

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Dalam penyaluran tegangan listrik terdapat suatu faktor rugi daya atau susut dimana hilangnya energi yang terdampak ada tidak adanya kualitas daya yang dihantarkan ke pelanggan. Penyebab susut ada beberapa faktor seperti jarak saluran listrik yang terlalu jauh, ketidakseimbangan beban, sambungan (*connector*) yang panas. Adapun penyebab susut dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. Susut teknis terjadi karena adanya impedansi pada komponen listrik sehingga daya hilang berupa panas.
- b. Susut non teknis terjadi akibat ketidakakuratan pengukuran dan pemakaian energi listrik di sisi pelanggan.

Untuk mengurangi potensi yang dapat mengakibatkan tingginya susut maka dilakukan perbaikan untuk menekan susut dari segi teknis yaitu melaksanakan kegiatan penyeimbangan beban trafo, penggantian tab konektor dan baut-baut pada panel hubung bagi serta tap charger transformator. Dari perbaikan tersebut akan diketahui berapa besar penurunan susut dan *saving* energi (kWh) setelah dilakukan perbaikan. Berdasarkan latar belakang diatas, penulis mengambil judul laporan akhir “Analisis Susut Energi Untuk Tindakan Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah di PT PLN (Persero) Area Sibolga ULP Siborongborong”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

- a. Berapa besar penurunan susut setelah dilakukan tindakan pemeliharaan
- b. Berapa *saving* (kWh) dari penurunan susut energi
- c. Apa tindakan pemeliharaan yang dilakukan untuk menurunkan susut energi

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini di batasi sebagai berikut:

1. Tindakan pemeliharaan yang dilakukan untuk mengatasi susut pada jaringan tegangan menengah
2. Perbaikan susut dari segi teknis
3. Lokasi perbaikan penurunan susut jaringan dan saving kWh

1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir

Tujuan penulisan Tugas akhir ini adalah untuk:

- a. Mendapatkan berapa besar penurunan susut setelah dilakukan tindakan pemeliharaan.
- b. Mendapatkan besar *saving* (kWh).

1.5 Metodologi Pemecahan Masalah

Metodologi pemecahan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut

1. Studi literatur
Studi literatur ialah pendekatan penelitian yang dilakukan dengan cara mencari referensi atas landasan teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut bisa dicari dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian dan situs-situs online di internet. Output yang dihasilkan dari studi literatur ialah terkoleksinya referensi yang relefan dengan rumusan masalah.
2. Observasi Lapangan
Melakukan Observasi Lapangan, dengan pengamatan secara langsung ke lapangan untuk kasus yang terjadi. Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan Tanya jawab secara langsung
3. Pengolahan Data dan Penulisan Laporan
Penulisan laporan disusun sesuai data yang diperoleh secara langsung dan dengan menggunakan rumus yang berkaitan dengan permasalahan,

sehingga menjadi laporan penelitian yang dapat menggambarkan penelitian secara utuh.

1.6 Kontribusi Penulisan Tugas Akhir

Dengan adanya penelitian dapat diketahui tentang pengaruh perbaikan penurunan susut jaringan dan saving (kWh) agar hasil dari perbaikan susut bisa dijadikan referensi untuk dilakukan preventif susut tegangan listrik.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari laporan tugas akhir ini diuraikan menjadi beberapa bagian

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan tugas akhir, metodologi pemecahan masalah, kontribusi penulisan tugas akhir dan sistematika penulisan

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini membahas dasar-dasar teori mengenai penelitian ini, yaitu mengenai Susut Energi Pada sistem Jaringan Tegangan Menengah

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas langkah-langkah dalam menyelesaikan penelitian di mulai dari jenis penelitian, sumber data, tahapan metodologi penelitian, analisa hasil, kesimpulan, dan saran serta jadwal penelitian

BAB IV : ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas penyelesaian penelitian di mulai dari pembahasan, menganalisa metode yang paling berpengaruh dalam penurunan susut mengevaluasi hasil penurunan susut sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan serta menghitung saving kWh.

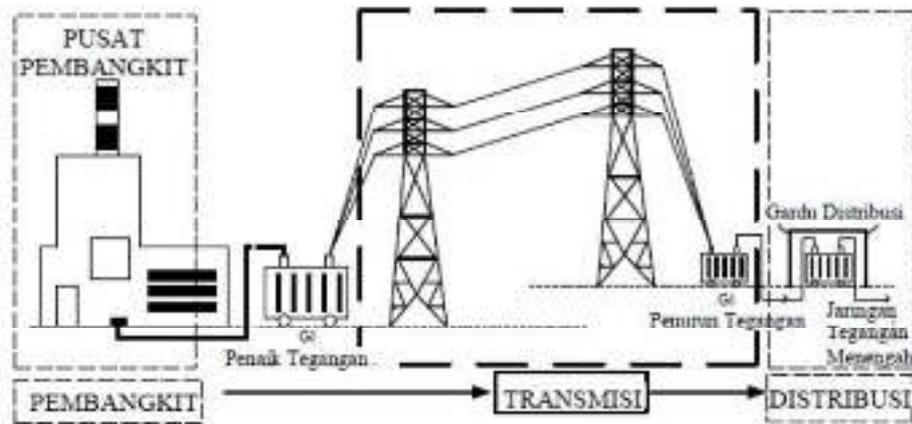
BAB V PENUTUP

Bab ini membahas rangkuman penelitian dari BAB I hingga BAB V menjadi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya terkait penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PENDAHULUAN

Sistem penyaluran listrik yang secara teori disebut sebagai Sistem Tenaga Listrik memiliki pengertian sebagai suatu kesatuan dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, dan unit distribusi listrik yang menyalurkan energi listrik dari produsen (energi listrik dibangkitkan) hingga sampai ke pelanggan. Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan dimana listrik dibangkitkan, penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti gambar dibawah :



Gambar 2.1 Komponen utama dalam penyaluran tenaga listrik

Proses menghasilkan atau membangkitkan energi listrik. Listrik ini sendiri dapat dibangkitkan dengan berbagai macam cara baik menggunakan air, udara, panas bumi, nuklir maupun bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil dapat berarti batu bara, gas alam ataupun minyak bumi. Sampai saat ini sebagian besar pembangkit menggunakan bahan bakar fosil atau melakukan proses pembangkitan energi listrik. Namun ketergantungan ini sejatinya dapat berdampak buruk karena bahan bakar fosil bukan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga dapat habis bila digunakan secara terusmenerus. Belum lagi di tambah polusi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang membuat bahan bakar jenis ini tidak ramah terhadap lingkungan. Pada intinya Prinsip kerja semua pembangkit

tersebut sama, yaitu menggunakan sumber-sumber energi tersebut untuk memutar turbin yang kemudian akan menghasilkan listrik.

Pada suatu sistem kelistrikan biasanya terdiri dari beberapa pembangkit listrik yang dimana semuanya tidak bekerja pada sepanjang waktu. Pengoperasian pembangkit-pembangkit listrik tersebut disesuaikan dengan beban yang beroperasi, apakah sedang beban normal atau beban puncak. Manajemen pengoperasian ini dilakukan dengan melihat dari lama waktu pembangkitan, biaya bahan bakar, pada setiap jenis pembangkit. Sehingga kebutuhan konsumen akan energi listrik tetap terpenuhi dengan manajemen pembangkitan yang baik.

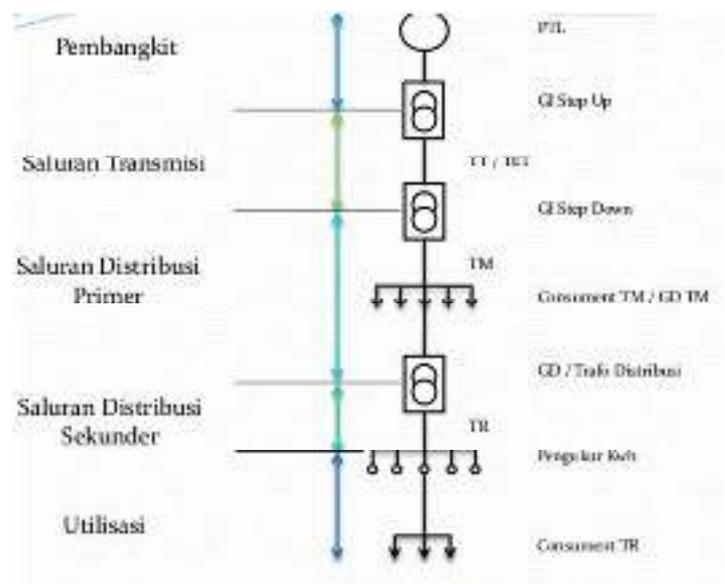
1. Transmisi

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11kV sampai 24kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk 500kV kemudian disalurkan melalui saluran menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Kerugian daya listrik akan sangat mungkin terjadi pada jaringan transmisi karena biasanya jarak yang digunakan sangat jauh. Dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus mengalir dan resistansi kawat penghantar jaringan transmisi (I^2R). Dengan adanya transmisi yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir akan semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan semakin kecil pula.

Komponen penghantar atau konduktor merupakan salah satu komponen terpenting dalam transmisi energi listrik. Konduktor yang paling sering digunakan biasanya terbuat dari bahan baja, tembaga, aluminium. Pemilihan bahan konduktor biasanya merujuk kepada kemampuan daya hantar dari konduktor, kekuatan fisik. Perbedaan nilai luas penampang, jenis inti kabel ataupun material yang digunakan biasanya merupakan faktor yang mempengaruhi dari besarnya nilai resistansi dari penghantar dan kemampuan daya hantar dari konduktor itu sendiri.

2. Distribusi

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tagangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Jaringan Distribusi Primer tegangan menengah ini biasanya dapat dimodelkan menjadi lima model yaitu jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung , Jaringan Lingkaran, Jaringan Spindel dan Sistem Kluster



Gambar 2.2 Proses Penyaluran Tenaga Listrik ke Konsumen

2.2. Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tegangan listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (*power station*) hingga konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sedangkan fungsinya adalah menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan. Sistem tegangan listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi. Sistem pendistribusi tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

1. Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tegangan listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tegangan listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu.

2. Sistem Pendistribusian Tidak Langsung

Sistem pendistribusian tidak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit listrik jauh dari pusat-pusat beban sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sehingga jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.



Gambar 2.3 Sistem Pendistribusian Langsung dan Tak Langsung

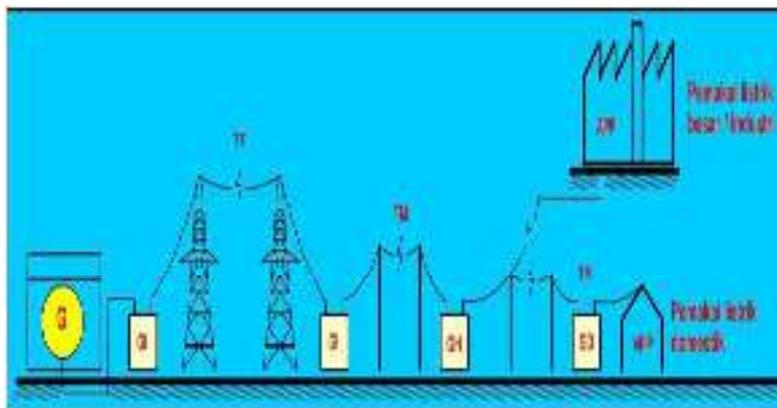
2.2.1. Struktur Jaringan Distribusi

Sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (Bulk Power Source) dengan konsumen tenaga listrik. Sedangkan fungsinya adalah menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan. Setelah energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian energi listrik di turunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 kV. Selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan PLN melalui sambungan rumah. Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

a. Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Listrik

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya Pusat Pembangkit Tenaga Listrik terletak di pinggiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer.



Gambar 2.4 Gardu Induk

Penyaluran tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan 2 jaringan yaitu:

a. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan suatu sistem tenaga listrik menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi. Untuk tegangan menengah, jaringan primer biasanya terdiri dari sistem 3 fasa, jaringan distribusi primer dilayani oleh gardu hubung atau langsung dari gardu induk atau pusat pembangkit. Secara umum konfigurasi suatu jaringan distribusi hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi, yaitu:

- 1) Jaringan radial, yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan akan terjadi block-out atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

- 2) Jaringan bentuk tertutup, yaitu jaringan yang mempunyai alternatif supply tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman dapat dikurangi bahkan di hindari.

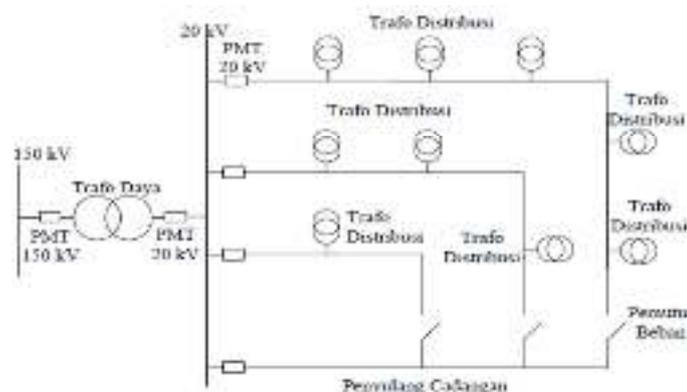


Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Dasar

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya adalah sebagai berikut:

1) Konfigurasi kluster (*cluster/leap frog*)

Konfigurasi nilai saluran udara tegangan menengah yang sudah bertipikal sisitem tertutup, namun beroperasi radial (Radial Open Loop). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan las penampang penghantar besar



Gambar 2.6 Konfigurasi Kluster

Kelebihan :

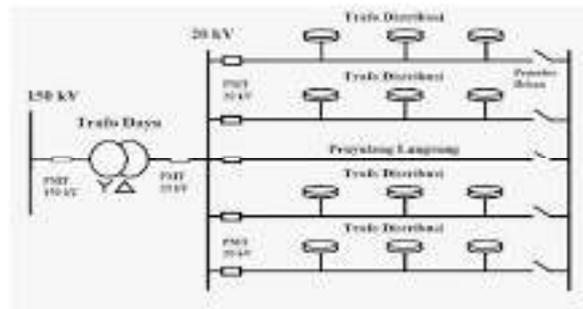
- Jika terjadi gangguan pada satu titik maka titik lainnya dapat dialiri listrik dari penyulang cadangan

Kekurangan :

- Jika terjadi gangguan lebih dari satu tempat maka pembebanan pada penyulang cadangan akan sangat besar, sehingga membutuhkan investasi yang lebih mahal pada penyulang cadangannya.

2) Konfigurasi Spindel (*spindel configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah, pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan dan penyulang operasi. Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut gardu hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (Normally Open), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (Normally Close).



Gambar 2.7 Konfigurasi Spindel

Kelebihan :

- Jika terjadi gangguan pada satu titik maka titik yang lain dapat dialiri listrik dari penyulang ekspres melalui koneksi gardu hubung.

Kelemahan :

- Membutuhkan biaya investasi yang lebih mahal dari konfigurasi kluster karna sistemnya membutuhkan gardu hubung.

3) Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan satu Gardu Distribusi disuply 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadamann sangat singkat (short break time). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat di suply dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat degan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS) .



Gambar 2.8 Konfigurasi Fork

Kelebihan :

- Pengendalian sistem yang sederhana karna hanya memakai ACOS dan kualitas listrik yang handal

Kekurangan :

- Membutuhkan selang waktu dalam memotifasi pergantian penyulang dan biaya investasi yang cukup mahal karena memakai ACOS pada setiap gardu distribusi.

4) Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*).

Konfigurasi yang terdiri dari sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus di lengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hubung.



Gambar 2.9 Konfigurasi Spotload

Kelebihan

- Kemungkinan black out sangat tidak mungkin karena banyaknya penyulang yang di gunakan

Kekurangan

- Pengendalian sistem yang rumit
- Lebih mahal biaya investasinya, karena menggunakan banyak penyulang

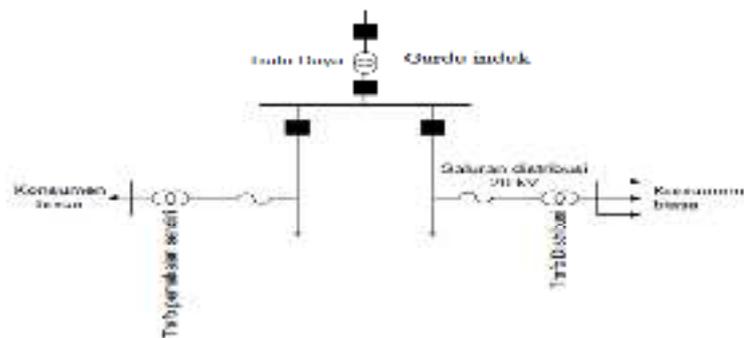
b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan ini menggunakan Tegangan Rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keadaan pelayanan dan regulasi tegangan, distribusi sekunder yaitu jaringan tegangan listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi kekonsumen. Jaringan ini sering disebut jaringan tegangan rendah.

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

- 1) Panel Hubung Bagi (PHB) pada trafo distribusi
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP)(ke konsumen/pemakai)
- 4) Alat Pembatas dan pengukur daya (Kwh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

Sistem distribusi sekunder merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari Jaringan Tegangan Menengah sampai pada Sambungan dan kemudian menuju rumah pelanggan.



Gambar 2.10 Jaringan Tegangan Menengah Menuju ke Pelanggan

b. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya GI menuju gardu 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 di pakai adalah 500kV , maka setelah masuk GI tegangan akan menjadi 150 kV. Sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masih bertegangan tinggi

c. Gardu Pembagi atau Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa.



Gambar 2.11 Gardu Distribusi SB 125

2.2.2. Karakteristik Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan sistem terdekat dan langsung berhubungan ke pelanggan listrik. Kualitas mutu listrik dikirimkan merupakan keharusan untuk dijaga agar tidak mengecewakan pengguna listrik. Parameter-parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas dari sistem distribusi antara lain:

1. Kualitas Sistem

Kualitas sistem erat kaitannya dengan tegangan yang sampai ke pelanggan dan frekuensi dari sistem itu sendiri. Untuk tegangan di Indonesia yang berlaku untuk tegangan rendah adalah 220 Volt tegangan fasa ke tanah. Kestabilan tegangan itu berada pada rentang -10% dan 5%. Oleh karena itu diperlukan peralatan seperti Voltage Regulator untuk menjaga agar tegangan tetap berada pada rentang kestabilannya. Sedangkan untuk frekuensi di Indonesia adalah 50 Hz. Frekuensi sistem ini tidak boleh berubah-ubah karena ini sangat mempengaruhi peralatan listrik yang digunakan oleh pelanggan. Dimana jika frekuensi sistem berada di atas atau di bawah 50 Hz

maka peralatan listrik yang ada di konsumen tidak dapat bekerja atau bahkan akan merusak peralatan listrik. Syarat kestabilan frekuensi sistem adalah + satu persen (1%).

2. Keandalan Sistem

Sistem distribusi yang handal dapat menyalurkan listrik selama 24 jam penuh, tidak mengalami gangguan sama sekali. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan dapat diukur dengan jumlah gangguan yang terjadi dalam periode tertentu. Selain dari jumlah gangguan yang terjadi lamanya gangguan juga dapat dijadikan parameter dari keandalan sistem. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen seharusnya tidak sering mengalami pemutusan akibat adanya gangguan ataupun hal – hal yang telah direncanakan seperti pemeliharaan. Pada umumnya kontinuitas penyaluran tenaga listrik yang berkualitas diprioritaskan untuk beban – beban yang dianggap vital dan tidak dikehendaki sama sekali terjadinya pemadaman, bila pemutusan dilakukan untuk pemeliharaan hendaknya pelanggan mendapatkan informasi terlebih dahulu sehingga tidak ada pihak yang dirugikan.

3. Keselamatan Sistem Publik

Selain masalah penyaluran listrik beserta keandalan dan kualitasnya, yang perlu diperhatikan berikutnya adalah perlindungan terhadap penduduk (publik). Yang dimaksudkan sebagai pengamanan terhadap penduduk (public) adalah dengan memberikan rambu-rambu pengamanan dan peringatan untuk masyarakat awam di kawasan bertegangan tinggi yang dimaksudkan agar mengetahui akan bahaya listrik. Sedangkan untuk keselamatan sistem diperlukan sistem pengamanan (proteksi) yang baik dimana dapat melindungi peralatan dan jaringan dari gangguan gangguan yang terjadi. Pengaman yang baik meliputi sensitivitas yaitu kemampuan untuk mendeteksi gangguan dan selektivitas kemampuan untuk memilah bagian yang mengalami gangguan dan melepasnya dari sistem.

4. Pemeliharaan Sistem

Proses pemeliharaan penting adanya dikarenakan ini berkaitan dengan umur dari peralatan peralatan yang digunakan serta kualitas sistem tetap

terjaga dengan baik. Proses pemeliharaan ini harus berkala dikukan dengan membuat jadwal pemeliharaan baik pemeliharaan harian, mingguan, bulanan, atau bahkan tahunan. Selain itu proses pemeliharaan ini penting adanya agar mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan pada peralatan, mengurangi lama waktu pemadaman akibat sering terjadinya gangguan dan meningkatkan keamanan (*safety*) peralatan. Jenis pemeliharaan sendiri dapat dibedakan menjadi:

a) Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)

yaitu pemeliharaan yang dilakukan dengan memperkirakan waktu terjadinya kerusakan atau kegagalan pada peralatan listrik. Dengan memperkirakan kemungkinan terjadinya kegagalan, dapat diketahui tanda –tanda kerusakan secara dini. Proses pemeliharaan ini membutuhkan pekerja dan peralatan yang mampu memantau dan menganalisis terjadinya kerusakan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan kondisi (*conditional maintenance*).

b) Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)

yaitu pemeliharaan yang dilakukan sebagai bentuk dari tindakan pencegahan agar kerusakan alat tidak terjadi secara tiba – tiba. Selain itu, pemeliharaan juga bertujuan untuk mempertahankan kinerja peralatan agar sesuai dengan umur teknisnya

c) Corrective Maintenance (Curative Maintenance)

Pemeliharaan yang dilakukan dengan memperbaiki serta menyempurnakan peralatan yang mengalami gangguan. agar peralatan listrik mampu bekerja kembali secara optimal. Pemeliharaan ini disebut juga sebagai curative maintenance yang berupa trouble shooting

d) Breakdown Maintenance

Pemeliharaan yang dilakukan apabila terjadi gangguan yang mengakibatkan peralatan tidak berfungsi dengan baik terjadi secara mendadak (waktunya tidak menentu dan bersifat darurat).

2.2.3. Rugi-Rugi Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya yang besar agar sampai ke konsumen. Sebelum tenaga listrik sampai ke konsumen terdapat rugi-rugi daya, susut energi dan drop pada tegangan pada saluran. Agar rugi-rugi, susut energi, dan drop tegangan dapat dikurangi salah satunya dengan pemasangan kapasitor pada sistem distribusi.

a. Rugi-rugi Transformator

Rugi- rugi transformator dapat di golongan menjadi 2, yaitu rugi tembaga dan rugi besi

1) Rugi besi (P_i)

Rugi besi terdiri dari rugi histeris dan rugi eddy. Rugi histeris disebabkan karena fluks bolak balik pada inti besi, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_h = K_h \times f \times B_m^n \dots\dots\dots (2.1)$$

Sedangkan rugi arus eddy di sebabkan arus pusar pada inti besi, dinyatakan sebagai berikut :

$$P_e = K_e \times f^2 \times B_m^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

P_h = rugi histeris (Watt)

P_e = rugi eddy (Watt)

K_h = konstanta histeris, tergantung pada inti bahan

K_e = konstanta arus eddy, tergantung pada volume inti

B_m = kerapatan fluks maksimum (weber/meter²)

n = konstanta steinmentz (1,6-2,0)

f = frekuensi jala-jala (Hz)

2) Rugi tembaga (P_{cu})

Nilai rugi tembaga selalu berubah-ubah, ini di pengaruhi arus beban yang mengalir pada tahanan transformator, sehingga rugi tembaga (P_{cu}) adalah :

$$P_{cu1} = I_1^2 \times R_1$$

$$P_{cu2} = I_2^2 \times R_2$$

Jadi, rugi tembaga total adalah :

$$P_{cu} = P_{cu1} \times P_{cu2}$$

$$= (I_2^2 \times R_1) + (I_2^2 \times R_2)$$

Karena $I_2 = aI_1$, maka persamaannya dapat di tulis sebagai :

$$P_{cu} = (I_2^2 \times R_1) + ((aI_1)^2 \times R_2)$$

$$= I_2^2 (R_1 + a^2 R_2)$$

$$= I_1^2 \times R_{ek1}$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$P_{rugitotal} = P_{cu} \times P_i \dots \dots \dots (2.3)$$

a. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator pada umumnya dihitung berdasarkan daya keluar dibagi dengan daya masuk, atau dalam bentuk persamaan adalah:

$$h = \frac{\rho_0}{\rho_1} \dots \dots \dots (2.4)$$

Pada umumnya pabrik transformator sudah menentukan efisiensi dari transformator yang dijualnya sekitar 99%. Sehingga rugi daya transformator untuk segala beban adalah 1% dari beban yang ditanggungnya.

b. Rugi-Rugi Jaringan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan dimulai dari penyulang sampai sepanjang saluran Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran yang mempunyai nilai resistan, induktan dan kapasitan sepanjang saluran, maka akan terjadi penurunan tegangan. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan atau dialirkan dari Gardu Induk dengan daya yang terjual ke pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan sifat yang tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat diminimalkan.

Nilai dari rugi daya pada jaringan merupakan nilai unjuk kerja jaringan listrik dalam menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit sampai ke pusat-pusat beban. Susut tegangan pada sistem distribusi tegangan menengah sangat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan, penampang konduktor, rugi-rugi transformator dan rugi-rugi kontak sambungan pada jaringan tersebut.

2.3. PENYUSUTAN ENERGI PADA JARINGAN DISTRIBUSI

Susut energi merupakan kerugian yang terjadi sebagai akibat adanya selisih antara energi yang dikirimkan dengan energi yang di terima atau dapat juga dikatakan dari sisi transfer energi sebagai adanya selisih antara energi yang di salurkan ke pelanggan dengan total energi yang di bayarkan pelanggan (selisih antara pembeli energi dengan penjual energi ke pelanggan). Berdasarkan sifatnya susut energi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

a. Susut Konstan

Merupakan susut yang timbul secara konstan dan terus menerus pada sistem distribusi yang tidak di pengaruhi oleh perubahan beban. Contoh dari susut konstan adalah rugi-rugi besi transformator, kwh meter, kebocoran isolasi, dan sebagainya.

b. Susut Variabel

Merupakan susut yang timbul dan memiliki nilai yang berubah-ubah pada sistem distribusi yang dipengaruhi oleh fluktuasi (perubahan) beban. Contoh dari susut variabel adalah rugi-rugi pada penghantar.

Sedangkan berdasarkan penyebabnya susut energi dapat di bedakan menjadi :

1) Susut Teknis

Merupakan susut yang timbul sebagai akibat dari adanya impedansi pada peralatan pembangkitan maupun peralatan penyaluran dalam transmisi dan distribusi sehingga terdapat energi yang hilang berupa panas. Rugi – rugi energi yang timbul diakibatkan karena unsur material. Pada sistem distribusi, susut teknis dikelompokkan menjadi dua yaitu susut tegangan menengah (TM) dan susut pada tegangan rendah (TR). Susut pada tegangan menengah meliputi susut pada jaringan atau saluran tegangan menengah dan susut pada gardu atau trafo. Susut tegangan rendah terdiri dari susut pada jaringan atau saluran tegangan rendah dan sambungan rumah. Pada dasarnya susut energi teknis ini berdasarkan susut energi pada komponen yang diakibatkan ada kesalahan pada komponen tersebut sehingga berdasarkan persamaan dasar susut daya besar daya pada penghantar adalah

$$P_{kond} = I^2 \cdot R_{sal} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

P_{kond} = Susut daya pada penghantar (W)

I^2 = Resistansi total penghantar (Ω)

R_{sal} = Arus beban rata-rata (A)

Sedangkan susut transformator terdiri dari susut inti besi dan tembaga. Besarnya susut inti besi konstan (tidak di pengaruhi pembebanan pada transformator). Besarnya susut tembaga transformator disebabkan resistansi di kumparan trafo. Rugi-rugi tembaga sebanding dengan kuadrat arus atau kuadrat kVA. Dengan kata lain, rugi-rugi tembaga setengah beban penuh sama dengan seperempat rugi-rugi beban penuh. Besarnya rugi-rugi ini dapat diketahui melalui tes hubung singkat.

Rugi-rugi transformator dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

Arus nominal transformator

$$I_n = \frac{K_{trans}}{V}$$

Tahanan tembaga

$$R_{cu} = \frac{P_{cu}}{I_n^2}$$

Susut tembaga

$$P_{cu} = I^2 \cdot R_{cu}$$

Susut total transformator

$$P_{trans} = P_{fe} + P_{cu}$$

Untuk menghitung susut secara teknik memerlukan data-data aset per unit meliputi:

1. Single Line Diagram penyulang yang akan diukur (Jaringan Tegangan Menengah)
2. Data saluran Tegangan Menengah (data teknis) yang dibutuhkan meliputi jumlah/jenis fasa, jenis konduktor, tipe penyulang, lokasi penyulang dan ukuran penampang penghantar.

Rugi-rugi di dalam jaringan Tegangan Menengah (JTM) disebabkan oleh arus beban yang mengalir di dalam konduktor yang mempunyai parameter rangkaian resistansi (R) dan rekatif (X) yang akan menimbulkan rugi-rugi aktif

I^2R (watt) dan rugi-rugi reaktif I^2X (VAR). Sedangkan beban selalu berfluktuasi sepanjang hari (selama 24 jam) yang dapat digambarkan dalam sebuah kurva yang disebut kurva beban harian, sehingga arus bebanpun juga akan ikut berfluktuasi mengikuti kurva beban harian, sehingga rugi-rugi energi aktif (losses kWh) dapat ditulis sebagai persamaan.

$$\text{Rugi rugi aktif (P)} = 3 \times I^2 \times R \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Rugi - rugi energi (w)} = 3 \times I^2 \times t \dots\dots\dots (2.7)$$

2) Susut non-Teknis

Merupakan susut yang timbul bukan diakibatkan akibat maerial dari peralatan. Susut jenis ini timbul akibat adanya kesalahan pembacaan pada alat ukur, kesalahan kalibrasi alat ukur, dan kesalahan akibat adanya pemakaian listrik secara tidak sah (pencurian) atau kesalahan-kesalahan lain yang bersifat administrative lainnya. Fenomena penyusutan ini tidak dapat dihindari karena tidak mungkin memiliki efisiensi sebesar 100%. Artinya selalu ada bagian dari daya energi pada saluran jaringan distribusi. Susut teknis pada jaringan dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain Konduktor Fasa, Kabel Distribusi dan Faktor Daya.

2.3.1. Penghantar (Kabel distribusi)

Penghantar merupakan bahan yang digunakan untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban, baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara di dasarkan pada besarnya beban yang dilayani, makin luas beban yang dilayani makin besar ukuran penampang kawat penghantar yang digunakan. Dengan penampang kawat yang besar akan membuat tahanan kawat menjadi kecil. Tahanan jenis inilah yang merupakan salah satu faktor untuk menentukan besarnya tahanan resistansi R dalam suatu penghantar, disamping faktor-faktor luas penampang (A) dan panjang kawat (l) pada suatu penghantar jaringan.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

R = besarnya tahanan kawat (Ω)

ρ = nilai tahanan jenis kawat (m/mm)

L = panjang kawat penghantar (m)

A = luas penampang kawat (mm^2)

Makin panjang suatu jaringan makin jauh pula jarak tempuh arus listrik dan makin besar tahanan kawat tersebut. Begitu pula makin besar diameter kawat makin lebar ukuran beban yang harus di layani.

Pada umumnya kabel yang digunakan untuk distribusi terdiri atas konduktor fasa, kemudian terdapat pelindung yang terbuat dari semikonduktor, kawat netral pelindung, dan pada akhirnya selubung penutup. Sebagian besar kabel distribusi merupakan kabel dengan konduktor tunggal. Terdapat dua jenis kabel, yaitu kabel netral yang tersusun secara konsentrik dan kabel daya. Kabel dengan netral konsentrik umumnya memiliki konduktor yang terbuat dari aluminium, isolasi padat, dan netral yang tersusun secara konsentrik. Netral konsentrik terbuat dari beberapa kawat tembaga yang dililit mengelilingi (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 komersil.



Gambar 2.12 Penampang Kabel Distribusi

Penjelasan gambar:

1. Konduktor Penghantar
2. Pelindung Konduktor
3. Isolasi dan Pelindung Isolasi

4. Netral Konsentrik

5. Selubung

Sementara itu kabel daya memiliki konduktor fasa yang terbuat dari tembaga atau aluminium, 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 dengan tiga konduktor fasa, kabel yang tahan terhadap api, kabel dengan fleksibilitas tinggi dan kabel bawah laut.

a. Konstanta Dielektrik

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

b. Resistansi Volume

Arus bocor yang melalui isolasi merupakan fungsi dari resistivitas isolasi terhadap arus searah (DC). Resistivitas isolasi menurun seiring dengan kenaikan suhu.

c. Rugi Dielektrik

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

d. Faktor Disipasi

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.

Kabel distribusi pada data aset adalah TIC 70 mm². Kabel distribusi pada umumnya terdiri dari konduktor atau penghantar, lapisan penghantar yang terbuat dari semi konduktor, lapisan isolasi, selubung dalam, dan selubung luar. Penghantar yang sering di pakai terbuat dari alumunium ataupun tembaga. Setiap penghantar memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung material penghantar tersebut. Material ini menentukan besar resistansi dari kabel dan kemampuan dari kabel tersebut dalam menghantarkan arus. Faktor eksternal yang mempengaruhi dari besarnya kabel penghantar adalah faktor suhu. Faktor suhu ini akan membuat besar nominal resistansi kabel distribusi akan bervariasi. Berikut persamaan untuk menentukan besarnya nilai resistansi berdasarkan persyaratan Umum Instalasi Listrik.

$$R_t = R_u \times \frac{234,5+t}{254,5} \text{ untuk tembaga (2.9)}$$

$$R_t = R_u \times \frac{228+t}{248} \text{ untuk alumunium (2.10)}$$

Keterangan :

- R_t = Resistansi kabel pada suhu t derajat celcius (Ohm/km)
- R = Resistansi kabel pada suhu 20 derajat celcius (Ohm/km)
- T = Suhu penghantar dalam derajat celcius (°C)

Jika berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 resistansi dari kabel:

Tabel 2.1 Resistansi Kabel Distribusi

No	Suhu (°C)	Resistansi kabel (Ωm)
1	15	0.187
2	20	0.191
3	25	0.195
4	30	0.199
5	35	0.202

2.3.2. Konduktor Fasa

Umumnya bahan yang digunakan pada konduktor fasa berupa aluminium atau tembaga. Karena terbuat dari bahan logam, maka konduktor memiliki nilai Resistansi tertentu berbeda – beda tergantung dari materialnya. Resistansi kabel merupakan bagian penting dari impedansi saluran yang digunakan untuk

melakukan penghitungan studi kegagalan dan studi aliran daya. Material penyusunnya ini nantinya juga berpengaruh terhadap kapasitas arus yang dapat mengalir di konduktor fasa. Material yang dipakai untuk konduktor harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Konduktifitasnya cukup baik.
2. Kekuatan mekanisnya (kekuatan tarik) cukup tinggi.
3. Koefisien muai panjangnya kecil.
4. Modulus kenyalnya (modulus elastisitas) cukup besar.

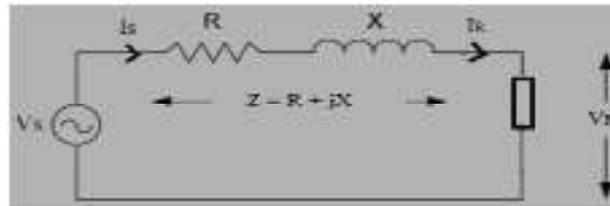
Variabel umum yang mempengaruhi resistansi adalah suhu dari konduktor tersebut, dapat dikatakan resistansi meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Untuk jangkauan suhu yang lebih luas, resistansi akan meningkat hampir linier terhadap suhu baik pada aluminium maupun tembaga. Efek dari suhu terhadap kenaikan resistansi dapat disederhanakan sebagai persamaan linier sebagai berikut

$$R_{t_2} = R_{t_1}[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \dots\dots\dots (2.11)$$

Susut pada penghantar fasa pada sistem tenaga listrik kualitas energi sangat dipengaruhi oleh beban. Beban akan semakin bertambah karena adanya pertambahan jumlah penduduk dan meningkatnya ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Hal itu menyebabkan tegangan pada ujung beban semakin berkurang. Tegangan standar sistem tegangan rendah di Indonesia sesuai standar PLN yakni 220V untuk sistem satu fasa dan 220/380 V untuk sistem tiga fasa. Adapun toleransi tegangan pelayanan maksimal +5% dan minimal-10% dari Tegangan standar, oleh karena itu batas tegangan yang di ijinakan : Dengan tegangan 1 fasa yang di ijinakan menurut SPLN1:1995 adalah 198V-231V. Pada kenyataannya, ditemukan tegangan luar batas tersebut.

Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekuivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu baris per fasa. Tegangan terminal digambarkan dari saluran ke netral, arus dari suatu lisan saluran sehingga sistem distribusi tiga fasa berkembang menjadi ekuivalen sistem distribusi fasa tunggal. Model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan arus dan aliran daya yang di pengaruhi oleh panjang saluran.

Dimana R dan X merupakan resistansi dan induksi perfasa persatuan panjang dan I merupakan panjang saluran. Model saluran distribusi pada suatu basis perfasa ditunjukkan pada gambar dibawah :



Gambar 2.13 Rangkaian Ekivalen Saluran Distribusi
Tegangan kirim adalah :

$$V_S = V_R + I \cdot Z$$

Drop tegangan adalah :

$$\begin{aligned} \Delta V &= I \cdot Z \\ &= I(\cos\phi - j\sin\phi)(R + jX) \\ &= I(R \cdot \cos\phi + jX\cos\phi - jR\sin\phi - j^2X\sin\phi) \rightarrow j^2 = -1 \\ &= I(R \cdot \cos\phi + jX\cos\phi - jR\sin\phi - X\sin\phi) \end{aligned}$$

Hubungan Z,R dan X dalam bentuk trigonometri adalah :

$$\begin{aligned} \cos\phi &= \frac{R}{Z} \\ \sin\phi &= \frac{X}{Z} \end{aligned}$$

Substitusi persamaan menjadi :

$$\Delta V = \left(R \cdot \cos\phi + jX \left(\frac{R}{Z} \right) - jR \left(\frac{X}{Z} \right) - X\sin\phi \right)$$

Maka tegangan jatuh dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$\Delta V = I(R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- I_s = Arus sending (Ampere)
- I_R = Arus receiver (Ampere)
- R = Tahanan rangkaian (Ohm)
- X = Reaktansi rangkaian (Ohm)
- I = Panjang penghantar (km)
- V_S = Tegangan sending (Volt)

- V_R = Tegangan receiver (Volt)
- Z = impedansi rangkaian (Ohm/km)
- ΔV = Drop tegangan (Volt)

2.3.3. Impedansi Saluran

Pada dasarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi adalah sebagai akibat dari impedansi seluruh jaringan itu sendiri. Impedansi jaringan tersebut besarnya dipengaruhi oleh hambatan (reistantsi) serta reaktanya karena impedansi

$$Z = R + jX \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ohm)

R = Resistansi penghantar (Ohm/km)

X = Reaktansi penghantar (Ohm/km)

Sehingga impedansi saluran dapat dicari melalui persamaan :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Tabel 4.1. Impedansi Urutan positif dan Nol Penghantar AAAC

Penampang Nominal (mm ²)	jari-jari (mm)	Jumlah Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ω / km)	Impedansi urutan nol (Ω / km)
16	2,2563	7	1,638	2,0161 + j0,4036	1,1641 + j1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j0,3895	1,4384 + j1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j0,3790	1,0697 + j1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j0,3678	0,7932 + j1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j0,3572	0,6088 + j1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396 + j0,3449	0,4876 + j1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j0,3376	0,4618 + j1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j0,3305	0,3441 + j1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j0,3239	0,3224 + j1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j0,3158	0,2824 + j1,6003

2.4. PENYALURAN TENAGA LISTRIK

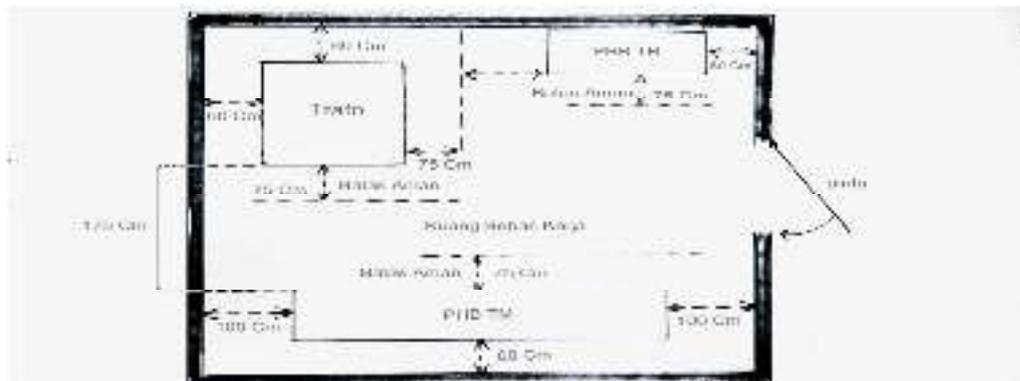
Terdapat dua cara dalam menyalurkan atau distribusi tenaga listrik ke konsumen, antara lain melalui gardu-gardu distribusi atau melalui penyaluran setempat.

2.4.1. Gardu Distribusi

Penyaluran daya dengan menggunakan gardu distribusi 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. Gardu distribusi sendiri dari instalasinya dapat dibedakan menjadi :

a. Gardu Tembok (Gardu beton)

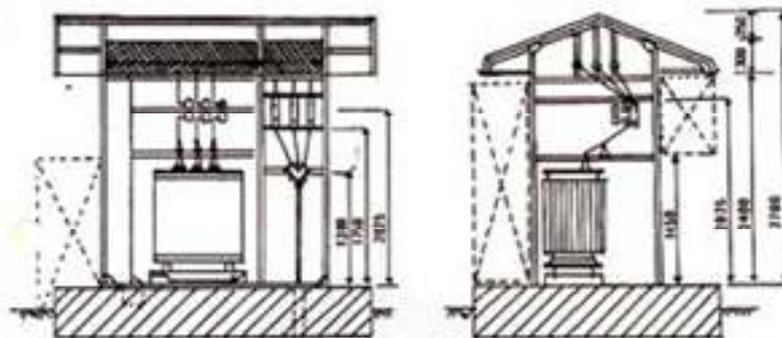
Gardu hubung atau gardu trafo yang secara keseluruhan konstruksinya terbuat dari tembok/beton.



Gambar 2.14 Gardu Tembok (Beton)

b. Gardu Kios (Gardu besi)

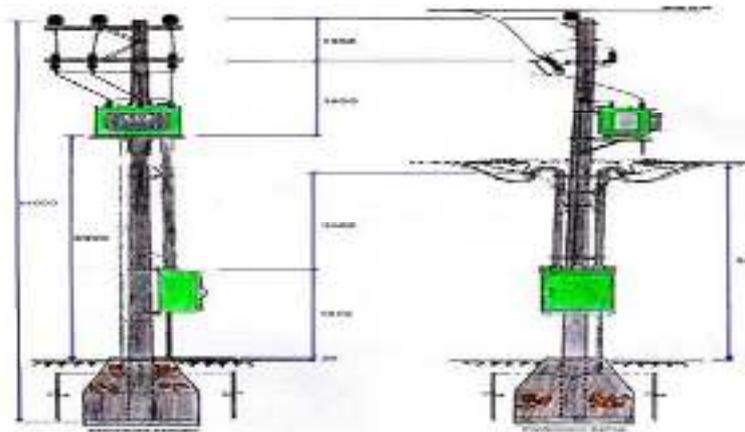
Gardu hubung atau gardu trafo yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios.



Gambar 2.15 Gardu Kios (Gardu besi)

c. Gardu Portal

Gardu portal atau trafo yang secara keseluruhan instalasinya di pasang pada 2 buah tiang atau lebih.



Gambar 2.16 Gardu Portal

Pada setiap gardu distribusi umumnya terdiri dari empat ruang (bagian) yaitu, bagian penyambungan/pemutusan sisi tegangan tinggi, bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah. Pada gardu beton dan gardu metal bagian-bagian tersebut tersekat satu dengan yang lainnya, sedangkan pada gardu tiang panel distribusi tegangan rendah di letakkan pada bagian bawah tiang, Pada gardu distribusi sistem pengaman yang digunakan umumnya berupa arester untuk mengantisipasi tegangan lebih (over voltage), kawat tanah (ground wire) untuk melindungi saluran fasa dari sambaran petir dan sistem pentanahan untuk menetralsir muatan lebih, serta sekering pada sisi tegangan tinggi (fuse cut out) untuk memutus rangkaian jika terjadi arus lebih.

2.4.2. Penyaluran Setempat

Penyaluran daya dengan menggunakan penyaluran setempat umumnya digunakan pada daerah dengan kondisi beban perumahan ataupun beban kantor/bisnis tidak terlalu besar, atau pada suatu daerah dengan tingkat pertumbuhan beban yang tinggi. Untuk jaringan tegangan menengahnya menggunakan sistem tiga fasa dengan percabangan satu fasa. Sementara untuk jaringan tegangan menengahnya 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 bersama netral.

2.5. USAHA MEMPERBAIKI SUSUT

Dalam sistem perusahaan tenaga listrik, berbagai upaya dilakukan untuk memperkecil nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada saluran distribusi. Hal tersebut dilakukan karena selain merugikan perusahaan, juga merugikan pihak pelanggan sebagai pengguna jasa listrik yang selalu menuntut jasa layanan dengan kualitas yang baik. Beberapa langkah upaya memperbaiki tegangan yang harus dilakukan untuk jatuh tegangan dan rugi daya adalah:

Membangun Pembangkit Pengatur Tegangan

Dalam sistem tenaga listrik yang dilayani langsung oleh sumber pembangkit, maka penurunan tegangan secara mudah dapat diatasi dengan mengatur eksitasi generator. Dalam praktek banyak terjadi bahwa pada suatu sistem yang mempunyai jaringan distribusi yang sangat panjang akan mengakibatkan tegangan pada ujung penerima mengalami penurunan yang cukup rendah dibawah standar. Hal ini dapat diatasi dengan jalan membangun suatu pembangkit baru pada daerah dimana tegangan sudah di bawah standart pelayanan. Namun demikian perlu dipertimbangkan dari segi daya guna dan hasil guna, mengingat bahwa investasi suatu pembangkit sangat mahal. Pertimbangan teknis antara lain kurva pendapatan operasi dan kecuraman perbedaan tegangan siang dan malam.

Membangun Gardu induk Baru Dan Jaringan Baru

Metode perbaikan tegangan dengan cara membangun Gardu Induk ataupun penyulang baru ini pada dasarnya sama dengan memindahkan beban ke sumber yang baru. Dengan penambahan jaringan baru maka kemampuan penyaluran arus akan lebih besar, sehingga susut tegangan dapat diperkecil.

Pemindahan Beban ke Penyulang Lain

Memindahkan beban ke penyulang lain berarti mengurangi arus yang

mengalir sehingga susut tegangan akan menjadi lebih kecil. Tujuan utama pemindahan beban ini tidak merupakan perbaikan tegangan namun lebih diutamakan untuk peningkatan keandalan pertimbangan pembebanan transformator Gardu Induk atau pertimbangan karena adanya pertumbuhan beban.

Penyeimbangan Beban

Pengaruh beban yang tidak seimbang pada masing–masing fasa sangat besar karena untuk kondisi tersebut pada hantaran netral mengalir arus yang nilainya tidak terukur dan sangat merugikan dalam sistem perusahaan. Pada fasa yang berbeban berat, nilai jatuh tegangan akan lebih besar dibandingkan dengan fasa yang berbeban ringan. Untuk memperkecil nilai rugi tersebut selalu diupayakan langkah–langkah pengukuran beban secara real time, terutama pada saat beban puncak, untuk dasar pelaksanaan pemerataan beban.

Dengan keseimbangan beban maka dapat dihasilkan

- 1) Arus pada setiap fasa akan mendekati harga yang sama
- 2) Susut tegangan masing–masing fasa akan mendekati sama

Memperbesar tegangan kirim (Tap changer Trafo)

Untuk nilai impedansi saluran yang tetap, maka memperbesar tegangan kirim akan memberikan dampak kepada ujung tegangan penerima menjadi lebih besar sehingga regulasi tegangan menjadi lebih baik.

Memperbesar Penampang Penghantar

Ukuran penampang penghantar berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai jatuh tegangan maupun rugi daya yang terjadi. Oleh karena itu dalam perencanaan saluran distribusi harus diperhitungkan besar kecilnya penampang penghantar yang akan dipasang dan harus disesuaikan dengan pembebanan program jangka panjang. Memperbesar penampang penghantar saluran berarti mengurangi besarnya nilai impedansi saluran tersebut. Sehingga untuk beban yang sama pada masing– masing fasa, nilai susut tegangannya akan menjadi semakin kecil.

Pengaturan Tegangan Penyulang Menggunakan Alat Pengatur Tegangan (Regulator Tegangan)

Peralatan pengaturan tegangan di rancangan untuk menjaga secara otomatis

suatu nilai tegangan tertentu yang akan bervariasi terhadap perubahan beban. Pada saat beban bertambah, peralatan pengaturan tegangan akan memperbesar tegangan pada saluran distribusi. Dalam hal ini, pengaturan tegangan sangat di perlukan bagi pelanggan yang letaknya jauh dari gardu transformator atau lokasi rangkaian utama sudah di luar batas pengaturan. Penambahan pengaturan tegangan yang di tempatkan dalam lingkungan Gardu Induk dan dapat juga di pasang pada penyulang diluar lingkungan gardu induk.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini di tujukan untuk mengetahui besarnya susut energi atau rugi-rugi yang terjadi di jaringan Distribusi. Untuk pengumpulan data dilakukan secara langsung terjun ke lapangan. Langkah pertama yang dilakukan berupa studi literatur yang berguna mengetahui hasil penelitian yang didapat dari penelitian terdahulu yang bertujuan sebagai referensi atau bahan acuan dalam penelitian.

Besar susut atau rugi-rugi yang di analisa merupakan rugi-rugi yang di sebabkan impedansi saluran penghantar Jaringan Distribusi (Susut Teknis). Dimana rugi-rugi yang terjadi di sepanjang saluran distribusi antara gardu Distribusi (Output Trafo Distribusi) sampai ke titik beban terjauh dari sumber dengan tidak melihat rugi-rugi yang terjadi pada saluran rumah. Penelitian ini dilakukan di salah satu area pelayanan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yakni PLN area Pelayanan Siborongborong.

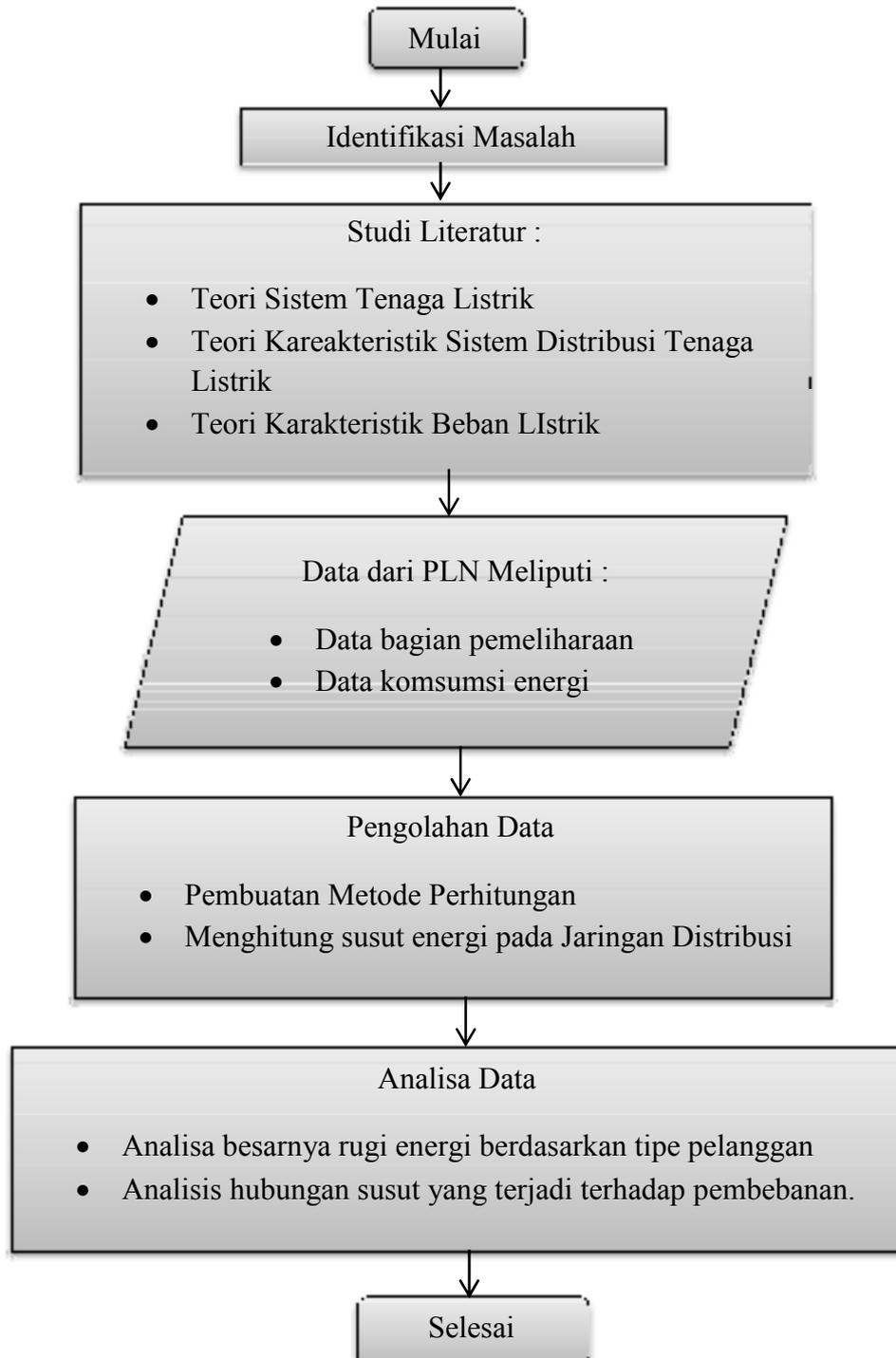
Pada Penelitian ini telah dibuat kerangka metodologi yang digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini. Sehingga proses identifikasi masalah, proses pengumpulan data PLN, pengolahan data dan analisis akan lebih mudah. Pada tahap terakhir dilakukan analisa hasil perhitungan dari data-data yang ada. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui analisis teknis dan berapa besar penurunan susut dan saving energi (kWh) setelah dilakukan perbaikan. Apabila ada kesalahan perhitungan maka dilakukan perbaikan, jika tidak maka dari analisa tersebut dapat diambil kesimpulan

3.2 Tempat dan waktu Penelitian

Pengambilan data dalam penurunan susut ini dilakukan di PT PLN (Persero) Area Sibolga ULP Siborongborong yang beralamatkan di Jalan Siliwangi no 2, Ps Siborongborong, Kecamatan Siborongborong, Kabupaten Tapanuli Utara 22474

3.3 Langkah Pelaksanaan

Untuk melaksanakan penelitian agar memperoleh hasil yang di inginkan maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.1.FLOW CHART

3.4 Metode Perhitungan susut energi

Studi yang dilakukan adalah studi susut energi pada jaringan pelanggan tegangan menengah 20kV, Industri memerlukan kualitas listrik yang baik, dengan adanya analisis untuk susut energi pada jaringan tegangan menengah di harapkan susut energi dapat tekan sekecil mungkin.

a. Susut total saluran

Setelah data di dapatkan, perhitungan susut total dihitung dari selisih kWh jual dan beli, sedangkan besar faktor pembebanan (L_f) penyulang bisa di dapatkan dengan persamaan :

$$\text{Faktor Pembebanan}(L_f) = \frac{I_{rata-rata}}{P_{puncak}}$$

Sehingga didapatkan besar faktor losses (F_{L-s}) dengan mengacu pada faktor pembebanan pada persamaan sebagai berikut :

$$\text{Faktor Losses } (F_{LS}) = 0,2L_f + 0,8L_f^2$$

Sehingga, susut daya pada penyulang dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{\text{susut}} = \frac{P_{\text{kWh}}}{F_{LS} \cdot 720}$$

b. Susut konduktor

Susut konduktor adalah susut yang terjadi akibat adanya hambatan dalam pada konduktor penyulang. Konduktor yang digunakan pada penyulang adalah tipe konduktor tanpa isolasi (kabel udara) dengan tipe kabel A3C 150 mm, untuk mendapatkan nilai susut konduktor berdasarkan persamaan

$$P_{\text{kond}} = I^2 \cdot R_{\text{sal}}$$

c. Total susut teknis

Total susut teknis adalah besarnya energi yang hilang pada penyulang, susut teknis pada transformator daya pada penyulang. Besarnya susut total teknis adalah : sehingga rugi-rugi energi aktif (losses kWh) dapat ditulis sebagai persamaan.

$$\text{Rugi rugi aktif } (P) = 3 \times I^2 \times R$$

$$\text{Rugi - rugi energi } (w) = 3 \times I^2 \times t$$

d. Susut non teknis

Susut non teknis adalah susut yang diakibatkan oleh hal-hal non teknis seperti kesalahan pembacaan meter, pencurian listrik, gangguan dan lain-lainya. Besarnya susut non teknis bisa dihitung dari selisih susut total saluran dengan susutteknis.

$$\text{Susut non teknis (kW)} = \text{Susut total} - \text{Susut teknis}$$

e. Kabel Distribusi

Kabel distribusi pada data aset adalah TIC 70 mm². Kabel distribusi pada umumnya terdiri dari konduktor atau penghantar, lapisan penghantar yang terbuat dari semi konduktor, lapisan isolasi, selubung dalam, dan selubung luar. Berikut persamaan untuk menentukan besarnya nilai resistansi berdasarkan persyaratan Umum Instalasi Listrik.

$$R_t = R_u \times \frac{234,5+t}{254,5} \text{ untuk tembaga}$$

$$R_t = R_u \times \frac{228+t}{248} \text{ untuk alumunium}$$

f. Impedansi Saluran

Impedansi saluran di dapatkan dengan mengkalikan panjang saluran dengan impedansi kabel distribusi dengan persamaan:

$$R_s(\text{Ohm}) = K_m \times \text{Panjang saluran (KM)}$$