

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAYA PADA JATUH TEGANGAN JARINGAN  
DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH 20 KV/380V APLIKASI  
PLN PERSERO (GARDU INDUK MEDAN DENAI)**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh:

**RISKI SYAHPUTRA**

**NPM : 1307220105**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## ABSTRAK

*Dalam menyalurkan daya listrik dari tempat pengirim atau pusat pembangkit listrik ke konsumen di Indonesia saat ini menggunakan sistem tenaga listrik dengan penyaluran tenaga listrik tegangan menengah (Primer) dan sistem distribusi tegangan rendah (sekunder). Salah satu kendala dibidang kelistrikan adalah tentang daya listrik yang kurang baik dan tidak stabil sehingga sering terjadi pemadaman listrik tiba-tiba dan tegangan listrik yang fluktuatif yang mempengaruhi aktivitas masyarakat, karena sistem tenaga yang andal dan daya listrik yang baik mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Sistem pembangkit tenaga listrik pada GI Denai adalah Pembangkit tenaga Listrik dengan tegangan 380/220 V, dari tiga buah generator yang tersedia yang dapat dijalankan secara bersamaan maupun secara sendiri-sendiri tergantung dari besarnya beban yang ada, dan pembangkit ini dapat menyalurkan daya kekonsumen yang jaraknya belasan kilometer yang tersambung dengan pembangkit dan jaringan tersebut. Apabila penurunan tegangan yang terjadi melebihi batas toleransi yang diijinkan, maka secara teknis akan mengakibatkan terganggunya kinerja peralatan listrik konsumen. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa terdapat transformator yang mengalami perubahan letaknya yaitu pada sisi lateral. Dengan nomor GI 17 dan jarak 3.38 kms menjadi 2.46 kms, GI 19 dari jarak 3.29 Kms menjadi 2.37 kms, GI 26 dari jarak 3.1 kms menjadi 3.02 kms , GI 29 dari jarak 1 kms menjadi 0.01 kms. Dengan memperbaiki posisi atau jarak transformator distribusi dari gardu induk yang dibuat maka akan lebih mengoptimalkan transformator bekerja.*

**Kata Kunci: Daya, jatuh Tegangan dan kapasitor**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan sebatas ilmu dan kemampuan yang penulis miliki, sebagai tahap akhir dalam menyelesaikan studi pada program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dengan segenap perjuangan dan tindakan akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “ANALISA DAYA PADA JATUH TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH 20 KV/380 V APLIKASI PLN PERERO (GARDU INDUK MEDAN DENAI)”

Dalam penyusunan skripsi, penulis telah banyak menerima bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan penulis dengan setulus hati berkeinginan untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewa buat ayahanda pendeng, Ibunda Jariah, Abang dan kakaku (Edi Susuanto, Misnadi, Rasida) yang telah banyak memberikan doa, nasehat, dorongan moril maupun meteril sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Rahmatulla, S.T., M.Sc., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T., Selaku ketua program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Ir. Yusniati, M.T. Sebagai Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Arnawan Hasibuan, S.T., M.T., Sebagai Dosen Pembimbing II.
6. Seluruh teman-teman, dosen-dosen dan segenap civitas akademi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya Kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, September 2017  
Penulis

Riskisyah Putra  
1307220105

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I : PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistim Matika Penulisan .....	5
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Pengertian Konsep.....	7
2.2 Jaringan Distribusi.....	7
2.2.1 Struktur Jaringan Distribusi.....	9
2.2.2 Struktur Jaringan Radial .....	10
2.2.3 Struktur Jaringan Lingkaran .....	11
2.2.4 Struktur Jaringan Spindel .....	12
2.2.5 Struktur Jaringan Anyaman.....	13
2.2.6 Distribusi Tenaga Listrik .....	14
2.3 Tegangan Distribusi .....	15
2.4 Besaran Listrik .....	17
2.4.1 Tegangan Listrik.....	18
2.4.2 Arus Listrik .....	18
2.4.3 Frekuensi.....	19
2.4.4 Daya dan Faktor Daya .....	19
2.5 Penyusutan Energi Pada Jaringan Distribusi.....	22
2.5.1 Penyusutan Energi Pada Penyulang.....	23
2.6 Penyusutan Energi Pada Transformator Distribusi .....	29
2.7 Penyusutan Energi Pada Sambungan .....	33
2.8 Jatuh Tegangan.....	35

2.9. Distribusi Pembangkit .....	38
2.9.1 Pengertian Distribusi Pembangkit .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	42
3.2 Alat Penelitian .....	42
3.3 Variabel .....	42
3.4 Jalannya Penelitian .....	43
3.5 Diagram Alir Jalannya Penelitian.....	44
3.6 Teknik Anaisa Data .....	45
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>
4.1 Sistem Yang Digunakan .....	46
4.2 Analisa Jatuh Tegngan .....	46
4.3 Analisa Daya Pelanggan Terhadap Kapaistas Transformator Distribusi .....	57
4.4. Mengatasi Ketidakseimbangan Beban Pelanggan Terhadap Kapasitas Transformator Terpasang .....	59
4.5 Mengganti Transformator Distribusi.....	59
4.6. Daya Pelanggan Feeder I.....	61
4.7. Daya Pelanggan Feeder II .....	62
4.8. Daya Pelanggan Feeder III.....	63
4.9 Regulasi Tegangan Pada Kondisi Normal (Sebelum Penambahan Kapasitas Bank).....	64
4.10 Regulasi Tetangan pada Kondisi penambahan Kapasitor Bank.....	66
4.11 Kurva Daya Dan Arus pelanggan pada Malam Hari.....	68
4.12 Memperbesar Kapasitas sistem Pembangkit .....	71
<b>BAB V Penutup.....</b>	<b>75</b>
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran .....	75

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Penyusunan Sistem Distribusi .....	9
Gambar 2.2. Struktur Jaringan Radial .....	10
Gambar 2.3. Struktur Jaringan Ganda .....	11
Gambar 2.4. Struktur Jaringan Lingkaran .....	12
Gambar 2.5. Struktur Jaringan Spindel .....	13
Gambar 2.6. Struktur Jaringan Anyaman .....	14
Gambar 2.7. Segitiga Daya.....	22
Gambar 2.8. Penampang Kabel Distribusi .....	26
Gambar 2.9. Diagram Fluks yang dibandingkan pada Transformator .....	33
Gambar 2.10. Rangkaian Ganti Transformator .....	34
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 4.1. Kurva Penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feeder I.....	60
Gambar 4.2. Kurva Penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feeder II .....	70
Gambar 4.3. Kurva Penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feeder III .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Faktor Kunci Isolasi pada Berbagai Macam Kabel.....	28
Tabel 2.2.	Hubungan Antara Material Penyusun Transformator .....	36
Tabel 4.1.	Konstanta Jaringan SPLN 64 Tahun 185 .....	46
Tabel 4.2.	Data Salura Penyulang GI Medan Denai.....	47
Tabel 4.3.	Data Hasil Ukur Transformator Distribusi .....	47
Tabel 4.4.	Analisa Data Tegangan Jatuh pada Saluran Distribusi.....	50
Tabel 4.5.	Data Transformator Tegangan Jatuh Pada Sisi Primer.....	52
Tabel 4.6.	Hasil Analisa Dya Input dan Output .....	55
Tabel 4.7.	Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya Pelanggan Terpasang PLN	58
Tabel 4.8.	Penggantian Kapasitas Transformator lama Dengan Baru.....	60
Tabel 4.9.	Kapasitas Transformator dalam Jumlah Daya Pelanggan Feeder I.....	62
Tabel 4.10.	Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya Pelanggan Feeder II .....	62
Tabel 4.11.	Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya Pelanggan Feeder III .....	63
Tabel 4.12.	Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada mlam Hari Feeder I.....	68
Tabel 4.13.	Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada mlam Hari Feeder II .....	69
Tabel 4.10.	Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada mlam Hari Feeder III .....	70

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam menyalurkan daya listrik dari tempat pengirim atau pusat pembangkit listrik ke konsumen di Indonesia saat ini menggunakan sistem tenaga listrik dengan penyaluran tenaga listrik tegangan menengah (Primer) dan sistem distribusi tegangan rendah (sekunder). Dalam sistem distribusi selalu pokok permasalahan tegangan muncul yang tidak terlepas dari besarnya tegangan peralatan yang dipakai oleh konsumen yang telah ditentukan. Bila tegangan sistem distribusi terlalu tinggi atau terlalu rendah dan melewati nilai-nilai batas toleransi yang telah ada maka tegangan tersebut akan mengganggu stabilitas tegangan kerja dari pada peralatan listrik bahkan bisa merusak peralatan konsumen. Selain dari pada turun naiknya tegangan pada sistem distribusi yang dapat mengganggu daya listrik tidak stabil, lebih fatal lagi jika terjadi pemadaman listrik yang terlalu sering dengan waktu padam yang lama dan tegangan listrik yang tidak stabil, merupakan refleksi dari keandalan dan kualitas listrik yang kurang baik, dimana akibatnya dapat dirasakan secara langsung oleh pelanggan.

Sistem tenaga listrik yang andal dan energi listrik dengan kualitas yang baik dan memenuhi standar, mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan masyarakat. Perusahaan dan kantor-kantor yang bergerak diberbagai bidang akan mengalami kemacetan, kegiatan administrasi akan terganggu dan kerugian cukup besar jika terjadi pemadaman listrik tiba-tiba atau tegangan listrik

yang tidak stabil, dimana aktifitasnya akan terhenti dan produk yang dihasilkannya dari suatu usaha menjadi rusak atau gagal diproduksi.

Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi daya yang disebabkan oleh adanya impedansi seri penghantar saluran, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan. Oleh karena itu konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah, bila dibandingkan dengan tegangan yang diterima konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Perubahan tegangan pada dasarnya disebabkan oleh adanya hubungan antara tegangan dan daya reaktif. Jatuh tegangan dalam penghantar sebanding dengan daya reaktif yang mengalir dalam penghantar tersebut. Berdasarkan hubungan ini maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis daya pada jatuh tegangan jaringan, analisa kapasitas generator pembangkit dan transformator distribusi terhadap daya pelanggan terpasang, dan analisa aliran daya guna mengetahui seberapa besarnya rugi tegangan, rugi daya aktif dan reaktif dan efisiensi kerjanya.

Pada umumnya sistem tenaga listrik terdiri atas komponen-komponen peralatan listrik atau mesin listrik seperti generator, motor, transformator, beban dan alat-alat pengaman yang saling dihubungkan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan dan menggunakan energi. Untuk itu mendesain suatu sistem jaringan distribusi primer harus bisa menanggung beban hingga batas maksimum. Kondisi Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau dengan sistem tenaga listrik tersebar dimana perkembangannya cenderung untuk diadakan interkoneksi. Di samping itu masih banyak sistem non PLN khususnya

dari industri yang juga cenderung beralih menjadi langganan PLN. Contoh pembangkit listrik yang ada di Sumatera.

Peranan beban khususnya industri makin membesar. Jenis beban industry yang dihadapi sistem PLN antara lain tanur busur listrik, mesin canai (*rolling mill*), motor-motor listrik dengan kapasitas besar, penyearah pada industri kimia. Sedang dari sektor angkutan misalnya kereta listrik. Semua contoh beban tsb. mempunyai karakteristik yang berbeda dan berpotensi sebagai sumber pencemaran listrik bagi system maupun konsumen yang tersambung ke sistem. Pencemaran tersebut antara lain berbentuk guncangan daya yang mengakibatkan Soncangan frekuensi, guncangan tegangan , harmonik dan ketidak keseimbangan tegangan. Keadaan dan perkembangan sistem tenaga listrik PLN maupun beban-beban yang tersambung seperti telah diuraikan di atas akan mempengaruhi spesifikasi desain peralatan dan operasi sistem tenaga listriknya.

Sistem kelistrikan secara keseluruhan meliputi bagian pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Sistem distribusi yang berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik ke konsumen perlu kualitas yang memadai. Berdasarkan informasi dari PT. PLN (Persero) Jawa Barat, sebagian besar susut energi listrik terdapat pada jaringan distribusi. Oleh karena itu susut pada sistem jaringan tersebut perlu diperhitungkan lebih teliti. Untuk memperluas sistem jaringan distribusi, salah satu kriteria yang perlu dipenuhi adalah efisiensi yang besar, tanpa mengabaikan aspek ekonomi. Efisiensi yang baik akan dicapai bila susut energi dapat ditekan sekecil mungkin. Susut pada sistem jaringan distribusi menjadi salah satu pertimbangan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasian,

karena mempengaruhi biaya investasi (Bambang, 2001; Gonen, 1986; Sulasno, 2000).

Gangguan-gangguan yang terjadi pada jaringan bermula dari area pembangkitan listrik, penyaluran transmisi hingga penyaluran distribusi gangguan ini sudah pasti merugikan konsumen bahkan pihak penyuplai listrik PT PLN (Persero) secara global akan mendapat kerugian yang sangat besar. Permasalahan yang dihadapi PLN saat ini khususnya untuk bidang distribusi adalah besarnya rugi energi, baik secara teknis ataupun non teknis. Rugi energilistrik merupakan persoalan krusial, rugi - rugi adalah selisih antara energi listrik yang dibangkitkan dengan jumlah energi listrik yang telah dipakai pelanggan. Rugi daya listrik distribusi meliputi jaringan tegangan menengah hingga jaringan tegangan rendah yang terdiri dari rugi teknis dan non teknis (20kV/ 380V) rayon pada larang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana menentukan letak posisi transformator pada sisi lateral?
2. Bagaimana menentukan dan memperbaiki posisi jarak transformator agar lebih mengoptimalkan kerja transformator?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan Sripsi ini adalah :

1. Menganalisa letak posisi transformator pada sisi lateral.
2. Menganalisa untuk menentukan dan memperbaiki posisi jarak transformator agar lebih mengoptimalkan kerja transformator.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menghindari kesalah pahaman dan meluasnya masalah yang akan di teliti, maka penulis membatasi atau memfokuskan masalah yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu membahas tegangan jatuh pada saluran distirbusi 20 kV/380 V.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman maka penulis membuat sistematika penulisan apa saja langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini.

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini berisikan mengenai latar belakang, Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian serta Sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Dibahas mengenai dasa-dasar teori yang mendukung terhadap jaringan distribusi Tegangan menengah

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian menjelaskan tentang langkah – langkah yang diambil untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

**BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Meliputi penelitian dan pembahasan menjelaskan tentang hasil pengujian yang telah dilakukan, serta membahas hasil analisa.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Memberikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Berikut merupakan rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini, diantaranya: Thomas Ackermann, Göran Andersson, Lennart Söder (2001) melakukan penelitian mengenai Distribution Generation. Berdasarkan penelitian ini disimpulkan bahwa Distribusi Pembangkit dapat didefinisikan sebagai pembangkit energi listrik dalam jaringan distribusi atau pada jaringan dekat pengguna. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rudi Salman (2017) bahwa semakin panjang saluran transformator distribusi Primer dari GI sampai pada penempatan transformator maka semakin besar pula persentase penurunan tegangan yang dihasilkan.

#### **2.2. Jaringan Distribusi**

Jaringan distribusi adalah suatu sistem jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik hingga kerumah-rumah dan konsumen lainnya (pelanggan). Dalam istilah lain dijelaskan bahwa sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti pada gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik. Secara umum yang termasuk ke dalam sistem distribusi antara lain:

### 1. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan unit di dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Di dalam Gardu Induk ini tegangan dari sistem transmisi (150kV-500kV) akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi (20kV).

### 2. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 500 kV, maka setelah masuk GI tegangan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan distribusi). Sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

### 3. Gardu Distribusi Utama

Gardu distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI atau jaringan subtransmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyulang primer atau langsung kepada konsumen.

### 4. Saluran Penyulang Utama

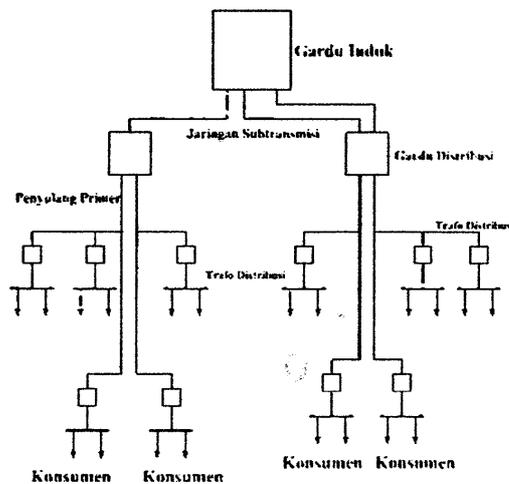
Saluran penyulang utama merupakan saluran atau rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan GI dengan gardu transformator distribusi.

## 5. Transformator Distribusi

Transformator distribusi berada di dalam gardu gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380) V). Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

## 6. Rangkaian Sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu-gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul-simpul distribusi. Gambar 2.1 merupakan contoh dari komponen penyusun sistem distribusi.



Gambar 2.1 Komponen Penyusun Sistem Distribusi

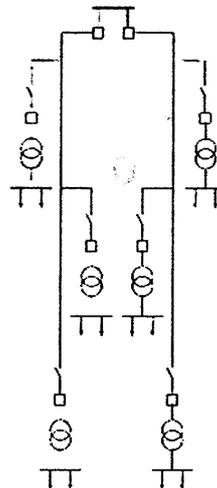
### 2.2.1 Struktur Jaringan Distribusi

Pada umumnya struktur jaringan distribusi dapat dibagi menjadi empat jenis, antara lain:

1. Jaringan radial
2. Jaringan lingkaran
3. Jaringan spindel
4. Jaringan anyaman

### 2.2.2 Struktur Jaringan Radial

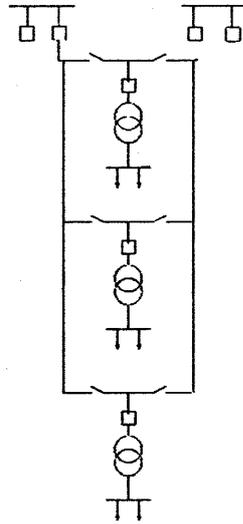
Struktur jaringan distribusi radial adalah struktur jaringan yang paling sederhana, baik ditinjau dari perencanaannya maupun dari pengusahaannya. Penyaluran tenaga listrik dari penyulang berada pada kondisi satu arah. Akibatnya apabila terjadi gangguan pada salah satu titik pada rangkaian akan menyebabkan keseluruhan jaringan akan terkena dampaknya. Dengan demikian kontinuitas penyaluran tenaga listrik pada jaringan dengan struktur seperti ini sangat buruk. Karena apabila terjadi perbaikan pada salah satu titik akan menyebabkan seluruh jaringan harus dipadamkan.



Gambar 2.2 Struktur Jaringan Radial

Untuk kontinuitas penyaluran yang lebih baik, maka struktur jaringan pada gambar 2.2 dikembangkan menjadi struktur jaringan radial ganda. Pada

struktur jaringan radial ganda, setiap gardu distribusi mendapat suplai dari dua penyulang radial yang berasal dari GI atau dari gardu distribusi lainnya. Dalam keadaan operasi normal, maka gardu hanya mendapat suplai tenaga listrik dari satu penyulang saja. Namun apabila terjadi gangguan, maka jaringan akan dipindahkan ke penyulang lainnya. Sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat diperbaiki. Gambar 2.3 merupakan contoh struktur jaringan radial ganda.

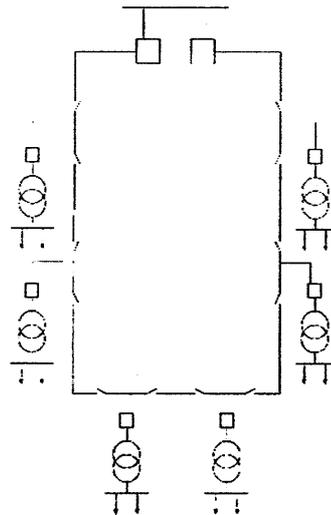


Gambar 2.3. Struktur Jaringan Radial Ganda

### 2.2.3. Struktur Jaringan Lingkaran

Struktur jaringan distribusi lingkaran merupakan struktur jaringan distribusi tertutup yang dimulai dari sumber daya besar (GI) kemudian melewati beberapa gardu gardu distribusi kemudian kembali lagi menuju sumber semula sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.4. Kelebihan utama dari struktur jaringan distribusi ini adalah apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut dapat diisolir sehingga tidak mengganggu jaringan distribusi secara keseluruhan. Hal ini dapat terjadi karena pada struktur jaringan distribusi

lingkaran ini terdapat dua titik yang dapat disambungkan secara bergantian atau secara bersamaan. Sehingga kontinuitas penyalurannya sudah cukup baik. Meskipun jika terjadi gangguan pada banyak titik pada rangkaian / serentak, maka keseluruhan jaringan dapat terganggu juga.

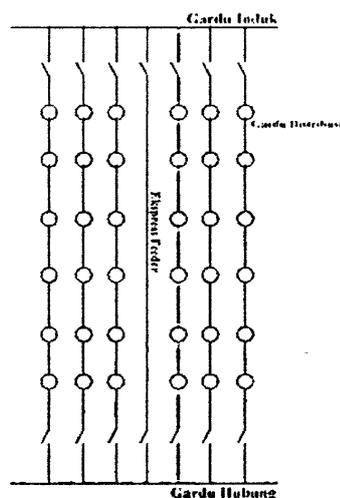


Gambar 2.4. Struktur Jaringan Lingkaran / Loop

#### 2.2.4. Struktur Jaringan Spindel

Struktur jaringan spindel merupakan hasil pengembangan dari struktur jaringan distribusi radial dan struktur jaringan distribusi lingkaran. Pada struktur jaringan spindel ini penyulang utama yang dipakai bertambah banyak jumlahnya serta memiliki penyulang cadangan. Konfigurasi yang umum dipakai untuk struktur jaringan distribusi spindel adalah tujuh buah penyulang utama dan satu buah penyulang cadangan. Seluruh penyulang ini bertemu pada satu titik yang menghubungkan seluruh penyulang utama dengan penyulang cadangan. Penyulang cadangan merupakan saluran khusus yang dilengkapi pemutus dan pemisah daya. Titik temu penyulang penyulang

utama dengan penyulang cadangan berada pada sebuah gardu hubung. Penyulang cadangan berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik darurat apabila saluran penyulang utama ada yang mengalami gangguan. Dalam keadaan operasi normal, maka penyulang cadangan tidak terhubung dengan beban. Gambar 2.5 merupakan contoh struktur jaringan spindel.

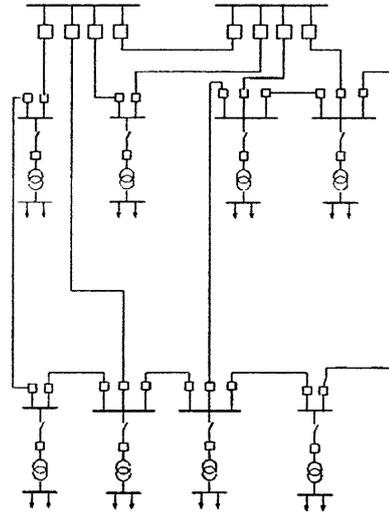


Gambar 2.5. Struktur Jaringan Spindel

### 2.2.5. Struktur Jaringan Anyaman

Struktur jaringan distribusi anyaman merupakan bentuk jaringan yang paling rumit apabila dibandingkan dengan struktur jaringan distribusi lainnya. Untuk setiap gardu distribusi akan mendapat suplai tenaga listrik dari dua atau lebih penyulang, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listriknya jauh lebih baik dibandingkan struktur jaringan distribusi yang lain. Namun struktur jaringan distribusi jenis ini memiliki biaya investasi yang lebih mahal dibandingkan dengan struktur jaringan distribusi lainnya. Struktur ini biasanya dipakai untuk daerah yang memerlukan tingkat kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang tinggi seperti pada daerah industri yang

memerlukan suplai secara konstan. Gambar di bawah yaitu gambar 2.6 merupakan contoh struktur jaringan anyaman.



Gambar 2.6. Struktur Jaringan Anyaman

### 2.2.6 Distribusi Tenaga Listrik

Terdapat dua cara dalam distribusi tenaga listrik ke daerah pemukiman, antara lain melalui gardu distribusi atau penyaluran setempat.

#### 1. Gardu Distribusi

Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi yaitu menggunakan sistem tiga fasa untuk jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR) dengan transformator tiga fasa dengan kapasitas yang cukup besar. Jaringan tegangan rendah ditarik dari sisi sekunder transformator untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Sistem tiga fasa tersedia untuk seluruh daerah pelayanan distribusi, walaupun sebagian besar konsumen mendapat pelayanan distribusi tenaga listrik satu fasa. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat

udara sistem tiga fasa tiga kawat. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan netral.

## **2. Penyaluran Setempat**

Penyaluran daya dengan menggunakan penyaluran setempat umumnya digunakan pada daerah-daerah dengan kondisi beban perumahan tidak terlalu besar, atau pada suatu daerah dengan tingkat pertumbuhan beban yang tinggi. Untuk jaringan tegangan menengah menggunakan sistem tiga fasa dengan percabangan satu fasa. Sementara untuk jaringan tegangan rendahnya menggunakan sistem satu fasa. Transformator yang digunakan memiliki kapasitas yang kecil dan cenderung dekat dengan konsumen. Jaringan tegangan menengah berpola radial dengan kawat udara sistem tiga fasa empat kawat dengan netral. Sementara jaringan tegangan rendah berpola radial dengan sistem tiga fasa tiga kawat dengan netral.

### **2.3. Tegangan Distribusi**

Berikut adalah beberapa jenis dari tegangan distribusi, yaitu:

#### **1. Tegangan Menengah (TM)**

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang nilai 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk di Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran tenaga listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

## 2. Tegangan Rendah (TR)

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai dibawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu-gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyalurannya dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Tegangan rendah di Indonesia adalah 380/220 V. 380 V merupakan besar tegangan antar fasa sementara tegangan 220V merupakan tegangan fasa dengan netral.

## 3. Tegangan Pelayanan

Tegangan pelayanan merupakan ketetapan dari penyedia tenaga listrik kepada pelanggan-pelanggannya. Di Indonesia besarnya tegangan pelayanan pada umumnya sebagai berikut:

- a. 380/220 V                      tiga fasa empat kawat
- b. 220 V                            satu fasa dua kawat
- c. 6 kV                              tiga fasa tiga kawat
- d. 12 kV                            tiga fasa tiga kawat
- e. 20 kV                            tiga fasa tiga kawat

Selama beberapa tahun terakhir ini sistem distribusi mengarah kepada sistem dengan tegangan yang lebih tinggi. Dengan tegangan sistem distribusi yang lebih tinggi, maka sistem dapat membawa daya lebih besar dengan nilai arus yang sama. Arus yang lebih kecil berarti jatuh tegangan (*jatuh voltage*) yang lebih kecil, rugi-rugi yang lebih sedikit dan kapasitas membawa daya lebih besar.

Sistem distribusi dengan tegangan yang lebih besar membutuhkan regulator tegangan dan kapasitor untuk pendukung tegangan yang lebih sedikit.

Perlengkapan yang digunakan juga membutuhkan konduktor yang lebih kecil atau dapat membawa daya yang lebih besar untuk konduktor yang berukuran sama pada sistem distribusi dengan tegangan yang lebih tinggi.

#### **4. Jenis-Jenis Permasalahan Daya Listrik**

Permasalahan daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Roger C.Dugan,1996):

1. Distorsi Gelombang, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
2. Fluktuasi Tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
3. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.

#### **2.4. Besaran Listrik Dasar**

Terdapat tiga buah besaran listrik dasar yang digunakan di dalam teknik tenaga listrik, yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi. Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan di dalam masalah-masalah sistem tenaga listrik. Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat satu faktor penting di dalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

### 2.4.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan *volt*. Berikut rumus persamaanya:

$$V = I \cdot R \quad (2.1)$$

Keterangan:

- V = Beda potensial pada kedua ujung rangkaian. Dinyatakan dengan satuan *volt* (V).
- I = Kuat arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian. Dinyatakan dengan satuan *Ampere* (A).
- R = Besarnya hambatan dalam suatu rangkaian. Dinyatakan dengan satuan *Ohm*.

### 2.4.2 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran sejumlah muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang melintang. Menurut konvensi, arah arus listrik dianggap searah dengan aliran muatan positif.

### 2.4.3 Frekuensi

Tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal. Tegangan dan arus listrik sinusoidal merupakan gelombang yang berulang, sehingga gelombang sinusoidal mempunyai frekuensi. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan, satuan frekuensi dinyatakan dalam hertz (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena

ini pertama kali. Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, di mana frekuensi ( $f$ ) sebagai hasil kebalikan dari periode ( $T$ ).

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz.

#### 2.4.4 Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu ukuran terhadap penggunaan energi dalam suatu waktu tertentu, di mana:

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$P$  = daya (*Watt*)

$E$  = energi (*Joule*)

$t$  = waktu (*detik*)

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu. Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban-beban listrik yang bersifat resistif murni (Heinz Reiger, 1987). Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan *Watt* (Sanjeev Sharma, 2007), di mana:

$$P = I^2 R \quad (2.3)$$

Keterangan:

$P$  = daya (*Watt*)

$I$  = arus listrik (*Ampere*)

$R$  = tahanan (*Ohm*)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (Volt Amper Reaktan) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban-beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang bisa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, *lift*, escalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban-beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor (Heinz Reiger, 1987). Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi di mana (Sanjeev Sharma, 2007):

$$X = X_L - X_C \quad (2.4)$$

Keterangan:

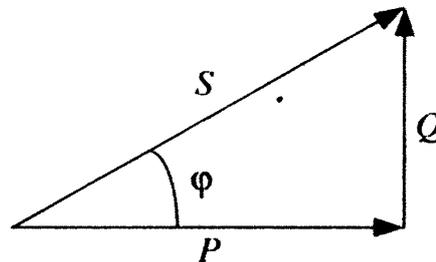
$X$  = reaktansi total (*Ohm*)

$X$  = reaktansi induktif (*Ohm*)

$X_C$  = reaktansi kapasitif (*Ohm*)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif  $P$ , daya reaktif  $Q$ , serta daya semu  $S$ , dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya (B. L.

Theraja, 1984) Berikut gambar 2.7 yang menjelaskan tentang segitiga daya.



Gambar 2.7. Segitiga Daya

Dari gambar segitiga daya tersebut, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

$$P = VI \cos \varphi \quad (2.6)$$

$$Q = VI \sin \varphi \quad (2.7)$$

$$\cos \varphi = Pf = \frac{P}{S} \quad (2.9)$$

$\varphi$  adalah sudut antara daya aktif dan daya semu  $S$ , sehingga  $\varphi$  didefinisikan sebagai faktor daya (*power factor, pf*). Untuk beban yang bersifat induktif, *pf lagging* di mana arusnya tertinggal dari tegangannya. Sementara untuk beban yang bersifat kapasitif, *pf leading* di mana arusnya mendahului tegangannya.

## 2.5. Penyusutan Energi Pada Jaringan Distribusi

Rugi-rugi atau biasa dikatakan sebagai susut energi merupakan fenomena yang umum terjadi dimana suatu sistem tidak mungkin memiliki efisiensi sebesar 100 %. Artinya selalu ada bagian dari daya yang hilang ketika disalurkan, sehingga tidak seluruh daya yang dikirimkan dapat sampai pada konsumen. Daya yang hilang dalam jumlah waktu tertentu dikatakan sebagai energi yang hilang. Penyusutan

energi pada jaringan distribusi ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

1. Penyusutan energi pada penyulang
2. Penyusutan energi pada transformator distribusi
3. Penyusutan energi pada persambungan

### **2.5.1 Penyusutan Energi Pada Penyulang**

Penyulang merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan antara Gardu Induk (GI) dengan gardu gardu distribusi yang tersebar di seluruh wilayah pelayanan. Penyulang sendiri dapat dipisahkan menjadi beberapa bagian, antara lain:

#### **1. Konduktor Fasa**

Pada bagian penyulang ini konduktor fasa merupakan bagian dari penyulang yang terbuat dari bahan logam. Umumnya bahan yang digunakan berupa aluminium dan tembaga. Karena terbuat dari bahan logam, maka konduktor yang dipakai memiliki nilai resistansi ( $R$ ) tertentu. Resistansi dari konduktor pada kabel merupakan bagian penting dari impedansi yang digunakan untuk studi kegagalan dan studi aliran daya. Resistansi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kapasitas arus yang dapat dibawa oleh kabel.

Yang perlu diperhatikan dalam permasalahan ini adalah ketika jaringan transmisi masuk ke dalam GI, maka tegangan sistem akan diturunkan dari tegangan tinggi untuk transmisi (150 kV) menjadi tegangan menengah (20 kV) sehingga dengan besar daya yang sama, maka penurunan tegangan

akan sejalan dengan kenaikan arus pada sistem. Arus yang besar pada konduktor dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pada konduktor tersebut karena fungsi arus merupakan fungsi kuadrat pada persamaan daya yang hilang, sebagaimana dinyatakan pada persamaan berikut:

$$P_{\text{losses}} = I^2R \quad (2.10)$$

Dimana

$P_{\text{losses}}$  = Daya yang hilang pada rangkaian, *Watt*

$I$  = Arus yang mengalir pada rangkaian, *Ampere*

$R$  = Hambatan pada rangkaian, *Ohm*

Arus dengan besar 4 *ampere* membuat daya yang hilang 16 kali lebih besar dibandingkan arus sebesar 1 *ampere* pada konduktor dengan hambatan yang sama. Sementara total energi yang hilang akibat terjadinya susut daya ini dapat diperhitungkan berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{losses}} = P_{\text{losses}} \cdot t \quad (2.11)$$

Dimana

$W_{\text{losses}}$  = Energi yang hilang, *Joule*

$P_{\text{losses}}$  = Daya yang hilang pada rangkaian, *Watt*

$t$  = Waktu, detik

## 2. Kabel Distribusi

Pada umumnya kabel yang digunakan untuk distribusi terdiri atas konduktor fasa, kemudian terdapat pelindung yang terbuat dari semikonduktor, isolasi kabel tersebut, pelindung isolator yang terbuat dari semikonduktor, kawat netral atau pelindung, dan selubung penutup bagian terakhir atau luarnya. Sebagian besar kabel distribusi merupakan kabel dengan

konduktor tunggal. Terdapat dua jenis kabel, yaitu kebel dengan netral yang tersusun secara konsentrik yang terbuat dari alumunium, isolasi padat, dan netral yang tersusun secara konsentrik. Netral konsentrik terbuat dari beberapa kawat tembaga yang dililit mengitari isolasi.

Netral yang konsentrik merupakan netral yang sesungguhnya. Artinya kawat netral tersebut dapat membawa arus balik pada sistem pentanahan. Kabel distribusi bawah tanah untuk kawasan perumahan umumnya memiliki netral yang konsentrik. Kabel yang dilengkapi netral konsentrik juga digunakan untuk aplikasi saluran utama tiga fasa dan penyaluran daya tiga fasa untuk kebutuhan industri dan kebutuhan komersial lainnya. Gambar 2.8 contoh penampang kabel distribusi.



Gambar 2.8 Penampang Kabel Distribusi

Sementara itu kabel daya memiliki konduktor fasa yang terbuat dari tembaga atau alumunium, isolasi padat, dan umumnya pita pelindung tipis yang terbuat dari tembaga. Untuk keperluan rangkaian distribusi, kabel daya digunakan untuk aplikasi penyulang saluran utama, penyulang rangkaian dan untuk aplikasi tiga fasa dengan arus besar lainnya. Selain dua jenis kabel

utama tersebut, juga terdapat kabel untuk keperluan aplikasi dengan tegangan menengah, seperti kabel daya tiga konduktor fasa, kabel yang tahan terhadap api, kabel dengan fleksibilitas tinggi, dan kabel bawah laut.

Bagian yang perlu mendapat perhatian utama dari suatu kabel adalah isolasinya. Beberapa hal kunci yang perlu mendapat perhatian di dalam isolasi kebel adalah sebagai berikut:

a. Konstanta Dielektrik (Permitivitas)

Faktor ini mempengaruhi kapasitas dari kabel. Konstanta dielektrik merupakan perbandingan dari kapasitansi dengan material isolasi terhadap kapasitansi dengan konfigurasi yang sama di ruang hampa. Kabel dengan kapasitansi yang lebih besar dapat menarik arus *charging* yang lebih besar.

b. Resistivitas Volume

Arus bocor yang melalui isolasi merupakan fungsi dari resistivitas isolasi terhadap arus searah (DC). Resistivitas isolasi menurun seiring dengan kenaikan suhu. Isolasi pada saat ini memiliki resistivitas yang sangat tinggi sehingga hanya sedikit sekali arus resistif yang dapat mengalir dari konduktor menuju isolasi.

c. Rugi Dielektrik

Seperti pada kapasitor, kabel memiliki rugi dielektrik. Kerugian ini diakibatkan oleh pergerakan dipol-dipol di dalam polimer atau sebagai akibat dari pergerakan muatan pembawa di dalam lokasi. Rugi dielektrik memiliki kontribusi terhadap arus resistif bocor pada kabel.

d. Faktor Disipasi (*loss angle*, *loss tangent*,  $\tan \delta$ , dan pendekatan nilai PF).

Faktor disipasi merupakan perbandingan dari arus resistif yang muncul

oleh kabel terhadap arus kapasitif yang muncul ( $I_R / I_X$ ). Karena arus bocor umumnya kecil, maka faktor disipasi dapat digunakan sebagai pendekatan nilai faktor daya, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$pf = I_R / |I| = I_R / \sqrt{I_L^2 + I_X^2} \approx I_R / I_X = \text{faktor disipasi} \quad (2.12)$$

Beberapa faktor kunci untuk kabel dengan isolasi yang berbeda beda ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 2.1 Faktor Kunci Isolasi pada Berbagai Macam Kabel

	Konstanta Dielektrik 20 C	Loss Angle Tan $\delta$ 20 C	Resistansi Volume 20 C	Rugi Dielektrik Tahunan W/1000 ft	Kekuatan Impuls V/mil	Penyerapan air ppm
PILC	3.6	0.003	$10^{11}$	N / A	1000-2000	25
PE	2.3	0.0002	$10^{14}$	N / A		100
XLPE	2.3	0.0003	$10^{14}$	8	3300	350
TR-	2.4	0.001	$10^{14}$	10	3000	<300
EPR	2.7-3.3	0.005-	$10^{13}$	28-599	1200-2000	1150-3200

Pada kabel, nilai kapasitansi yang muncul lebih signifikan dibandingkan nilai kapasitansi pada kawat saluran udara.

Dimana

C = Kapasitansi,  $\mu\text{F}/1000 \text{ ft}$

0.00736 = Konstanta dielektrik ruang hampa ( $\epsilon_0$ )

$\epsilon$  = Konstanta dielektrik bahan (2.3 untuk XLPE, 3 untuk EPR)

d = Diameter bagian dalam dari isolasi

D = Diameter bagian luar dari isolasi

Pengaruh dari adanya nilai kapasitansi dari kabel akan menimbulkan daya reakt pada sistem, sebagaimana dijelaskan dalam persamaan berikut ini:

$$Q_{var} = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot V_{LG,kV}^2 \quad (2.13)$$

Dimana

$Q_{var}$  = var / 1000ft / fasa

f = frekuensi dari sistem, Hz

C = kapasitansi,  $\mu$ F/1000 ft

$V_{LG,kV}$  = tegangan saluran ke tanah, kV

Pada kabel untuk distribusi terdapat nilai hambatan yang muncul selain hambatan resistif yang berasal dari konduktor fasanya. Nilai hambatan yang lain ini akan menentukan impedansi total dari kabel yang digunakan. Hal yang mempengaruhi nilai impedansi total tersebut adalah nilai reaktansi yang berasal dari rangkaian yang bersifat induktif dan bagian rangkaian yang bersifat kapasitif.

Nilai reaktansi proporsional terhadap induktansi dan dari rangkaian induktansi akan menyebabkan tegangan yang berlawanan dengan perubahan aliran arus. Arus bolak balik (AC) selalu berubah, sehingga nilai reaktansi akan selalu menciptakan tegangan sebagai akibat dari aliran arus. Jarak antar konduktor akan menentukan komponen eksternal dari nilai reaktansi tersebut. Nilai induktansi berdasarkan oleh wilayah yang dipengaruhi oleh lingkaran arus, sehingga wilayah yang lebih besar (jarak antar konduktor yang lebih lebar) akan menimbulkan nilai induktansi yang besar juga. Pada kawat saluran udara, nilai reaktansi induktif terutama berdasarkan jarak pemisahan antar konduktor dan bukan ukuran dari

konduktor tersebut, bukan pula jenis logam yang digunakan untuk konduktor

tersebut, serta bukan kemampuan regang dari konduktor tersebut. Dengan adanya reaktansi pada jaringan maka dapat timbul daya reaktif. Daya reaktif dapat menimbulkan jatuh tegangan pada sisi penerima.

Adanya jatuh tegangan di sisi penerima merupakan indikator adanya susut energi pada jaringan. Karena untuk beban-beban dengan kebutuhan suplai daya yang tetap, seperti pada motor-motor listrik, penurunan tegangan akan menyebabkan terjadinya peningkatan arus. Sedangkan telah dibahas diawal bahwa dengan adanya arus yang besar, maka rugi-rugi saluran akibat arus ( $I^2R$ ) juga akan semakin besar, sehingga energi yang hilang pada jangka waktu tertentu akan besar. Hubungan antara tegangan dengan arus pada beban yang membutuhkan suplai daya tetap dituliskan dalam persamaan berikut:

$$P = V I \cos \theta \quad (2.14)$$

Dimana

$P$  = daya yang dibutuhkan oleh motor motor (besarnya tetap)

$V$  = tegangan operasi, *Volt*

$I$  = arus pada rangkaian, *Ampere*

$\cos \theta$  = faktor daya

Ketika daya yang dibutuhkan konstan, maka penurunan tegangan akan diikuti dengan kenaikan arus.

## 2.6. Penyusutan Energi Pada Transformator Distribusi

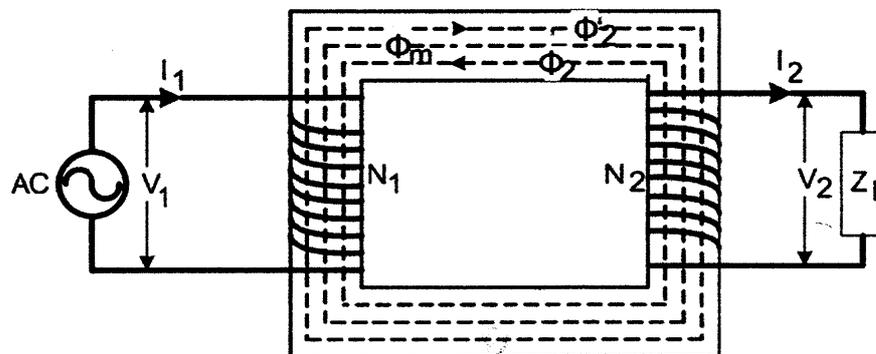
Transformator merupakan komponen dalam jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik dari suatu tingkat tegangan ke suatu tingkat lainnya. Sebuah transformator terdiri atas dua pasang kumparan yang terhubung oleh medan magnetik. Medan magnetik akan menghantarkan seluruh energi (kecuali pada autotransformator). Pada transformator yang ideal, tegangan pada sisi masukan dan keluaran berhubungan dengan perbandingan lilitan dari transformator tersebut, sebagaimana dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$V = \frac{N_1}{N_2} \times V_2 \quad (2.15)$$

Dimana  $N_1$  dan  $N_2$  merupakan jumlah lilitan dan  $V_1$  dan  $V_2$  adalah tegangan pada kumparan lilitan 1 dan kumparan 2. Pada transformator yang sesungguhnya, tidak semua fluks berada diantara dua kumparan tersebut disalurkan. Fluks yang bocor tersebut akan menyebabkan terjadinya jatuh tegangan diantara primer dan kumparan sekunder.

Transformator memiliki inti yang bersifat magnetik yang berfungsi untuk membawa medan magnetik yang besar. Baja yang dipergunakan sebagai inti di dalam transformator memiliki permeabilitas lebih dari 1000 kali dari permeabilitas udara. Apabila pada sisi primer (sisi sumber, sisi tegangan tinggi) diberikan suatu nilai tegangan tertentu dan pada sisi sekunder (sisi beban, sisi tegangan rendah) tidak ada beban yang terpasang. Maka kumparan akan menarik arus eksitasi dari sistem yang menimbulkan medan magnetik sinusoidal di inti transformator. *Fluks* yang muncul pada lilitan akan menyebabkan ggl (gaya gerak listrik) balik pada kumparan yang akan membatasi arus yang masuk ke dalam transformator. Transformator tanpa beban (*no load*) pada sisi

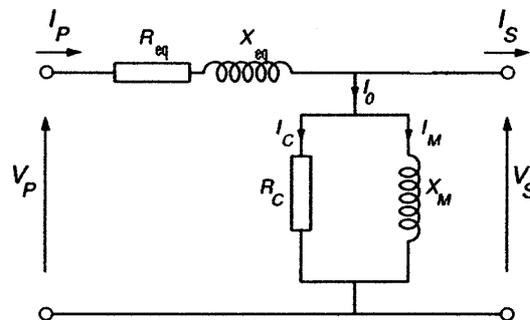
sekundernya akan menarik arus yang kecil sekali (hanya berupa arus eksitasi) yang besarnya sekitar 0.5 % dari total arus yang mengalir pada transformator pada saat berbeban penuh. Pada sisi sekunder yang tidak berbeban, maka *fluks* sinusoidal akan menciptakan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage*) yang nilainya sama dengan nilai tegangan pada sisi primer dikalikan dengan perbandingan jumlah lilitan. Ketika kita tambahkan beban pada sisi sekunder dari transformator, maka beban akan menarik arus melalui kumparan sekunder. Umumnya pada rangkaian yang bersifat induktif, arus yang semakin besar akan menciptakan *fluks* yang lebih banyak, tetapi tidak pada transformator. Peningkatan gaya pada arus pada satu kumparan yang lainnya sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Diagram *Fluks* yang dibangkitkan pada Transformator

*Fluks* pada bagian inti transformator yang sedang dibebani besarnya sama dengan *fluks* pada bagian inti transformator yang tidak dibebani, walaupun arus pada transformator yang sedang dibebani lebih besar. Tegangan pada kumparan primer akan menentukan jumlah *fluks* pada transformator. Sementara *fluks* pada bagian inti menentukan tegangan pada sisi keluaran dari transformator.

Gambar 2.10 menunjukkan model dengan nilai impedansi tertentu pada sebuah transformator. Model yang mendetail menunjukkan serangkaian impedansi yang terdiri atas resistansi dan reaktansi. Serangkaian resistansi pada transformator sebagian besar merupakan resistansi kawat pada setiap kumparan. Sementara nilai reaktansi menunjukkan adanya impedansi bocor. Percabangan *shunt* merupakan cabang termagnetisasi, arus yang mengalir akan membuat inti pada transformator menjadi bersifat magnetic.



Gambar 2.10 Rangkaian Ganti Transformator

Sebagian besar arus magnetisasi merupakan daya reaktif, tetapi tetap memiliki unsur daya *real*. Daya pada transformator dapat mengalami penyusutan pada bagian inti transformator

## 2. Arus Eddy

Arus *Eddy* pada bahan penyusun inti transformator akan menyebabkan rugi-rugi resistir ( $I^2R$ ). *Fluks* dari inti akan menginduksi arus *Eddy* sehingga menyebabkan terjadinya perubahan kerapatan *fluks* pada transformator. Rugi arus *Eddy* merupakan fungsi dari volume inti, frekuensi, dan kepadatan *fluks*, ketebalan lempeng, resistivitas dari material penyusun inti.

Inti yang terbuat dari logam *amorphous* akan secara signifikan mengurangi susut pada bagian inti, kurang lebih menjadi  $\frac{1}{4}$  dari susut yang terjadi pada inti yang terbuat dari bahan baja-silikon, antara 0.005 % sampai 0.01 % dari *rating*. Inti dari bahan *amorphous* memiliki rugi hystersis yang rendah. Rugi arus *Eddy* juga sangat rendah karena material memiliki resistivitas yang tinggi dan ketebalan lempeng yang sangat tipis (ketebalannya mencapai 1 mm). Transformator dengan inti yang terbuat dari logam *amorphous* akan memiliki ukuran yang lebih besar daripada transformator biasa pada *rating* yang sama dan memiliki biaya pengadaan yang lebih tinggi. Rugi pada susut tranformator dibebani, rugi ada saat transformator tanpa beban, dan harga semuanya memiliki hubungan. Ketika kita ingin mengurangi rugi-rugi saat transformator berbeban maka akan meningkatkan rugi saat transformator tidak berbeban dan begitu pula kebalikannya. Tabel 2.3 menunjukkan hubungan tersebut.

Tabel 2.2 Hubungan antara Material Penyusun Transformator dengan Rugi-ruginya

Untuk menurunkan	<i>No load Losses</i>	<i>Load Losses</i>	Biaya
<i>no</i> Menggunakan material dengan rugi lebih rendah	Lebih rendah	Tidak berubah	Lebih tinggi
Mengurangi kepadatan fluks dengan cara: Memperbesar CSA ( <i>cross-section area</i> ) Menurunkan tegangan/jumlah lilitan	Lebih rendah	Lebih tinggi	Lebih tinggi
Menggunakan material konduktor yang memiliki rugi-rugi rendah	Tidak berubah	Lebih rendah	Lebih tinggi
Mengurangi kepadatan arus dengan cara memperbesar CSA ( <i>cross-section area</i> )	Lebih tinggi	Lebih rendah	Lebih tinggi

Mengurangi panjang daerah yang dilewati arus dengan cara: 1. Mengurangi CSA inti 2. Meningkatkan tegangan jumlah lilitan	Lebih tinggi	Lebih rendah	Lebih rendah
--	--------------	--------------	--------------

## 2.7 Penyusutan Energi Pada Sambungan (*Jointing*)

Persambungan merupakan salah satu hal yang penting dalam suatu sistem tenaga listrik. Sambungan ini sedikit banyak menentukan keefisienan sistem atau peralatan listrik tersebut. Kontaktor seperti saklar dan rele merupakan peralatan yang harus dapat mengalirkan arus dengan baik apabila dalam kondisi rangkaian tertutup. Dalam kondisi ideal, arus akan mengalir pada rangkaian tertutup dan akan langsung terputus apabila rangkaian terbuka. Pada kenyataannya, kondisi ideal merupakan hal yang mustahil untuk dicapai. Banyak faktor-faktor lain yang menyebabkan kondisi di lapangan berbeda dengan teori yang ada. Busur listrik (*arching*) merupakan fenomena yang muncul pada persambungan. Busur listrik memiliki beberapa efek negatif yang harus diperhatikan seperti munculnya interferensi elektromagnetik, merusak permukaan kontak pada saklar, panas yang dihasilkan dapat menyebabkan permukaan kontak meleleh, dan yang paling berbahaya ialah dapat mencederai atau menyebabkan kematian pada manusia akibat kontak fisik secara langsung.

Busur listrik merupakan fenomena dimana arus bisa melewati celah antara permukaan elektrik seperti dua permukaan kontak pada konektor terpisah. Busur listrik dapat muncul pada kontak yang tertutup, yaitu ketika kedua permukaan saling mendekati sebelum keduanya benar-benar bersentuhan. Busur listrik juga bisa muncul pada kontak yang terbuka, yaitu pada saat permukaan kontak terpisah antara satu dengan lain.

Konektor elektrik atau saklar harus dapat melewatkan arus antara kedua permukaan kontak apabila dalam posisi tertutup. Hal ini menandakan adanya tegangan pada permukaan kontak. Apabila konektor tidak terhubung, atau saklar dalam posisi terbuka, arus akan berhenti mengalir tetapi tegangannya diputus. Pada keadaan yang tepat, tegangan ini akan menyebabkan munculnya busur pada celah antara kedua permukaan kontak.

Busur dapat muncul baik pada permukaan kontak yang terbuka maupun yang tertutup. Dalam kondisi tertutup, tegangan minimum busur turun sebagaimana kedua permukaan kontak saling mendekati. Apabila sumber tegangan terlalu rendah, tidak akan terbentuk busur dan arus hanya akan mulai mengalir apabila kedua permukaan saling bersentuhan. Dengan sumber tegangan yang cukup, busur penutupan akan muncul dimana tegangan minimum busur turun sampai di bawah tegangan sumber.

Busur penutupan diawali dengan elektron meninggalkan katoda dan berpindah melewati celah kontak menuju anoda. Selama perjalanan, elektron akan bertabrakan dengan molekul ionisasi gas di udara. Cahaya yang muncul dari busur berasal dari energi molekul gas. Elektron akan menuju anoda dan memanaskannya sehingga dapat melepaskan ion-ion positif ke celah tersebut. Ion-ion positif ini bersamaan dengan campuran gas yang terjadi juga akan terbombardir dan memanaskan katoda. Pemanasan ini bisa menguapkan bagian dari katoda. Elektron, ion, metal, ion gas dan metal yang menguap semua membentuk kolom busur.

Busur listrik juga dapat muncul bila kedua permukaan kontak terpisah yang menyebabkan terputusnya arus pada rangkain. Hal ini terjadi bila arus dan tegangan beban yang besar terganggu sebagaimana sering ditemukan pada saklar atau rele.

Busur terbuka dapat terjadi dengan cara berbeda. Ada nilai yang pasti dan resistansi elektrik sebagaimana arus ditekan melewati jalur yang kecil melewati permukaan. Dengan permukaan kontak yang mulai terpisah, tekanan berkurang baik dari jumlah maupun ukurannya. Hal ini mendorong nilai arus yang semakin besar yang melewati sisa jalurnya dan resistansi elektrik bertambah. Sementara nilai resistansi yang besar akan menyebabkan penyusutan energi karena rugi saluran resistif juga akan semakin besar.

## **2.8. Jatuh Tegangan**

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Panjang sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan jatuh tegangan tegangan. Jatuh tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim dan tegangan pada sisi terima. Dengan semangkin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada pada sisi terima. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran tranmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan

menengah harus diperhatikan. Berdasarkan dari standar SPLN 1 : 1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan, sebagian akibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya. Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

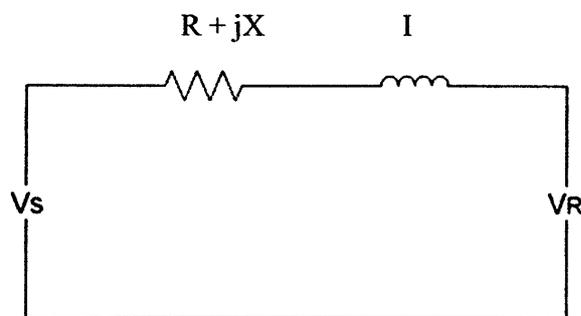
Sebagai contoh dengan menanggapi rangkaian pada gambar 2-8 direpresentasikan sebagai saluran satu fasa, jika variable dimensi yang digunakan ; itu mewakili saluran tiga fasa seimbang jika variable per unit yang digunakan  $R+jX$  mewakili total impedansi dari saluran atau transformator. Factor daya dari beban  $\cos\phi = \cos(\phi_{VR} - \phi_I)$  Memberikan factor daya beban yang jatuh tegangannya maksimum. Jatuh tegangan pada saluran adalah :

$$\Delta V = I ( R \cos\phi + X \sin\phi ) \dots\dots\dots (2.15)$$

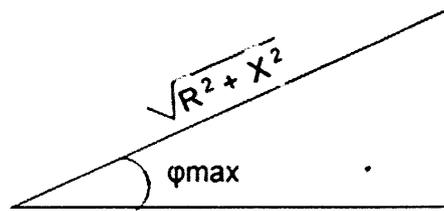
$$\frac{\partial(\Delta V)}{\partial\phi} = IR \sin\phi + I X \cos\phi = 0$$

Atau  $\frac{X}{R} = \frac{\sin\phi}{\cos\phi} = \tan\phi$

Karena  $\phi_{\max} = \tan^{-1} \frac{X}{R} \dots\dots\dots (2.16)$



Gambar 2-8 Rangkaian Ekuivalen Saluran Distribusi



Gambar 2-9 Vektor Arus pada Tegangan Saluran Distribusi

Dan dari segitiga impedansi yang ditunjukkan pada diatas, factor daya beban untuk jatuh tegangan maksimum adalah :

$$PF = \cos \phi_{max} = \frac{R}{(R^2 + X^2)^{1/2}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{Juga } \cos \phi_{max} = \cos \left( \tan^{-1} \frac{X}{R} \right)$$

Besar persentase jatuh tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \%$$

Keterangan :

$V_S$  = Tegangan sumber (Volt)

$V_R$  = Tegangan pada sisi penerima (Volt)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

$X$  = Reaktansi saluran ( $\Omega$ )

$\Delta V$  = Jatuh tegangan (Volt)

$I$  = Arus beban (A)

$\cos \phi$  = Faktor daya beban

Dari persamaan terlihat bahwa nilai jatuh tegangan ditentukan oleh beberapa factor, yaitu daya aktif (P), resistansi dan reaktansi saluran (R dan

X) serta daya reaktif (Q). pengaturan daya aktif erat kaitannya dengan pengaturan frekuensi system. Sedangkan pengaturan daya reaktif akan mempengaruhi nilai tegangan. Oleh karena itu dengan melakukan pengaturan nilai daya reaktif kita dapat mengatur nilai tegangan

## **2.9. Distribusi Pembangkit**

### **2.9.1 Pengertian Distribusi pembangkit**

Distribusi Pembangkit adalah sebuah sumber energi listrik yang terhubung langsung pada jaringan distribusi atau jaringan dekat konsumen / pengguna (Ackermann, 2001).

Berdasarkan kapasitasnya, Distribusi Pembangkit dibagi menjadi empat kategori:

- a. Distribui Pembangkit Rendah :  $1 \text{ Watt} < 5 \text{ kW}$
- b. Distribui Pembangkit Sedang :  $5 \text{ kW} < \text{MW}$
- c. Distribui Pembangkit tinggi :  $5 \text{ MW} < 50 \text{ MW}$
- d. Distribusi Pembangkit sangat tinggi:  $50 \text{ MW} < 300 \text{ MW}$

Berdasarkan teknologinya, Distributed Generation dibagi menjadi tiga kategori:

- a. distribusi pembangkit terbarukan
- b. distribusi pembngkit modular
- c. Gabungan produksi generasi dan tenaga generasi terdistribusi

Teknologi dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan sumber energinya, terbarukan dan tidak terbarukan. Bagian dari teknologi terbarukan adalah energi matahari, cahaya atau termal, angin, geothermal,

dan lautan. Kemudian untuk bagian dari teknologi tidak terbarukan adalah pembakaran internal pada mesin, es, siklus gabungan, turbin pembakaran, turbin mikro, dan *fuel cell*. Kebanyakan sumber energi didesain menggunakan energi hijau yang diasumsikan bebas polusi (Rao, 2012).

Pada tahun-tahun sebelumnya, instalasi menunjukkan peningkatan jumlah pertumbuhannya pada jaringan distribusi di seluruh dunia diakibatkan peningkatan promosi utilisasi dari sumber energi terbarukan dan pengembangan sistem pembangkit terbantu. Seperti yang kita ketahui memberikan efek pada aliran daya dari sistem yang terasosiasi pada jaringan distribusi, rugi-rugi daya pada jaringan tersebut juga akan terpengaruhi (Sulaiman, 2012).

pada jaringan distribusi berfungsi untuk berbagai tujuan: mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan profil tegangan pada penyulang, dan meningkatkan jumlah maksimum daya yang dialirkan pada kabel dan transformator (Nadhir, 2013)

Berikut adalah beberapa hal yang menjadi perhatian ketika dipasang:

a. Sekuritas Daya

Ketika gangguan hubung singkat terjadi, arus gangguan disuplai dari sistem kelistrikan dan menuju titik gangguan. Jika total arus gangguan melebihi kapasitas dari *circuit breaker* penyulang, gangguan tidak dapat dipisahkan dan hal tersebut akan terus berlangsung.

b. Kualitas Daya

Tegangan dari sistem saluran lokal cenderung fluktuatif jika keluaran dari berubah untuk waktu yang singkat, dan fluktuasi ini dapat

menyebabkan *over voltage* atau *under voltage* pada sisi pengguna. Hal inilah yang menjadi perhatian ketika sistem pembangkitan yang bergantung pada kondisi alam, seperti pembangkit listrik tenaga angin atau sel surya, terinterkoneksi pada sistem jaringan lokal.

c. Keandalan (*Reliability*)

Unit-unit dapat memiliki dampak positif pada sistem distribusi jika secara benar dikoordinasikan pada jaringan yang tersisa. Contoh umum dari penggunaan adalah ketika beroperasi pada kasus gangguan suplai utama. Ketika dioperasikan paralel dengan sistem, pertimbangan baru diperkenalkan pada prosedur operasi dan perencanaan jaringan. Cara alternatif sederhana untuk memodelkan adalah dengan memberikan nilai konstan pada injeksi daya aktif dan reaktif independen terhadap tegangan sistem pada terminal bus unit. Model dari beban negatif dapat memiliki dampak positif pada keandalan sistem jika model evaluasi keandalannya mempertimbangkan batasan kapasitas saat pemulihan sistem setelah gangguan terjadi. Cara lainnya adalah memodelkan unit-unit sebagai sumber pengontrol tegangan dimana tegangan terminal dipertahankan pada nilai konstan dengan injeksi daya reaktif. Untuk keandalannya pertama menerapkan *Flower Pollination Algorithm*. Kemudian menerapkan *Multi Objective Optimization (MOO)*, tujuannya adalah untuk mengoptimasi sistem .

d. Rugi-rugi Daya dan Profil Tegangan

Tegangan sistem distribusi diatur oleh transformator distribusi pada gardu induk, pegatur tegangan dan kapasitor pada penyulang. Bentuk

pengaturan tegangan ini diasumsikan sebagai aliran daya dari gardu induk ke beban, memperkenalkan aliran daya terbalik yang secara praktis mengubah aturan lama. Hal ini diakibatkan penempatan yang tidak tepat dapat menyebabkan *over voltage* atau *under voltage* pada jaringan. Instalasi memiliki dampak positif pada jaringan distribusi dengan mengadakan kompensasi reaktif, pengatur tegangan, pengurangan rugi-rugi daya, selain berkontribusi pada pengaturan frekuensi dan sebagai *back up* saat kasus sistem utama gagal.

Unit-unit harus diletakkan dimana pengurangan rugi-rugi daya paling tinggi terjadi dan kapasitor berfungsi untuk mengurangi rugi-rugi daya. Perbedaan utama dari berpengaruh hanya pada daya aktif, hanya pada daya reaktif, atau daya aktif dan reaktif, sedangkan kapasitor hanya mempengaruhi daya reaktif. Sangat disayangkan, utilitas energi listrik tidak memiliki kontrol pasti terhadap penempatan instalasinya (Rao,201

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Penelitian ini diawali dengan pengambilan data yang berhubungan dengan jaringan distribusi pada PT. PLN (Persero) Gardu Induk Medan Denai.

#### **3.2. Alat Penelitian**

Alat yang dalam penelitian :

1. Multi Tester
2. Meter Tahanan Isolasi
3. Meter Tahanan Kontak
4. Meter urutan fasa

#### **4.3. Variabel Penelitian**

Variabel penelitian adalah obyek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi objek atau variabel penelitiannya adalah suatu sistem yang tersusun dari peralatan dan komponen listrik seperti generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban- beban listrik atau pelanggan. Pendistribusian tenaga listrik adalah bagian dari suatu proses sistem tenaga listrik yang secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

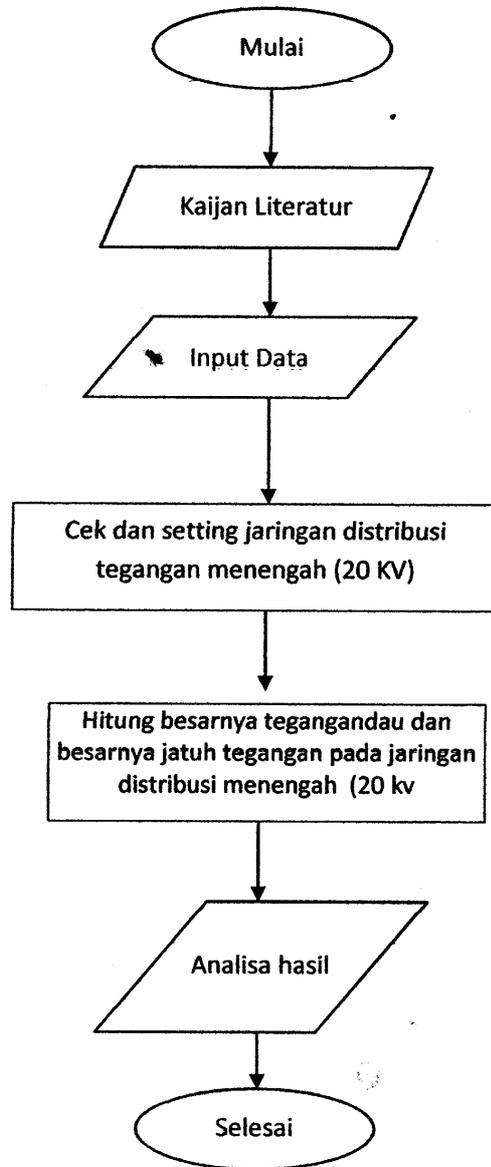
1. Pusat pembangkit tenaga listrik
2. Proses penyaluran daya distribusi tenaga listrik tegangan menengah (20 kv)
3. Proses pendistribusian tenaga listrik (Tegangan rendah 380/220 V)

#### **4.4. Jalannya Penelitian**

Penelitian dilakukan beberapa tahap sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan alat yang akan digunakan bersumber dari elektrikal Departement PT. PLN (Persero) Gardu Induk Medan Denai.
- b. Mengukur tegangan, frekuensi dan arus pada jaringan distribusi tegangan menengah.
- c. Menganalisis pengaruh distribusi terhadap jaringan tegangan menengah.
- d. Menyajikan hasil penyajian dala bentuk tabel, data perhitungan dan grafik sebagai bahan hasil penelitian.
- e. Menyimpulkan bagaimana analisa kualitas daya terhadap jaringan distribusi tegangan menengah di PT. PLN Persero Gardu Induk Medan Denai.

#### 4.5. Diagram Alir Jalannya Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

#### **4.6. Teknik Analisa Data**

Hal ini merupakan suatu langkah penting dalam penelitian, terutama bila digunakan sebagai simpulan tentang masalah yang diteliti. Dalam hal ini bersifat, analisa yang digunakan adalah analisa deskriptif persentase. Adapun analisis yang akan dilakukan adalah analisis *Daya Pada jatuh tegangan Jaringan Distribusi Tegangan Menengah.*

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem yang digunakan

Pada tugas akhir ini sistem yang dianalisa dan disimulasi adalah sistem distribusi PLN Persero (Gardu Induk Denai) merupakan pembangkit listrik dimana feeder mempunyai beberapa buah transformator distribusi step down dan sistem aliran daya. Sistem distribusi PLN Persero (Gardu Induk Denai) adalah sistem distribusi radial.

#### 4.2. Analisa Jatuh Tegangan

Untuk mengetahui besar tegangan jatuh sepanjang distribusi, maka diperlukan data-data mengenai saluran distribusi primer dan transformator yang terpasang dan daya yang disalurkan dari gardu induk Medan Denai.

Tabel 4.1. Konstanta jaringan SPLN 64 tahun 1985 yang digunakan GI Medan Denai

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Impedansi (ohm/kms)	Kha (A)
XLPE	2400,0980 +j0,133	553
AAAC 240	0,1344+j0,3158	585
AAAC 150	0.2162 +j0.3305	425
AAAC 70	0.4608 +j0.3572	155
AAAC 50	0.6452 + j0.3678	210

Tabel 4.2. Data Saluran Penyulang GI Medan Denai

No	Kode	Daerah Pelayanan	Panjang Total Jaringan SUTM
1	PG.2	Jl. Harapan Pasti Jl. Jl. Selamat Ujung	57.76
2	PG.3	Jl. Seksama/Blok H Jl. Saudara	59.47
3	PG.5	Jl. Bahagia By Pass Jl. Air Bersih	9.9

Tabel 4.3. Data Hasil Ukur Transformator Distribusi

No.	No. Gardu	KVA Trafo	kVA Trafo Pada saat Puncak	kVA Trafo Pada saat Puncak
1	GI.1	250	9.17	205
2	GI.2	400	11.71	380
3	GI.3	315	17.55	300
4	GI.4	400	18.36	380
5	GI.5	160	19.56	140
6	GI.6	160	21.25	130
7	GI.7	630	23.42	520
8	GI.8	160	25.33	140
9	GI.9	800	27.97	650
10	GI.10	200	28.24	175
11	GI.11	160	28.87	146
12	GI.12	315	28.62	278
13	GI.13	3.180	39.85	2978

14	GI.14	250	30.65	237
15	GI.15	160	32.71	148
16	GI.16	400	32.97	379
17	GI.17	160	30.92	144
18	GI.18	250	23.31	239
19	GI.19	4.000	25.34	3905
20	GI.20	250	22.35	237
21	GI.21	315	2.56	282
22	GI.22	250	22.86	236
23	GI.23	160	23.21	149
24	GI.24	160	23.31	143
25	GI.25	200	23.68	188
26	GI.26	315	2.87	286
27	GI.27	351	6.09	344
28	GI.28	3.180	5.81	2945
29	GI.29	630	10.11	615
30	GI.30	600	7.99	583

1. Analisa data tegangan jatuh pada sisi primer transformator pada saat beban puncak.

Untuk data Trafo distribusi No.1

- ❖ Besar arus phasa pada sisi primer transformator :

$$I_{\text{phasa}} = \frac{205}{3(20)} = 3.42 \text{ A}$$

- ❖ Tahanan total saluran distribusi dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{utama}} L_{\text{utama}} + R_{\text{sub utama}} L_{\text{sub utama}} + R_{\text{lateral}} L_{\text{lateral}}$$

$$R_{\text{total}} = [(0,098 \times 3,12) + (0,2162 \times 4,96)] + 0 + (0,6452 \times 1,09)$$

$$= 2,08 \text{ Ohm/Kms}$$

- ❖ Induktansi total saluran primer dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$X_{\text{Total}} = X_{\text{utama}} L_{\text{utama}} + X_{\text{sub utama}} L_{\text{sub utama}} + X_{\text{lateral}} L_{\text{lateral}}$$

$$R_{\text{total}} = [(0,133 \times 3,12) + (0,3305 \times 4,96)] + 0 + (0,3678 \times 1,09)$$

$$= 2,46 \text{ Ohm/Kms}$$

- ❖ Perhitungan tegangan jatuh pada saluran distribusi primer dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$\Delta V_{\text{total}} = \Delta V_{\text{utama}} + \Delta V_{\text{sub utama}} + \Delta V_{\text{lateral}}$$

$$\Delta V_{\text{total}} = \sqrt{3} \times 3,42 \times [(2,08 \times 0,91) + (2,46 \times 0,41)]$$

$$= 17,17 \text{ volt}$$

- ❖ Perhitungan besar rugi-rugi daya aktif adalah :

$$\Delta P = 3 I_{\text{phasa}} R_{\text{total}}^2$$

$$\Delta P = 3 \times 3,42 \times 2,08^2$$

$$= 44,40 \text{ Watt}$$

- ❖ Perhitungan besar rugi-rugi daya reaktif adalah :

$$\Delta Q = 3 I_{\text{phasa}} X_{\text{total}}^2$$

$$\Delta P = 3 \times 3,42 \times 2,46^2$$

$$= 61,78 \text{ VAR}$$

- ❖ Persentase tegangan jatuh saluran distribusi dari gardu induk sampai ke sisi primer transformator adalah :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{LL}} \times 100 \%$$

$$\% \Delta V = \frac{17,17}{2000} \times 100 \%$$

$$= 0,09 \%$$

Data berikutnya dapat dianalisa dengan cara yang sama, sehingga diperoleh hasilnya pada table 4.4 yaitu :

Tabel 4.4. Analisa Data Tegangan Jatuh Pada Saluran Distribusi Primer dari Gardu Induk Medan Denai Sampai pada Transformator Distribsi pada Saat Beban Puncak

No.	No. Gardu	Panjang Saluran (Kms)	I <sub>primer/Phasa</sub> (A)	R <sub>total</sub> (Ohm/Kms)	X <sub>total</sub> (Ohm/Kms)	Cos $\phi$	Sin $\phi$	$\Delta P$ (Watt)	$\Delta Q$ (VAR)	$\Delta V_{total}$ (Volt)	% (vol t)
1	GI.1	m	3,42	2,1	2,5	0,91	0,4	44	61,78	17,17	0,09
2	GI.2	11,71	6,3	2,4	128	0,92	0,4	11.92	204,76	38,54	0,19
3	GI.3	22,36	5	3,5	5,2	0,9	0,39	183,85	403,05	45,40	23
4	GI.4	22,86	6,3	3,9	5,5	0,92	0,4	285	569,12	62,51	0,31
5	GI.5	23,16	2,3	3,51	5,8	0,93	0,4	86	234,25	21,83	0,11
6	GI.6	23,98	2,17	3,73	6,32	0,92	0,39	91	259,51	22,14	0,11
7	GI.7	25,24	8,7	4,3	7	0,91	0,41	478	1287,50	101,86	0,51
8	GI.8	26,3	2,33	4,3	7,61	0,9	0,44	128,36	405,07	29,10	0,15
9	GI.9	28,57	10,83	5,21	8,0	0,9	0,44	881,88	2347,57	158,13	0,79
10	GI.10	29,37	2,92	5,63	8,68	0,9	0,44	277,33	659,83	44,90	0,22
11	GI.11	29,1	2,43	4,76	8,72	0,9	0,4	165,26	555,71	34,23	0,17
12	GI.12	29,25	4,63	4,76	8,7	0,9	0,4	314,67	1.058,14	61,42	0,31
13	GI.13	39,85	49,63	8	12,37	0,91	0,4	9.435.00	22.777,65	1.058,64	5,29
14	GI.14	30,65	4	5	9,3	0,91	0,41	296	1.022,06	57,16	0,29
15	GI.15	33,97	2,5	5,3	9,9	0,90	0,43	206	730,80	38,96	0,19
16	GI.16	36,15	6,32	5,31	10	0,9	0,4	534	1902,49	97,80	0,49
17	GI.17	35,28	2,4	5,03	9,37	0,92	0,4	182	632,46	34,44	0,17
18	GI.18	23,31	3,98	5,2	7,13	0,9	0,4	325	608,31	51,65	0,26

19	GI.19	25,34	65	6,5	7,9	0,92	0,4	8303	12.128,20	1.022,77	5,11
20	GI.20	25,35	4	4,50	6,8	0,9	0,44	240	54373	48,11	0,24
21	GI.21	25,56	4,7	4,51	6,8	0,92	0,39	287	659,65	55,48	0,28
22	GI.22	25,86	3,93	4,6	6,94	0,91	0,4	247	568,17	47,73	0,24
23	GI.23	26,09	2,48	4,70	7,1	0,92	0,39	164,62	37 1,25	30,44	0,15
24	GI.24	26,3 1	2,38	4,67	7,09	0,9	0,44	155,99	359,19	30,23	0,15
25	GI.25	26,68	3,13	4,75	7,2	0,9	0,39	212,16	488,66	38,98	0,19
26	GI.26	2,87	4,77	0,40	0,6	0,9	0,41	2,25	4,73	4,93 -	0,02
27	GI.27	6,09	5,73	1,87	1,71	0,92	0,39	60	50,10	23,65	0,12
28	GI.28	5,77	49	1,2	1,6	0,9	0,4	200	358,97	147,52	0,74
29	GI.29	10,11	10,25	1,1	3	0,9	0,44	33,89	280,09	40,35	0,20
30	GI.30	7,99	9,7	1,50	2,27	0,92	0,4	66	149,87	38,17	0,19

Data yang diperoleh 4 transformator distribusi yang besar persentase tegangan jatuh pada sisi primernya lebih dari 5%. Dimana menurut SPLN 72 : 1987 penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah :

- a. JTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- b. SKTM = 2% dari tegangan kerja pada system spindle dan gugus
- c. Trafo distribusi = 3% dari tegangan kerja
- d. Saluran tegangan rendah = 4% dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban
- e. Sambungan rumah = 1% dari tegangan nominal

2. Analisa Data Tegangan Jatuh Pada Sisi Primer Transformator Yang Lebihdari 5% Sebelum Mengalami Perbaikan

Tabel 4.5 Data Tranformator Yang Tegangan Jatuh Pada Sisi Primer Sebelum Mengalami perbaikan (>5%)

No	No. Gardu	I <sub>Priert/ phasa</sub> (A)	L <sub>utama</sub> (Kms)	L <sub>sub utama</sub> (Kms)	L <sub>Laeral</sub> (Krms)	ΔV <sub>utama</sub> (Volt)	ΔV <sub>Sub utama</sub> (Volt)	ΔV <sub>Lateral</sub> (Volt)	ΔV <sub>total</sub> (Volt)	ΔP (Watt)	ΔQ (VAR)
1	GI.13	49,63	30,07	6.4	3.38	705.70	138.52	214.41	1.058,64	9.435,00	22.777,65
2	GI.19	65,08	22,05	0	3.29	749,43	0	273.34	1.022,77	8.303,04	12.128,20
3	GI.26	65,33	23,16	0	3.10	808,28	0	196.69	1.004,97	7.564,10	13.791,67
4	GI.29	57,67	24,49	3,3	1.00	756,38	242.63	73.52	1,072,53	10.649,02	14.969,88

3. Analisa Dta Tegangan Jatuh pada sisi primer Transformator setelah mengalami perbaikan.

Dari tabel diatas kita dapat memperbaiki tegangan jatuh pada sisi primer transformator distribusi dengan penempatan ulang lokasi transformator distribusi tersebut.

1. GI. 13

$$\begin{aligned}\Delta V_{ijinkan} &= 5\% \times 20.000 \\ &= 1.000 \text{ Volt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta V_{total} &= \Delta V_{utama} + \Delta V_{Sub utama} + \Delta V_{lateral} \\ &= 705.70 + 138.52 + 214.41\end{aligned}$$

$$= 1.058,64 \text{ volt}$$

Maka selisih tegangan jatuh yang harus di kurangi adalah :

$$= 1.022,77 - 1.000 = 22,77 \text{ volt}$$

Maka besar perubahan jarak transformator yang diinginkan pada bagian lateral adalah :

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\Delta V}{\sqrt{3} \times 1 \times (R \cos \phi + X \sin \phi)} \\ &= \frac{58.64}{\sqrt{3} \times 49.63 \times (0.6452 \times 0.91) + (0.3678 \times 0.41)} \\ &= 0.92 \text{ km} \end{aligned}$$

Maka jarak transformator setelah mengalami perbaikan jarak adalah :

$$\begin{aligned} L_2 &= L_1 - \Delta L \\ &= 3.29 - 0.952 \\ &= 2.37 \text{ kms} \end{aligned}$$

## 2. Analisa Rugi Daya Aktif, Reaktif dan Efisiensi Pada Transformator Sebelum dan Setelah Mengalami Perbaikan.

Untuk Data Transformator Gardu SL 117

➤ Sebelum Perbaikan

$$S_{in} = 2.978 \text{ kVA}$$

$$P_{in} = S_{in} \cos \phi$$

$$= 2.978 \times 0.91$$

$$= 2.709,98 \text{ kWatt}$$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \Sigma \text{ rugi-rugi}$$

$$= 2.709,98 - (3.75 + \left(\frac{2.900}{3.180}\right) \times 33)$$

$$= 2.676,14 \text{ watt}$$

$$S_{\text{sin}} = S_{\text{total}} - \Delta S$$

$$= 2.978.000 + \sqrt{9.435.00^2 + 22.777,65^2}$$

$$= 3.002.654,423 \text{ VA} = 3.002,65 \text{ kVA}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{2.676,32}{2.709,98} \times 100 \% = 97.751 \%$$

➤ Sesudah perbaikan

$$S_{\text{sin}} = S_{\text{total}} - \Delta S$$

$$= 3.002.654,423 + \sqrt{8.080.34^2 + 21,548,38^2}$$

$$= 2.979.640,849 \text{ VA} = 2.979,64$$

$$P_{\text{in}} = \text{Sin Cos } \phi$$

$$= 2.979,64 \times 0.91$$

$$= 2.711,47 \text{ kWatt}$$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \Sigma \text{ rugi-rugi}$$

$$= P_{\text{in}} (P_i + P_t)$$

$$= 2.711,47 - (3.75 + \left(\frac{2.900}{3.180}\right) \times 33)$$

$$= 2.677,63 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{2.677,63}{2.711,47} \times 100 \% = 98.752 \%$$

Data berikutnya dapat dianalisa dengan cara yang sama, sehingga hasilnya pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.6. Hasil Analisa Daya Input dan output, Rugi daya dan efisiensi transformator sebelum dan sesudah perbaikan.

- Sebelum Perbaikan

No	No. Gardu	S <sub>Prier</sub> (kVA)	P <sub>in</sub> (kWatt)	P <sub>out</sub> (kWatt)	KVA beban	η
1	GI.13	2.978	2.709,98	2.676,14	2.900	98,7511
2	GI.19	3.905	3.592,6	3.538,07	3.875	98,4821
3	GI.26	3.920	3.645,6	3.591,00	3.880	98,5024
4	GI.29	3.460	3.217,8	3.171,84	3.310	98,5718

- Sesudah Perbaikan

No	No. Gardu	$S_{Prier}$ (kVA)	$P_{in}$ (kWatt)	$P_{out}$ (kWatt)	KVA beban	$\eta$
1	GI.13	2.979,64	2.711,47	2.677,63	2.900	98,7518
2	GI.19	3.906,64	3.594,11	3.539,58	3.875	98,4828
3	GI.26	3.920,13	3.645,72	3.591,12	3.880	98,5025
4	GI.29	3.461,89	3.219,55	3.173,60	3.310	98,5726

Dari perhitungan diatas didapat bahwa pada transformator distribusi yang besar jatuh tegangan pada sisi saluran distribusi primernya lebih dari 5%. Maka panjang transformator yang dirubah adalah pada sisi yang jauh dari transformator. Dimana terdapat transformator yang mengalami perubahan letaknya yaitu pada sisi lateral. Dengan nomor GI 17 dan jarak 3.38 kms menjadi 2.46 kms, GI 19 dari jarak 3.29 Kms menjadi 2.37 kms, GI 26 dari jarak 3.1 kms menjadi 3.02 kms , GI 29 dari jarak 1 kms menjadi 0.01 kms. Dengan memperbaiki posisi atau jarak transformator distribusi dari gardu induk yang dibuat maka akan lebih mengoptimalkan transformator bekerja.

### **4.3 Analisa Daya Pelanggan Terhadap kapasitas Transformator Distribusi Terpasang**

Dari data yang diperoleh dari PLN Persero (Gardu Induk Denai) menunjukkan bahwa meningkatnya pelanggan semakin besar sehingga pembebanan yang diberikan kepada pelanggan terhadap kapasitas transformator yang terpasang pada sistem distribusi tidak sebanding karena jumlah daya pelanggan untuk satu transformator melebihi kapasitas transformator yang terpasang, salah satunya seperti terlihat pada tabel 7 dibawah yaitu transformator GI Denai.01 diketahui kapasitas 120 kVA dengan jumlah pelanggan 212 sambungan dan jumlah daya pelanggan 381.6 kVA atau 381600 VA sehingga pada transformator GI Denai.01 tersebut tidak mampu memikul besarnya beban yang diberikan secara bersamaan. Hal ini menyebabkan transformator bekerja pada kondisi abnormal, beban lebih (overload) akan menyebabkan arus yang mengalir pada jaringan listrik menjadi besar akan menimbulkan panas yang berlebihan akhirnya akan menyebabkan life time dari transformator menjadi pendek atau mempercepat proses kerusakan isolasi dari pada kumparan transformator yang menyebabkan hubung singkat antara lilitan satu dengan lilitan yang lain akhirnya transformator tidak bisa berfungsi bahkan terbakar atau meledak.

Untuk mengetahui lebih jelas kapasitas semua transformator dan berapa besarnya beban pelanggan yang disuplai untuk satu transformator distribusi di PLN Persero (Gardu Induk Denai) dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.7. Kapasitas transformator dan jumlah daya pelanggan terpasang PLN Persero (Gardu Induk Denai).

No	No Trafo	Daya trafo (kVA)	Jumlah Pelanggan Tiap Trafo	Jumlah Daya Pelanggan (VA)
1	GI.1	120	212	381600
2	GI.2	250	438	860400
3	GI.3	100	197	347400
4	GI.4	315	326	577350
5	GI.5	160	206	332325
6	GI.6	160	300	410625
7	GI.7	100	212	336825
8	GI.8	100	207	301050
9	GI.9	160	294	335700
10	GI.10	160	43	109350
12	GI.11	50	99	136350
13	GI.12	50	77	88200
14	GI.13	50	80	5625
15	GI.14	100	164	146700
16	GI.15	50	29	23850
17	GI.16	50	75	80550
18	GI.17	160	116	146700
19	GI.18	50	19	17100
20	GI.19	160	195	223650
21	GI.20	50	43	54450
22	GI.21	50	30	36450
23	GI.22	50	51	44100
24	GI.23	50	494	74250
25	GI.24	100	221	269550
26	GI.25	100	10	31950

27	GI.26	100	50	8565
28	GI.27	100	40	3916
29	GI.28	100	25	56000
30	GI.29	200	1	180000
21	GI.30	200	1	149200

#### **4.4 Mengatasi Ketidakseimbangan beban pelanggan terhadap kapasitas transformator Terpasang**

Melihat pada tabel 4.1 diatas bahwa ada beberapa buah transformator distribusi mengalami pembebanan yang berlebihan terhadap kapasitas transformator step down pada jaringan distribusi di lokasi masing-masing dan transformator step up di pembangkit dan generator diesel yang terpasang oleh karena itu untuk meningkatkan kualitas daya yang baik dan semua peralatan listrik yang ada tidak mengalami life time yang pendek maka perlu adanya penambahan atau pengantian beberapa buah transformator distribusi yang mengalami beban lebih dan perlu adanya penambahan generator untuk memperbesar kapasitas pembangkit yang selama ini beroperasi.

#### **4.5 Mengganti Transformator Distribusi**

Untuk mengatasi ketidakseimbangan beban pelanggan terhadap kapasitas transformator yang terpasang pada Gardu Induk Medan Denai dengan jumlah daya pelanggan 381.6 kVA sudah melebihi transformator GI Denai.01 berkapasitas 120 kVA yang telah terpasang maka perlu diganti dengan transformator yang kapasitas lebih besar yang mampu melayani daya pelanggan tersebut yaitu 400 kVA. Sedangkan untuk transformator GI Denai.02 berkapasitas

250 kVA dengan jumlah pelanggan 860.4 kVA diganti dengan transformator yang lebih besar kapasitasnya yaitu 800 kVA, begitu seterusnya untuk pengantian transformator lain yang kapasitas kVAny kecil ke kapasitas transformator lebih besar pula dapat dilihat pada tabel 4.2. berikut.

Tabel 4.8. Pengantian Kapasitas transformator lama dengan baru sesuai dengan jumlah daya pelanggan pada masing-masing transformator

No	No Trafo	Daya trafo (kVA)	Jumlah Pelanggan Tiap Trafo	Jumlah Daya Pelanggan (VA)	Daya trafo baru (Kva)
1	GI.1	120	212	381600	400
2	GI.2	250	438	860400	800
3	GI.3	100	197	347400	400
4	GI.4	315	326	577350	630
5	GI.5	160	206	332325	400
6	GI.6	160	300	410625	400
7	GI.7	100	212	336825	400
8	GI.8	100	207	301050	400
9	GI.9	160	294	335700	400
10	GI.10	■	43	109350	■
11	GI.11	50	99	136350	160
12	GI.12	50	77	88200	100
13	GI.13	50	80	5625	100
14	GI.14	100	164	146700	160
15	GI.15	■	29	■	■
16	GI.16	50	75	80550	100
17	GI.17	■	116	146700	■
18	GI.18	■	19	17100	■
19	GI.19	160	195	223650	250
20	GI.20	50	43	54450	100

21	GI.21	■	30	36450	■
22	GI.22	■	51	44100	■
23	GI.23	50	494	74250	100
24	GI.24	100	221	269550	315
25	GI.25	■	10	31950	■
26	GI.26	■	50	8565	■
27	GI.27	■	40	3916	■
28	GI.28	■	25	56000	■
29	GI.29	■	1	180000	■
30	GI.30	■	1	149200	■
31	Laga 1	■	227	102150	■
32	Laga 2	■	57	51300	■
33	Laga 3	■	96	43300	■
34	Laga 4	■	40	18000	■
Total		3695		6049915	7235

Bagian kolom yang diberi warna pada tabel 4.2. merupakan transformator yang tidak perlu diganti karena tidak mengalami overload.

#### 4.6. Daya pelanggan Feeder I

Jumlah transformator yang disuplai feeder I sebanyak 10 buah transformator dan jumlah daya pelanggan untuk setiap transformator pada feeder I seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 4.9. Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya pelanggan feeder I

No	No trafo	P Trafo kVa	Jarak trafo (km)	Jumlah pelanggan	Jumlah daya pelanggan (kVa)
1	GI.28	100	1.5	25	56000
2	GI.13	50	0.816	50	56925
3	GI.14	100	1.3	164	146700
4	GI.15	50	3.6	29	23850
5	GI.23	50	4.1	94	74250
6	GI.27	100	2.5	40	3916
7	Laga 1	50	1.0	227	102150
8	Laga 2	100	3.3	57	51300
9	Laga 3	50	2	96	43300
10	Laga 4	50	2.3	40	18000

Jadi jumlah daya pelanggan untuk feeder I sebesar 0.53 MVA.

#### 4.7 Daya pelanggan Feeder II

Jumlah transformator yang disuplai feeder II sebanyak 9 buah transformator dan jumlah daya pelanggan untuk setiap transformator pada feeder II seperti terlihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.10. Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya pelanggan feeder II.

No	No trafo	Day trafo kVa	Jarak trafo	Jumlah pelanggan tiap trafo	Jumlah daya pelanggan (VA)
1	GI.01	120	1.4	212	381600
2	GI.02	250	1.1	438	860400
3	GI.03	100	1.1	197	347400
4	GI.04	315	0.26	326	577350
5	GI.05	160	0.83	206	332325

6	GI.06	160	1.7	300	410625
7	GI.11	50	0.96	99	136350
8	GI.12	50	1.1	77	88200
9	GI.30	200	0.5	1	149200
Total		1205	8.45	1855	3283450

Jadi jumlah daya pelanggan untuk feeder I sebesar 3.29 MVA

#### 4.8 Daya pelanggan Feeder III

Jumlah transformator yang disuplai feeder III sebanyak 15 buah transformator dan jumlah daya pelanggan untuk setiap transformator pada feeder III seperti terlihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.11. Kapasitas Transformator dan Jumlah Daya pelanggan feeder III.

No	No. Trafo	Daya Trafo kVA	Jarak Trafo (km)	Jumlah Pelanggan Tiap Trafo	Jlh Daya Pelanggan (VA)
1	GI.07	100	0.89	212	336825
2	GI.08	100	0.23	207	301050
3	GI.09	160	0.3	294	335700
4	GI.10	160	3.4	43	109350
5	GI.16	50	0.83	31	80550
6	GI.17	160	2.3	116	146250
7	GI.18	50	2.5	19	17100
8	GI.19	160	3.5	195	223650
9	GI.20	50	4.2	43	54450
10	GI.21	50	1.4	20	36450
11	GI.22	50	3	51	44100
12	GI.24	100	0.57	221	269550

13	GI.25	100	0.5	10	31950
14	GI.30	200	4.2	1	180000
15	GI.SPL	100	1.5	23	56000
Total		29.52	1488		2222975

Jadi jumlah daya pelanggan untuk feeder III sebesar 2.23 MVA

#### 4.9 Regulasi Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan, jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus, pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor daya. Jatuh tegangan relatif dinamakan regulasi tegangan dan dinyatakan dengan rumus:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

Dimana :

$V_s$  = Tegangan ujung pengiriman (volt)

$V_r$  = Tegangan ujung penerimaan (volt)

Rugi-rugi tegangan jaringan distribusi disebabkan oleh tahanan penghantar, penampang penghantar dan panjang penghantar semakin panjang penghantar semakin besar pula rugi tegangan.

Dengan demikian untuk sistem distribusi tegangan yang sampai pada sisi terima dapat diperoleh dengan *load flow calculation* pada keadaan berbeban dalam kondisi normal (sebelum pemasangan kapasitor) untuk setiap feeder tegangan pada sisi kirim jaringan tegangan menengah PLN PERSERO (GARDU

INDUK DENAI) 20 kV, dan sampai pada sisi terima yang paling ujung yaitu untuk:

a. Feeder I.

b. Tegangan sumber sampai pada transformator GI.31(laga) yang paling ujung tentangan terukur 18.56 kV, Jadi besar penurunan tegangan atau tengangan regulasi dapatdiperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} V_{reg} &= \frac{20 - 18.56}{18.56} \times 100\% \\ &= 7.76\% \end{aligned}$$

c. Feeder II

Tegangan sumber sampai pada transformasi GI.03 (Tasi) yang paling ujung tengangan terukur 18,494 kV ( operasi pada kondisi pertama), jadi besar penurunan tengangan atau tengangan regulasi dapat diperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} V_{reg} &= \frac{20 - 18,494}{18,494} \times 100\% \\ &= 8.1\% \end{aligned}$$

Tegangan sumber sampai pada transformator Tegangan sumber sampai pada transformasi GI.03 (Tasi) yang paling ujung tengangan terukur 18,494 kV (operasi pada kondisi kedua), jadi besar penurunan tengangan atau tengangan regulasi dapat diperoleh :

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_{reg} = \frac{20 - 18,494}{18,494} \times 100\% = 8.1\%$$

Tegangan sumber sampai pada transformator GI.03 corcios yang paling ujung tegangan terukur 18.494 kV (operasi pada kondisi kedua), jadi besar penurunan tegangan atau tegangan regulasi dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} V_{reg} &= \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\% \\ &= \frac{20 - 18,494}{18,494} \times 100\% \\ &= 5.7\% \end{aligned}$$

d. Feeder III.

Tegangan sumber sampai transformasi GI.22 (Uaibiana) yang paling ujung tegangan terukur 18.832 kV, Jadi besar penurunan tegangan atau tegangan rgulasi dapat diperoleh

$$\begin{aligned} V_{reg} &= \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\% \\ V_{reg} &= \frac{20 - 18,832}{18,832} \times 100\% = 5.7\% \end{aligned}$$

#### 4.10 Regulasi Tegangan Pada Kondisi penambahan kapasitor

Tegangan yang diperoleh dengan load flow calculation pada keadaan berbeban dalam kondisi Penambahan kapasitor yaitu tegangan pada sisikirim jaringan tegangan menengah PLN Persero (Gardu Induk Denai) 20 kV, dan sampai pada sisi terima yang paling akhir yaitu untuk:

a. Feeder I.

Tegangan sumber sampai pada transformator GI Denai.31 (Laga) paling ujung tegangan terukur 19.227 kV, jadi besar penurunan tegangan atau tegangan regulasi dapat diperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_{reg} = \frac{20 - 19,227}{19,227} \times 100\% = 4.1\%$$

**b. Feeder II.**

Tegangan sumber sampai pada transformator GI DENAI.12 (Tasi) paling ujung tegangan terukur 19.023 kV (operasi pada kondisi pertama), jadi penurunan tegangan atau tegangan regulasi dapat diperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_{reg} = \frac{20 - 19,227}{19,227} \times 100\% = 5.1\%$$

Tegangan sumber sampai pada transformator GI DENAI.03 (correios) paling ujung tegangan terukur 19.36 kV (operasi pada kondisi kedua), jadi penurunan tegangan atau tegangan regulasi dapat diperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_{reg} = \frac{20 - 19,36}{19,36} \times 100\% = 3.3\%$$

**c. Feeder III.**

Tegangan sumber sampai pada transformator GI DENAI.22 (Uaibiana) paling ujung tegangan terukur 19.48 kV, jadi penurunan tegangan atau tegangan regulasi dapat diperoleh:

$$V_{reg} = \frac{V_S - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_{reg} = \frac{20 - 19,48}{19,48} \times 100\% = 2.7\%$$

#### 4.11 Kurva Daya dan Arus pelanggan pada Malam Hari

Daya yang digunakan masyarakat di PLN Persero (Gardu Induk Denai) yang paling besar umumnya pada malam hari sedangkan pada siang hari tidak begitu menggunakan karena mengingat begitu mahalnya tarif listrik perkwh di GI Medan Denai dan daya pelanggan pada setiap feeder pada malam hari naik seperti pada kurva daya dan kurva arus di setiap feeder, data tersebut diambil pada malam hari.

Tabel 4.12. Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada Malam Hari Feeder I

Jam	Daya Pelanggan (kW)	Arus Pelanggan (A)
17.00	138	5
18.00	156	6
19.00	225	9
20.00	300	12
21.00	460	18
22.00	476	19
23.00	370	15
24.00	308	11
01.00	262	10
02.00	159	6
03.00	100	5
04.00	95	4
05.00	95	4

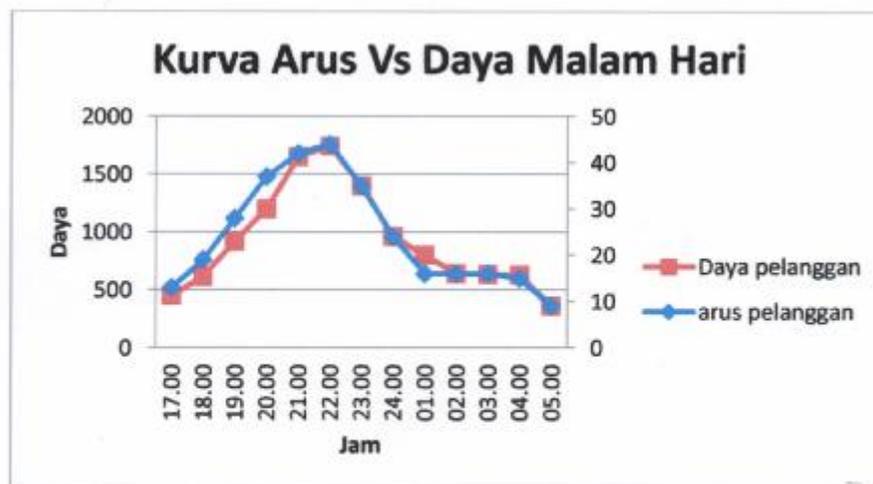


Gambar 4.1. Kurva penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feeder I

Tabel 4.13. Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada Malam Hari Feeder II

Jam	Daya Pelanggan (kW)	Arus Pelanggan (A)
17.00	450	13
18.00	615	19
19.00	920	28
20.00	1200	37
21.00	1650	42
22.00	1743	44
23.00	140	35

24.00	960	24
01.00	799	16
02.00	639	16
03.00	635	16
04.00	628	15
05.00	360	9

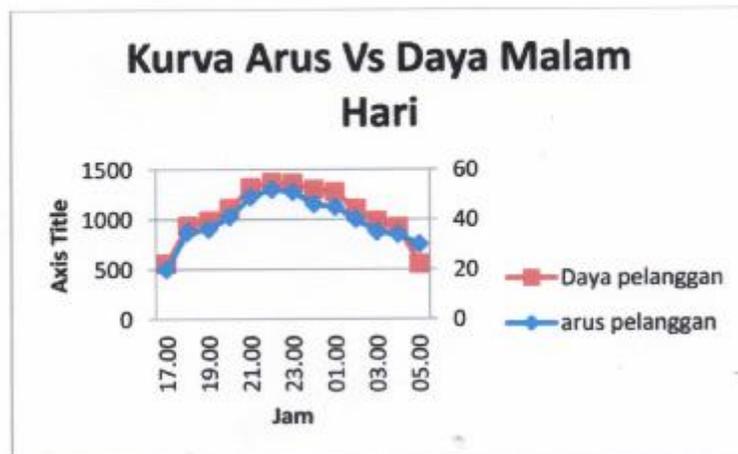


Gambar 4.2. Kurva penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feeder II

Tabel 4.14. Penggunaan Daya dan Arus Pelanggan Pada Malam Hari Feeder III

Jam	Daya Pelanggan (kW)	Arus Pelanggan (A)
17.00	555	20
18.00	933	35
19.00	986	36
20.00	1107	41
21.00	1316	49

22.00	1369	52
23.00	1358	51
24.00	1299	46
01.00	1271	45
02.00	1102	40
03.00	983	35
04.00	920	34
05.00	552	30



Gambar 4.3. Kurva penggunaan daya dan Arus Pelanggan Feederr III

#### 4.12 Mengimbangi Jumlah Daya Pelanggan Terpasang

Melihat jumlah daya pelanggan yang terpasang saat ini secara keseluruhan pada tabel 8 diatas jika dibandingkan dengan daya pembangkit PLN Persero (Gardu Induk Denal) sudah melebihi kapasitasnya, karena jumlah daya pembangkit dari tiga generator seperti pada single line diagram gambar 13 terlihat bahwa Generator 1 (Cummins Putih 1005 kW,  $\cos \theta = 0.85$ ), Generator 2

(Cummins hijau 1005 kW,  $\cos \theta = 0.85$ ) dan generator 3 (Cater-Pillar 500 kW,  $\cos \theta = 0.85$ ) dan generator 4 (Deutzba 6 M) tidak beroperasi karena panelnya hubung singkat (trouble shooting), jika daya dari generator 1, generator 2 dan generator 3 kapasitasnya dijumlahkan hanya mencapai 2.953 MVA jadi Jumlah Daya Pelanggan lebih besar dari pada Jumlah kapasitas pembangkit yaitu jumlah daya pelanggan 6.05 MVA, untuk mengimbangi jumlah daya pelanggan yang ada saat ini supaya pada malam hari para pelanggan menerima energi listrik secara continue dan tidak melakukan pola pemadaman secara bergilir untuk feeder II dan feeder III seperti pada tugas akhir ini, maka harus melakukan penambahan generator pembangkit baru, sedangkan untuk menentukan kapasitas generator tambahan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitaas generator tambahan} &= \text{Jumlah daya pelanggan} - \text{jumlah daya} \\ &\quad \text{pembangkit} + \text{ditambah daya} + 10 \% \\ &= \{(6.05 \text{ MVA} - 2.953 \text{ MVA}) + 0.605 \text{ MVA}\} \\ &= 3.7 \text{ MVA} \end{aligned}$$

#### 4.13 Memperbesar kapasitas sistem Pembangkit

Menurut manager EDTL mengatakan bahwa masyarakat kabupaten dari enam Kecamatan kurang lebih 50 % dari jumlah masyarakat mencapai 104.571 jiwa (menurut sensus penduduk 2004) yang ada belum teraliri listrik, karena kapasitas dari pada sumber pembangkit PLN Persero (Gardu Induk Denai) yang tersedia dan beroperasi saat ini sudah tidak mampu untuk melayani permintaan beban dari pelanggan baru oleh karena itu perlu adanya penambahan kapasitas pembangkit baru yang sesuai dengan banyaknya masyarakat yang ada di

kabupaten tersebut agar semua masyarakat bisa teraliri listrik. Untuk mengetahui berapa besarnya kapasitas pembangkit yang diperlukan dapat ditentukan sesuai dengan jumlah masyarakat yang belum teraliri listrik saat ini. Jika dari 104.571 jiwa satu kepala keluarga terdiri dari 5 orang maka kepala keluarga (KK) atau pelanggan yang belum mendapatkan listrik ( $B_L$ ) adalah:

$$B_L = \frac{104571 \times 50\%}{5} = 10457.1 \text{ Pelanggan}$$

Dari hasil Pelanggan ( $B_L$ ) yang belum mendapatkan listrik diperhitungkan untuk mendapatkan listrik rata-rata diasumsikan 900 VA Per pelanggan maka daya untuk pelanggan baru adalah:

$$\begin{aligned} \text{Daya } B_{L, \text{baru}} &= 10457.1 \times 900 \text{ VA} \\ &= 9411390 \text{ VA atau,} \\ &= 9.42 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Jadi kapasitas generator pembangkit baru yang diusulkan dan disediakan untuk menambah kapasitas generator lama yang sedang beroperasi saat ini adalah: 9.42 MVA.

Sedangkan jumlah kapasitas pembangkit untuk PLN Persero (Gardu Induk Denai) yang harus disediakan untuk mencukupi Jumlah daya pelanggan (kebutuhan listrik masyarakat) keseluruhan di kabupaten dapat ditentukan sesuai dengan jumlah daya pelanggan Lama yang sudah teraliri listrik dan jumlah daya pelanggan baru yang belum teraliri listrik ditambah dengan beban cadangan yang diharapkan 10 % dari daya total yang ada. Menentukan besar daya atau

kapasitas pembangkit PLN Persero (Gardu Induk Denai) untuk pelanggan beban listrik di secara keseluruhan adalah:

Daya pelanggan Total = Daya pelanggan lama + Daya Pelanggan baru + Daya cadangan 10 %.

$$= 6.05 \text{ MVA} + 9.42 \text{ MVA} + 1.55 \text{ MVA}$$

$$= 17 \text{ MVA}$$

Kapasitas generator pembangkit yang harus disediakan untuk melayani daya Pelanggan masyarakat di PLN Persero (Gardu Induk Denai) kabupaten seluruhnya adalah sebesar 17 MVA.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan analisa terhadap jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV dan jaringan tegangan menengah 380/220 volt di PLN Persero (Gardu Induk Denai) didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. terdapat transformator yang mengalami perubahan letaknya yaitu pada sisi lateral. Dengan nomor GI 17 dan jarak 3.38 kms menjadi 2.46 kms, GI 19 dari jarak 3.29 Kms menjadi 2.37 kms, GI 26 dari jarak 3.1 kms menjadi 3.02 kms , GI 29 dari jarak 1 kms menjadi 0.01 kms.
2. Dengan memperbaiki posisi atau jarak transformator distribusi dari gardu induk yang dibuat maka akan lebih mengoptimalkan transformator bekerja.

#### **5.2. Saran**

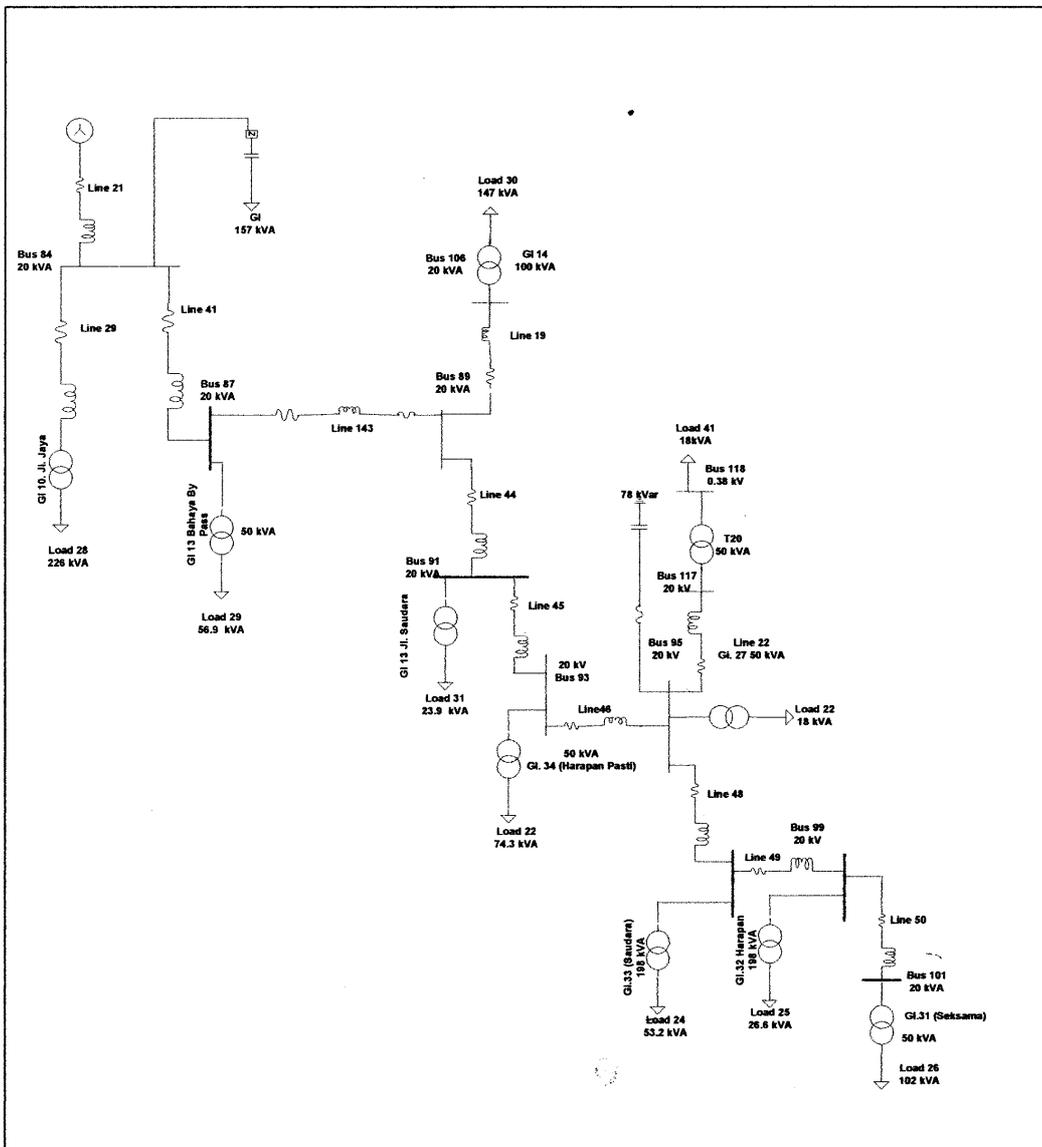
1. Untuk meningkatkan kualitas daya bagi pelanggan sebaiknya tidak mengadakan pemadaman karena akan berdampak buruk bagi PLN itu sendiri maupun bagi pelanggan.
2. Pembebanan yang diberikan kepada beberapa buah transformator distribusi mengalami over load sehingga perlu diganti dengan transformator yang kapasitasnya lebih besar atau sebanding dengan besarnya beban yang diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.S. Pabla, 2009, "Sistim distribusi daya listrik", Erlangga, Jakarta
- Borneo. Erhaneli, 2011 "*Distribusi Tenaga Listrik*", Institut Teknologi Padang
- Gonen, T " 2012, Electric distribution system engineering " Mc Graw Hill New York.,
- Hartono, Rudi, 2009 "*Analisa drop tegangan berdasarkan luas penghantar*" Universitas
- Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D, 2008, *Hand Out Analisis Sistem Tenaga*. Penerbit Erlang, Jakarta
- Prof. Ir. T.S Hutahuruk, M.Sc. 2011, Transmisi Daya Listrik. Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung
- Stevenson Jr. 2011, Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi ke Empat, Penerbit Erlangga.
- Suryono, koko, 2010 "*studi analisa drop tegangan saluran distribusi 20 kV pada penyulang wonogiri 8*". Tugas akhir. Semarang : Universitas Diponegoro.
- T.S Hutahuruk, 2008, Jaringan Tegangan Menengah," Team Pelaksana Prokema PLN-ITB Pendidikan Sarjana Elektro Teknik penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Zuhal, 2010, Dasar Tenaga Listrik, penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung



# Single Line diagram feeder I







## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Riskisyah Putra  
Panggilan : Riski  
Tempat, Tanggal Lahir : Rimo, 07 Juni 1995  
Jenis Kelamin : Laki - Laki  
Alamat Sekarang : Jalan Permai 2 No. 22 Medan  
Nomor KTP : 1110060706950003  
Alamat KTP : Jalan TR ANGKASAH Kel. Lae Butar Singkil  
No. Telp Rumah : -  
No. HP/Telp Seluler : 085760076918  
E-mail : [riskisyahputra121@gmail.com](mailto:riskisyahputra121@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1307220105  
Fakultas : Teknik  
Jurusan : Teknik Elektro  
Program Studi : Teknik Elektro  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD Negeri 2 Rimo	2007
2	SMP	SMP Negeri 3 Gunung Meriah	2010
3	SMA	SMK Negeri 1 Gunung Meriah	2013
4	Melanjutkan Kuliah Di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai.		

