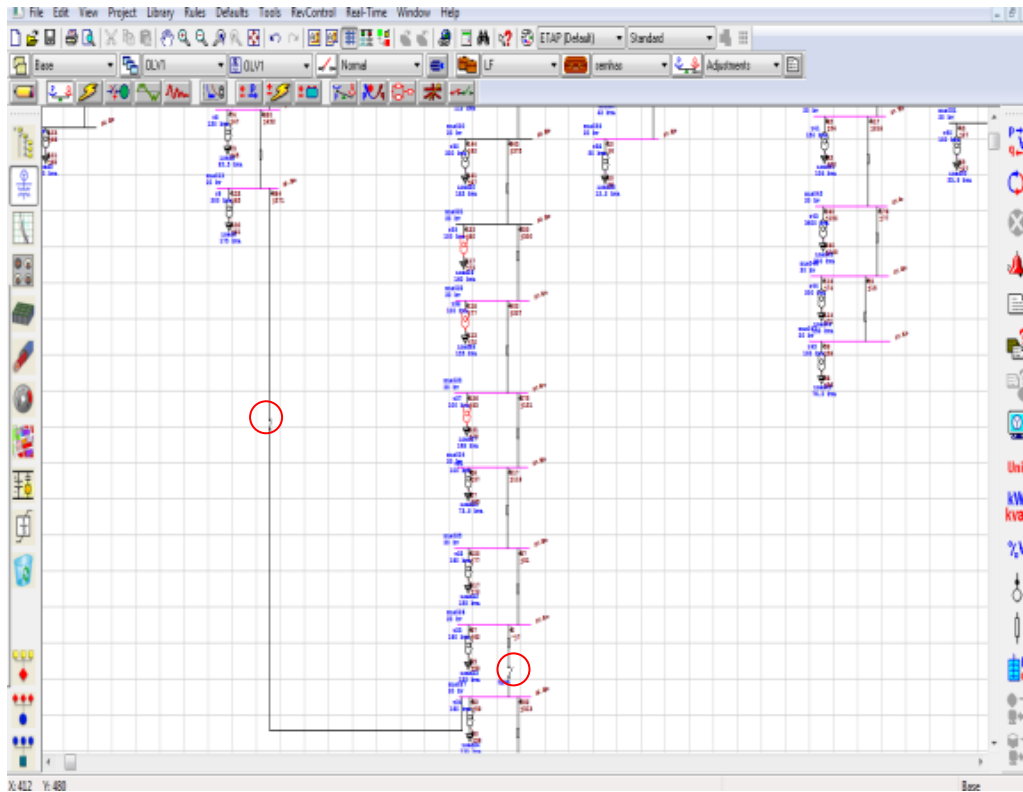
Dari hasil analisa rekonfigurasi, dapat diketahui bahwa penempatan rekonfigurasi yang optimal terdapat pada Rekonfigurasi\_1 dengan losses yang minimum.

#### 4.7 Simulasi kondisi *Load flow* pada *single line* Tengkwang Samarinda Setelah Rekonfigurasi

Pada gambar pemodelan simulasi dibawah ini telah dilakukan rekonfigu asi dengan menambah tie switch pada bus 52 ke bus 27 yang mengalami bus *pelanggaran* di bus 27,



bus 28, bus 29, bus 30, bus 31, bus 32, bus 33, bus 34, bus 35 dan membuka *switch* 8 yang terhubung dengan saluran bus 26, sehingga dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4-6

Gambar load flow setelah rekonfigurasi pada program *ETAP*.

#### 4.7.1 Tabel hasil *load flow* setelah dilakukan rekonfigurasi

Tabel dibawah ini menampilkan hasil tegangan bus kembali naik setelah dilakukan rekonfigurasi.

Tabel 4-6

Hasil Tegangan Tiap Bus Setelah Dilakukan Rekonfigurasi

Bus ID	Voltage	MW Loading	Mvar Loading
1	98.74	4.902	2.832
2	98.53	0.375	0.249
3	98.72	0.137	0.088
4	98.69	0.43	0.254
5	98.43	0.348	0.212
6	98.3	0.208	0.131
7	98.29	0.103	0.066
8	98.73	0.095	0.061
9	98.62	1.111	0.625

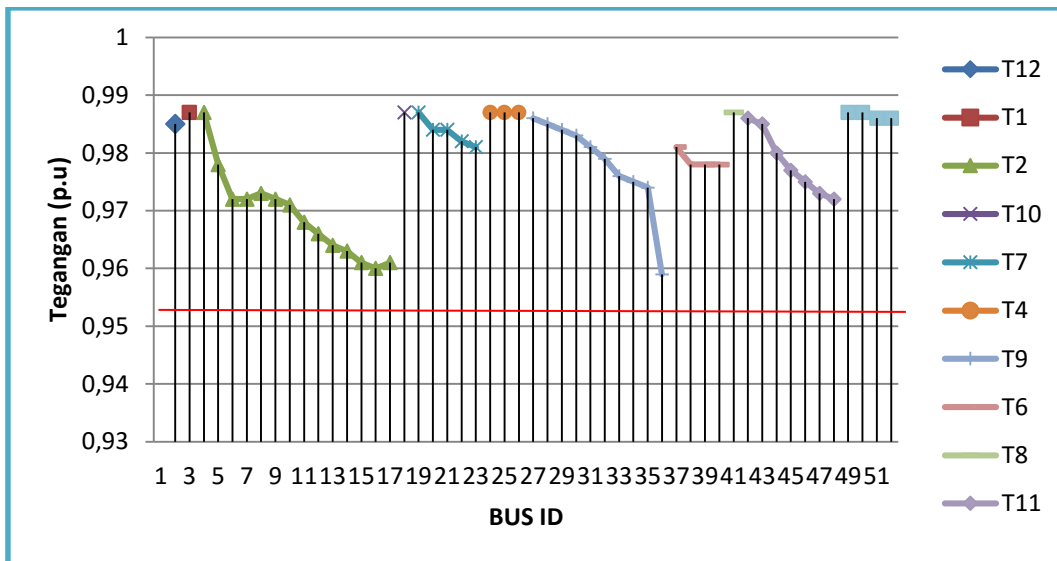
10	97.86	1.045	0.588
11	97.76	0.984	0.55
12	97.1	0.894	0.499
13	96.59	0.817	0.456
14	98.7	0.309	0.193
15	98.68	0.221	0.139
16	98.67	0.116	0.074
17	98.63	1.027	0.618
18	98.53	0.947	0.567
19	98.43	0.877	0.524
20	98.35	0.787	0.468
21	98.08	0.642	0.379
22	97.86	0.519	0.304
23	97.64	0.401	0.233
24	97.53	0.275	0.156
25	97.39	0.217	0.127
26	97.36	0.097	0.062
27	96.59	0.684	0.371
28	96.34	0.591	0.317
29	96.08	0.513	0.273
30	95.95	0.422	0.22
31	95.77	0.338	0.172
32	95.62	0.259	0.131
33	95.56	0.195	0.094
34	95.43	0.181	0.095
35	95.26	0.1	0.065
36	98.12	0.25	0.129
37	97.82	0.147	0.091
38	97.82	0.043	0.026
39	97.82	0.01	0.006
40	98.73	0.077	0.049
41	98.59	0.721	0.393
42	98.53	0.629	0.334
43	98.05	0.58	0.314
44	97.75	0.502	0.272
45	97.4	0.416	0.227
46	97.25	0.176	0.089
47	97.16	0.059	0.038
48	98.7	0.365	0.228
49	98.66	0.3	0.189
50	98.64	0.201	0.127

51	98.64	0.043	0.027
52	98.64	0.432	0.021

Hasil minimalisasi rugi – rugi daya yang diperoleh merupakan hasil terbaik dari rugi – rugi daya sebelum dilakukan metode rekonfigurasi.

#### 4.7.2 Grafik hasil tegangan tiap bus sesudah dilakukakan rekonfigurasi

Dapat dilihat di grafik 3 bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi maka profil tegangan pada bus terjaga dan tetap bekerja pada batas yang diijinkan.



( Grafik tegangan tiap bus lebih detail dapat dilihat di lampiran )

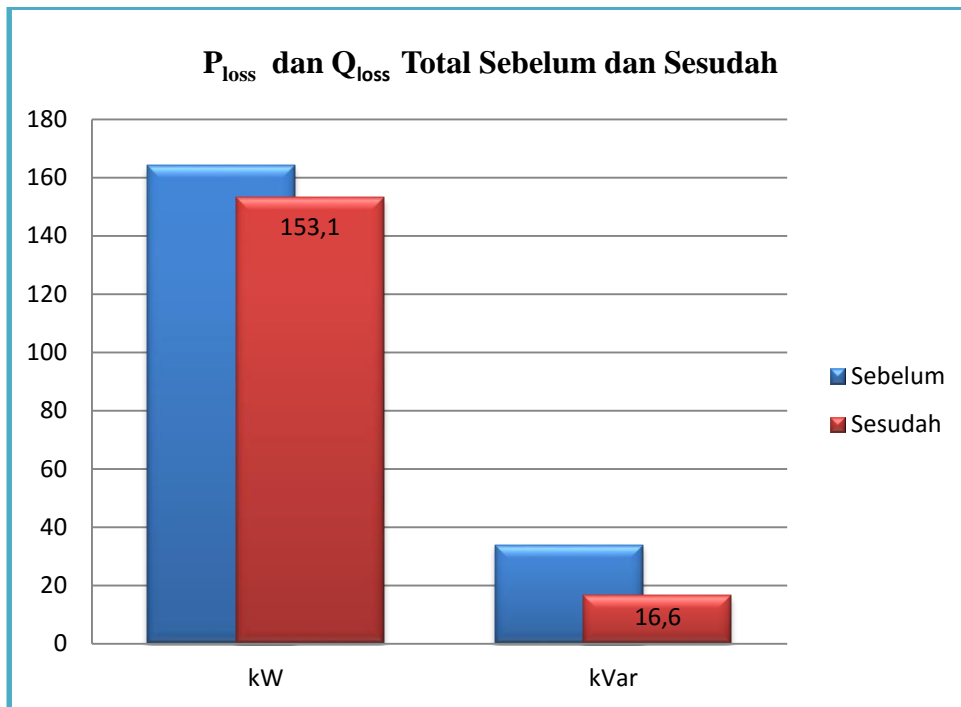
Grafik 4-4

Grafik tegangan tiap bus kondisi sesudah rekonfigurasi

Dari hasil grafik 4-4 diketahui bahwa total tegangan tiap saluran sudah ada pada level aman dimana tegangan sudah berada pada tegangan 0,95 – 1 pu. Perbandingan setelah rekonfigurasi dapat kita ketahui bahwa nilai tegangan terendah pada bus saat belum dilakukan rekonfigurasi sebesar 0,9362 pu yang terdapat pada bus 35 sedangkan setelah dilakukan rekonfigurasi nilai tegangannya menjadi sebesar 0,9526 pu yang terdapat bus 35 atau dengan kata lain setelah direkonfigurasi nilai profil tegangan mengalami kenaikan.

#### 4.8 Hasil Grafik Losses Sebelum Dan Sesudah Rekonfigurasi

Pada grafik dibawah ini setelah dilakukan rekonfigurasi maka rugi – rugi daya pada rangkaian *single line* PLN Tengkawang Samarinda menurun dan memperbaiki nilai profil tegangan pada bus, dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Grafik 4-5

Grafik Ploss Total Sebelum dan Sesudah Rekonfigurasi.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

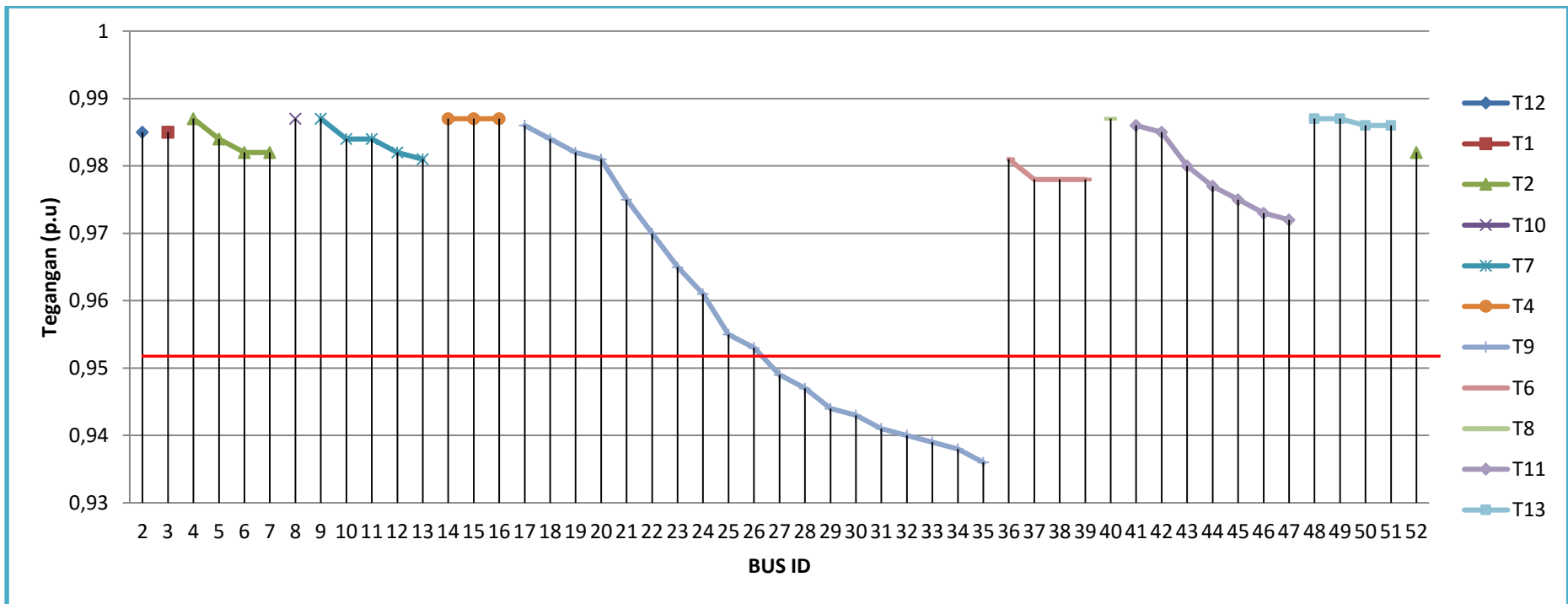
Dari hasil simulasi dan analisa yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini telah berhasil melakukan rekonfigurasi jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV PT. PLN Tengkawang Samarinda dengan dua alternatif rekonfigurasi. Setelah dilakukan simulasi tersebut dipilih alternatif kondisi Rekonfigurasi\_1 karena rugi-rugi daya aktif yang diperoleh dari 164.2 kW menjadi 153.1 kW dan lebih rendah dari Rekonfigurasi\_2.
2. Profil tegangan yang didapat setelah rekonfigurasi jaringan pada point 1 diatas, profil tegangan pada semua bus - bus pada setiap penyulang tidak ada yang mengalami pelanggaran tegangan dalam masih dalam batas yang di ijinakan yaitu  $0.95 \text{ pu} \leq V \leq 1.05$ .

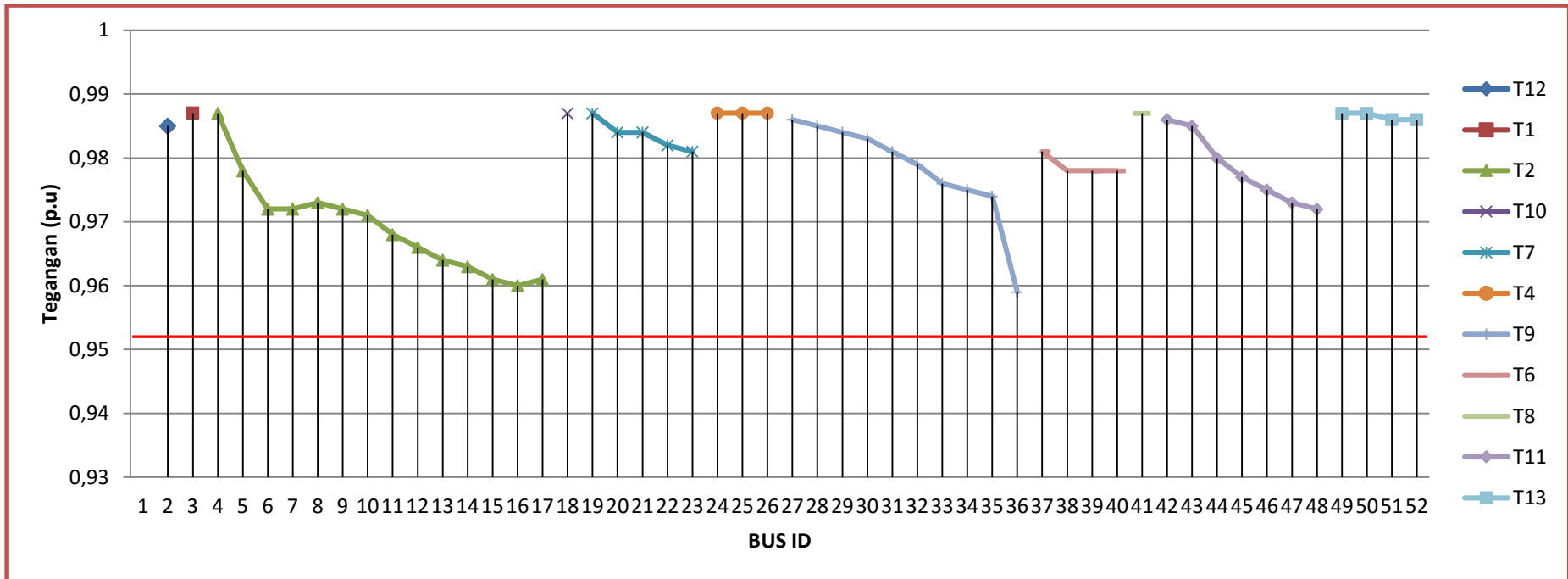
#### **5.2 Saran**

1. Perlu pengembangan lebih lanjut untuk rekonfigurasi jaringan jenis *loop*, dan melibatkan gardu induk lebih dari satu.
2. Untuk proses simulasi selanjutnya dapat diterapkan diaplikasi sistem tenaga lain agar bisa membandingkan hasil dari penelitian ini yang menggunakan *software ETAP Power Station* dengan aplikasi sistem tenaga yang lainnya.

# LAMPIRAN



**4.4.2 Grafik hasil tegangan tiap bus kondisi *base case* sebelum rekonfigurasi**



**4.7.2 Grafik perbandingan hasil tegangan tiap bus sesudah rekonfigurasi**