

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS GANGGUAN SALURAN KABEL BAWAH TANAH PADA PENYULANG 20 kV APLIKASI PT. PLN (PERSERO) RAYON LABUHAN**

*Diajukan Guna Memenuhi Tuga-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**BAMBANG TRI SALJUONO**  
NPM : 1307220024



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

## ABSTRAK

*Penggunaan saluran kabel bawah tanah 20 kV berisolasi polymer XLPE dewasa ini semakin meningkat. Mengingat kebutuhan akan keandalan dan kontinuitas pendistribusian daya listrik, akan tetapi gangguan dalam sistem distribusi daya listrik tidak bisa untuk dihindarkan. Pada rumusan masalah dilapangan terjadi gangguan pada penyulang KI 12 bertegangan 20 kV dengan titik jarak 7,9 Km dari lokasi pengukuran. Dengan adanya gangguan tersebut menjadikan tegangan jatuh sebesar nilai tegangan 0,014 kV dengan persentase 0,07%. Sehingga nilai tegangan yang berkerja pada tegangan normal 20 kV menjadi 19,98 kV. Juga dengan terjadinya arus bocor sebesar 2,8  $\mu$ A pada kabel bawah tanah menyebabkan ketahanan isolasi kabel bawah tanah menurun sebesar 674 M $\Omega$ /Km, dalam hal ini menurunnya tahanan isolasi kabel bawah tanah juga akan mudah mengalami kerusakan.*

**Kata kunci :** *Kabel SKTM, Isolasi Polymer, Arus, Tegangan Jatuh.*

## KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat bagi Mahasiswa/Mahasiswi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya yakni Bapak Joko Sri Muryanto dan Ibu Daliyati, kedua kakak saya yakni Sri Hastutik Ariani, S.Pd dan Dwi Hastuti Daliyani adik saya Muhammad Bayu Prasetyo dan Rahwida Marbun, S.Pd yang telah banyak memberi semangat kepada saya hingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Rahmatullah, S.T., M.T. 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 Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Rohana, S.T.,M.T. Selaku Pembimbing I, yang telah banyak membantu dalam membimbing menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Muhammad Syafril, S.T., M.T. Selaku Pembimbing II, yang juga telah banyak membantu dalam membimbing menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu Rimbawati, S.T., M.T selaku penguji I, yang telah menguji laporan tugas akhir ini sehingga menjadi lebih baik.

7. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T selaku penguji II, yang juga telah menguji laporan tugas akhir ini sehingga menjadi lebih baik.
8. Staf Biro Akademik yang telah banyak membantu untuk tatacara pengurusan berkas yang berkaitan dengan akademik pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak Agus Trisusanto Selaku Manager di PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara Area Medan.
10. Bapak Handri Selaku pembina lapangan yang banyak membantu membina dalam pelaksanaan riset di lapangan.
11. Teman – teman seperjuangan angkatan 2013 Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang juga banyak memberikan semangat kepada saya. Semoga sukses selalu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi langkah awal bagi penulis untuk menatap kesuksesan dunia dan kesuksesan akhirat nantinya.

Medan, 25 Oktober 2017  
Penulis

(BAMBANG TRI SALJUONO)  
1302770024

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penulisan .....	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	7
2.2 Kabel Listrik .....	10
2.2.1 Faktor Pemilihan Ukuran Kabel.....	14
2.3 Karakteristik Kabel Listrik .....	15
2.3.1 Induktansi Kabel.....	15
2.3.2 Kapasitansi Kabel .....	16

2.3.3	Resistansi Kabel .....	16
2.3.4	Impedansi Kabel .....	17
2.4	Kabel Bawah Tanah .....	17
2.5	Kabel Bawah Tanah Berisolasi XLPE .....	18
2.5.1	Konstruksi Kabel bawah Tanah.....	19
2.5.1.1	Isolasi .....	19
2.5.1.2	Selubung.....	21
2.5.1.3	Bantalan.....	21
2.5.1.4	Perisai .....	22
2.5.1.5	Bahan Pengisi .....	22
2.5.1.6	Sarung Kabel .....	22
2.5.1.7	Lapisan Penahan Kebocoran .....	23
2.5.2	Kode Pengenal Kabel Bawah Tanah .....	23
2.6	Isolasi Kabel Bawah Tanah .....	27
2.7	Jenis-jenis Isolasi Kabel Bawah Tanah .....	29
2.7.1	Kabel dengan Isolasi Kertas .....	30
2.7.2	Kabel dengan Isolasi XLPE .....	31
2.7.3	Kabel Tanah Termoplastik Tanpa Perisai ( <i>PVC</i> ) .....	32
2.7.4	Kabel Tanah Termoplastik Berperisai .....	32
2.8	Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	33
2.8.1	Jenis Gangguan Kabel Bawah Tanah .....	33
2.8.2	Gangguan Pada Kabel Bawah Tanah.....	38
2.8.2.1	Kegagalan Isolasi .....	38
2.8.2.2	Kegagalan Termal.....	38

2.8.2.3 Arus Bocor Pada Kabel .....	39
2.8.2.4 Ketahanan Isolasi .....	40
2.9 Penyebab Gangguan Sistem Distribusi Bawah Tanah .....	41
2.9.1 Akibat Gangguan Pada Kabel Bawah Tanah .....	41
2.9.2 Penentuan Lokasi Gangguan Kabel Bawah Tanah.....	42
2.9.3 Tegangan Jatuh.....	43
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>45</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	45
3.2 Jalannya Penelitian.....	45
3.3 Data Penelitian .....	48
<b>BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
4.1 Analisis Gangguan Saluran Kabel Bawah Tanah .....	51
4.1.1 Menentukan Lokasi Gangguan.....	51
4.1.2 Tegangan Jatuh.....	52
4.1.3 Resistansi Kabel Bawah Tanah .....	54
4.2 Analisis Ketahanan Isolasi Kabel Bawah Tanah .....	55
4.2.1 Arus Bocor Pada Kabel.....	55
4.2.2 Ketahanan Isolasi Kabel Akibat Arus Bocor .....	55
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk-bentuk penghantar .....	13
Gambar 2.2 Bagian Utama Kabel Bawah Tanah.....	18
Gambar 2.3 Kabel Bawah Tanah One Core Berisolasi XLPE .....	18
Gambar 2.4 Kondisi Gangguan Kabel .....	35
Gambar 2.5 Mengukur Tahanan Isolasi Antara Fasa – Fasa R-S,R-T,T-S.....	36
Gambar 2.6 Mengukur Tahanan Isolasi Antara Fasa R,S,T Dengan Tanah ...	36
Gambar 2.7 Pemeriksaan Kontinuitas.....	37
Gambar 2.8 Skema Pengujian Rangkaian Tertutup Murray .....	42
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	47
Gambar 3.2 <i>Singel Line</i> Diagram .....	48



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daya Hantar Listrik Berbagai Logam .....	12
Tabel 2.2 Harga konstanta dengan untaian penghantar yang berbeda.....	16
Tabel 2.3 Perbandingan Beberapa Macam Isolasi.....	20
Tabel 2.4 Kode Pengenal Untuk Kabel.....	24
Tabel 2.5 Daftar Konstruksi dan Penggunaan Kabel Tanah Berisolasi XLPE dan Berselubung PVC .....	26
Tabel 3.1 Jadwal Jalannya Penelitian .....	46
Tabel 3.2 <i>Sheet Cable</i> .....	49
Tabel 3.3 Data hasil Penelitian .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Singel Line* Diagram KI 12

Lampiran 2 Standar SPLN No.1 Tahun 1995

Lampiran 3 Kronologi Gangguan Penyulang KI 12

Lampiran 4 Standar IEEE Sheet Cable (BS 6622, BS 7835)

Lampiran 5 Sheet Cable IEC : 60502 NA2XSEFGbY

Lampiran 6 Jurnal Penelitian Tugas Akhir

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu peralatan penyaluran yang digunakan dalam sistem distribusi dan transmisi listrik adalah kabel listrik. Kabel – kabel yang digunakan pada sistem instalasi listrik tersebut harus memenuhi standar yang ditentukan, baik dari segi konduktor, bahan isolasi dan seluruh konstruksi kabel.

Penghantar listrik merupakan salah satu komponen penting dalam distribusi daya listrik. Kemampuan penghantar listrik dalam menghantarkan daya listrik sangat dipengaruhi oleh kualitas konduktor dan resistansinya. Kondisi lingkungan dengan temperatur yang bervariasi akan mempengaruhi konduktor dan resistansinya. Dengan mengetahui pengaruh temperatur terhadap penghantar maka diharapkan akan membantu dalam proses pemilihan penghantar yang sesuai dengan area kerja penghantar listrik.

Untuk itu, agar tercipta keandalan dan keaman operasi sistem tenaga listrik perlu diadakan uji ketahananbahan isolasi peralatan listrik sebelum dioperasikan, misalnya bahan isolasi pada kabel.

Pada kabel tipe XLPE milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan yang berada di Jalan Kol Yos Sudarso Km 10.5 Simpang KIM (Kawasan Industri Medan) II telah terjadi arus bocor atau kontak yang dapat mengakibatkan terjadinya bahaya pada operator/teknisi PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan.

Atas dasar latar belakang tersebut, maka didalam skripsi ini akan dilakukan analisis gangguan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTM) jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun masalah yang dibahas pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana gangguan Saluran Kabel Bawah Tanah pada penyulang 20 kV ?
2. Bagaimana ketahanan isolasi jenis kabel XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Maksud dan tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis gangguan pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM) jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.
2. Menganalisis ketahanan isolasi jenis kabel XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.

## **1.4 Batasan Masalah**

Ruang lingkup permasalahan yang dibahas pada penelitian ini yaitu :

1. Penelitian hanya dilakukan di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan Jalan Pulau Karimun Kawasan Industri Medan (KIM) II pada penyulang KI 12 Tegangan 20 kV.
2. Pembahasan hanya menganalisis gangguan saluran kabel bawah tanah jenis XLPE 300 mm penyulang 20 kV.
3. Tidak membahas tentang analisis gangguan pada sambungan kabel bawah tanah penyulang 20 kV.
4. Menganalisis ketahanan isolasi kabel bawah tanah jenis XLPE 300 mm.

5. Tidak membahas temperatur suhu pada sambungan kabel bawah tanah XLPE 300 mm.

### **1.5 Manfaat Penulisan**

Dengandilakukannya penelitian ini dapat memberikan manfaat, terutama bagi Universitas, Mahasiswa dan Perusahaan :

1. Bagi Universitas :
  - a. Mempererat kerjasama antara perusahaan dengan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara khususnya bagi program studi Teknik Elektro.
  - b. Sebagai referensi penelitian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang analisis gangguan saluran kabel bawah tanah 20 kV.
2. Bagi Mahasiswa :
  - a. Mengetahui bagaimana menganalisis kontak pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM) jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.
  - b. Dapat mengetahui kenapa pada saluran kabel tegangan menengah khususnya jenis kabel XLPE 300 mm terjadi arus bocor atau kontak.
3. Bagi Perusahaan :
  - a. Sebagai bahan masukan perbaikan dari sistem kerja atau sistem yang lama.
  - b. Mendapat informasi mengenai teknologi yang sedang berkembang.
  - c. Mendukung dan berpartisipasi dalam program nasional dalam bidang pendidikan.

## **1.6 Metodologi Penelitian**

### **1.6.1 Studi Literatur / Pustaka**

Pada tahapan ini dilakukan pedalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literatur dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data penelitian, informasi, studi literatur juga sangat di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

### **1.6.2 Wawancara**

Wawancara merupakan komunikasi verbal untuk mengumpulkan informasi dari seseorang. Dengan menggunakan tanya jawab secara langsung terhadap pejabat instansi terkait ataupun karyawan untuk mendapatkan data penelitian yang diperlukan.

### **1.6.3 Riset**

Riset / pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data-data dari tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

### **1.6.4 Bimbingan**

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan didalam penulisan.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Skripsi ini terdiri dari lima Bab. Untuk memberikan gambaran penulisan skripsi ini, secara singkat diuraikan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan skripsi, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah dan manfaat penulisan metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus skripsi, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu Menganalisis gangguan Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) Jenis XLPE 300 mm Pada Penyulang 20 kV.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini meliputi langkah – langkah jenis penelitian, jadwal penelitian, alat dan serta jalannya penelitian.

### **BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN**

Bab ini membahas mengenai analisis gangguan pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM) jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.

## **BAB V    PENUTUP**

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian analisis gangguan pada saluran kabel tegangan menengah (SKTM) jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV dan juga saran – saran yang berhubungan dengan gangguan pada saluran kabel tegangan menengah jenis XLPE 300 mm pada penyulang 20 kV.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Menurut Rufina, (2014) dalam jurnalnya Kabel merupakan peralatan listrik yang paling rentan menyebabkan kebakaran. Dari data penyebabkebakaran di wilayah Jakarta disebutkan bahwa : 78 % disebabkan oleh kabel listrik, 3 % oleh kotakkontak, 8 % oleh PHB (Panel Hubung Bagi) dan 11 % oleh peralatan listrik lainnya. Berdasarkan datadi atas, dapat dilihat bahwa kabel listrik merupakan peralatan yang paling rentan dalam sisi keamananinstalasi listrik.

Untuk itu, agar tercipta keandalan dan keamanan operasi sistem tenaga listrik perlu diadakan ujiketahanan bahan isolasi peralatan listrik sebelum dioperasikan, misalnya bahan isolasi pada kabel.Salah satunya dengan pengujian tegangan tembus isolasi kabel yang bertujuan untuk mengetahuikualitas dan karakteristik material isolasi kabel ketika diberi tegangan melebihi tegangan normal danmenganalisis tegangan tertinggi yang mampu ditahan oleh kabel dalam waktu tertentu agar tidakterjadi kemungkinan adanya arus bocor. Kabel instalasi listrik yang diuji adalah kabel standar dan tidak standar dengan bahan isolasi PVC(Polivinil Chlorida) dan XLPE (Cross-Linked Polyethylene), jenis kabel tegangan rendah, yaitu : kabelNYA, NYM dan NYFGbY, serta kabel tegangan menengah, yaitu : kabel NA2XSEYBY.

Material isolasi yang banyak dipakai untuk keperluan isolasi kabel adalah jenis polimer termoplastik,yaitu PVC (Polivinil Klorida) yang mampu menahan tegangan tembus sampai 13 kV atau lebih danjenis polimer termoset, yaitu XLPE

(Cross-Linked Polyethylene) yang mampu menahan tegangantembus sampai 15 kV atau lebih tinggi.

Menurut Bandri, (2012) dalam jurnalnya Saluran distribusi dengan kabel bawah tanah akhir – akhir ini banyak digunakan pada daerah perkotaan, karena baik dilihat dari faktor keamanan dan keindahan. Dalam penelitian ini mengetahui sejauh manakeandalan isolasi terhadap Partial Discharge pada dengan bahan isolasi XLPE dan PVC. Studi kasus dilakukan pada jaringan distribusi pada GIS Simpang Haru ke GH Gor Agus Salim yang menggunakan kabel NA2XSEBY 20 kV berisolasi XLPE dan PVC. Dari analisis ini menunjukkan besar tegangan stres, kenaikan temperatur, tegangan rongga dan kapasitansi pada isolasi XLPE dan PVC untuk kabel bawahan NA2XSEBY 20 kV, yang mana peluahan terjadi apabila tegangan sumber kerja sebesar 20 kV lebih besar dari pada insepisi yang diterapkan V.

Menurut silimang, (2016) penyulang merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berperan sebagai sarana untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk hingga konsumen dan dapat dilakukan lewat udara maupun bawah tanah. Tapi dalam penerapannya penyulang-penyulang yang dipakai sering mengalami gangguan baik gangguan teknis dan non teknis, diantaranya ialah gangguan hubung singkat. Untuk menangani masalah tersebut diperlukan sistem proteksi yang sesuai dengan standar sensitifitas, keandalan, selektifitas. Untuk memasang peralatan proteksi baiknya diketahui besar arus gangguan hubung singkat yang dapat terjadi pada sebuah penyulang untuk mendapatkan settingan yang sesuai dengan keadaan penyulang.

Oleh karena itu, perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat diperlukan dalam menentukan settingan OCR dan GFR pada proteksi dalam suatu penyulang.

Menurut Agustinus, (2013) Tegangan yang stabil merupakan salah satu tujuan utama dalam proses pendistribusian energi listrik agar mutu pelayanan konsumen dapat berlangsung dengan baik. Namun kondisi ideal yang diinginkan tersebut tidak dapat berlangsung, karena berbagai kondisi yang mempengaruhi kualitas tegangan pada saat pengiriman berlangsung. Pengaruh terhadap kualitas tegangan inilah yang menyebabkan jatuh tegangan. Jatuh tegangan dapat disebabkan penempatan transformator dengan beban, saluran, sampai pada kondisi beban yang tidak stabil. Untuk mengatasi fluktuasi tegangan berupa kenaikan tegangan dan jatuh tegangan pada jaringan, maka dapat diatasi dengan pemasangan kapasitor sampai pada mengatur tegangan kirim transformator *step up*, sehingga memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PLN yang dicantumkan pada SPLN 1987, yakni fluktuasi tegangan sebesar +5% dan -10% pada saluran distribusi 20 kV.

Menurut Aryani, (2015) Sistem distribusi merupakan bagian yang tidak terpisah dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi merupakan sub sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik. Adanya gangguan pada suatu sistem tenaga listrik atau penyediaan listrik ini tidak dikehendaki, tetapi merupakan kenyataan yang tidak dapat dihindarkan. Kondisi tersebut tidak bisa dibiarkan dalam waktu lama karena akan membuat kerusakan pada peralatan-peralatan listrik dan menimbulkan kerugian yang besar bagi penyedia listrik. Tindakan untuk mengurangi penurunan tegangan yang cukup besar pada sistem tenaga listrik harus segera diupayakan karena

keadaan tersebut jika dibiarkan secara terus-menerus maka akan menyebabkan terjadinya penurunan keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas energi listrik yang disalurkan. Manajemen gangguan merupakan himpunan fungsi proses dari identifikasi, isolasi dan restorasi gangguan. Pada penelitian ini isolasi dan restorasi dilakukan dengan metode algoritma genetika dan upaya *load shedding* pada jaringan yang mengalami drop tegangan. Untuk mendapatkan restorasi yang paling optimal dengan mendapatkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi diharapkan dengan algoritma genetika dan *load shedding* dapat mengatasi gangguan pada jaringan distribusi.

## **2.2 Kabel Listrik**

Kabel listrik adalah kawat penghantar berisolasi sebagai medi untuk menyalurkan energi listrik dari satu tempat ke tempat yang lain dan juga membawa sinyal informasi dari satu tempat ketempat yang lain. Sebuah kabel listrik terdiri dari isolator dan konduktor, kecuali untuk kabel *grounding* atau kabel pentanahan, kabel TT (tegangan tinggi), kabel SUTET (saluran udara tegangan ekstra tinggi), biasanya ada yang tidak dibungkus dengan isolator.

Isolator adalah bahan pembungkus konduktor untuk menahan tekanan listrik yang disebabkan tegangan arus bolak – balik maupun tegangan transien tanpa mengalami kegagalan isolasi dan tidak menyebabkan hubung pendek (*short circuit*), terbuat dari karet atau plastik. Sedangkan konduktor berfungsi untuk menyalurkan energi listrik, berupa kumpulan kawat yang dipilin agar lebih fleksibel terbuat dari tembaga atau alumunium.

Material isolasi yang banyak dipakai untuk keperluan isolasi kabel adalah jenis polimer termoplastik, yaitu PVC (*polivinil clorida*) yang mampu menahan tegangan tembus sampai 13 kV atau lebih dan jenis polimer termoset yaitu XLPE (*cross linked polyethelene*) yang mampu menahan tegangan tembus sampai 16 kV atau lebih.

Tegangan tembus merupakan tegangan minimum yang dapat merusak bahan isolasi. Bahan isolasi dikatakan tembus apabila pada bahan tersebut mengalir muatan listrik negatif (elektron). Mengalirnya elektron – elektron secara terus menerus akan menimbulkan arus bocor pada permukaan bahan isolasi dan akan mengurai ikatan kimia bahan isolasi. Akibatnya, timbul kerak konduktif yang dapat membentuk jalur konduktif dan menimbulkan tekanan elektrik yang berlebihan pada isolasi. Apabila isolasi / dielektrik tersebut tidak dapat menahan tekanan listrik dan berubah sifat menjadi konduktif, maka bahan isolasi tersebut telah tembus listrik (*breakdown*). Kabel merupakan materi inti dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, dibutuhkan kualitas sistem isolasi yang baik pada kabel listrik untuk mendukung stabilitas sistem. Maka, dibutuhkan pengujian tegangan tinggi untuk memberikan jaminan bahwa kabel listrik tersebut dapat dipakai pada tegangan normalnya yang tidak terbatas. Salah satunya dengan pengujian tegangan tembus isolasi kabel tegangan arus bolak – balik (AC).

Penghantar merupakan bagian utama dari kabel, yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Penghantar yang digunakan biasanya dipilih berdasarkan sifat materialnya, diantaranya mempunyai daya hantar listrik atau (konduktivitas) yang tinggi dan tahanan jenis (resistifitas) yang rendah. Besarnya bahan jenis suatu penghantar dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

A = Luas penampang penghantar ( $m^2$ )

L = Panjang penghantar (m)

R = Tahanan penghantar ( $\Omega$ )

$\rho$  = Tahanan jenis penghantar ( $\Omega - m$ )

Sedangkan besarnya konduktivitas penghantar :

$$\sigma = \frac{L}{\rho} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$\sigma$  = Konduktivitas penghantar ( $\Omega - m$ )

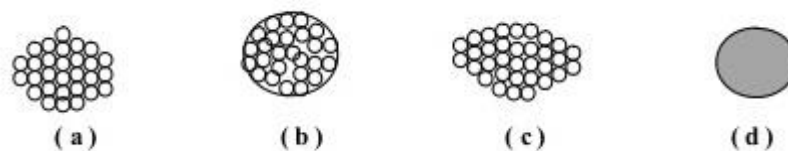
Tabel 2.1 Daya Hantar Listrik Berbagai Logam

Logam / Material	Resistivitas ( $\Omega - m$ )	Konduktivitas ( $\Omega - m$ )
Perak (Ag)	$1,47 \times 10^{-8}$	$6,8 \times 10^{-7}$
Tembaga (Cu)	$1,67 \times 10^{-8}$	$6,0 \times 10^{-7}$
Emas (Au)	$2,32 \times 10^{-8}$	$4,3 \times 10^{-7}$
Aluminium (Al)	$2,63 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-7}$
Kuningan (70% Cu + 30% Zn)	$6,25 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-7}$
Besi (Fe)	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-7}$
Baja Karbon (Fe + C)	$1,67 \times 10^{-7}$	$0,6 \times 10^{-7}$
Baja tahan karat (Fe + Cr)	$5,00 \times 10^{-7}$	$0,2 \times 10^{-7}$

Dari tabel diatas diketahui bahwa logam atau material yang merupakan penghantar listrik yang baik, memiliki konduktivitas listrik dengan orde  $10^{-7}$  ( $\Omega - m$ ) dan resistivitas dengan orde  $10^{-8}$  ( $\Omega - m$ ). Selain dilihat dari konduktivitas dan resistivitasnya, suatu penghantar yang baik juga ditentukan dari unsur-unsur pemuatan, ketidak murnian dan ketidak sempurnaan dalam kristal logam, yang banyak berperan dalam proses pembuatan penghantar itu sendiri.

Unsur-unsur pemuatan pada suatu penghantar selain mempengaruhi daya hantar listrik juga mempengaruhi sifat-sifat mekanik dan fisiknya. Suatu logam murni memiliki sifat daya hantar listrik yang lebih baik jika dibandingkan dengan logam yang tidak murni, tetapi kekuatan mekanisnya lebih rendah. Bahan penghantar yang banyak dipakai untuk kabel tenaga listrik ialah logam, tembaga dan aluminium, karena mempunyai konduktivitas yang cukup baik dan resistivitas yang kecil serta memenuhi pertimbangan ekonomis.

Selain mempunyai sifat fisik yang baik suatu penghantar juga harus memiliki sifat mekanika yang baik pula, misalnya mudah dibelok-belokan, sehingga mudah pada saat instalasi kabel. Oleh karena itu penghantar suatu kabel dibuat menjadi beberapa macam bentuk, antara lain :



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk penghantar

a. Bundar Konsrentris

Bentuk ini biasanya digunakan untuk kabel berinti satu dan kabel tegangan rendah (gambar 2.1a). Pada umumnya tidak digunakan untuk kabel tegangan menengah, karena dapat terjadi penetrasi lapisan penghantar berjupa lapisan ekstrusi kompon semi konduktor kedalam sela-sela penghantarnya.

b. Bundar Kompak

Penghantar ini dipilin dan ditekan hingga 90% konsentris diameternya, sehingga dapat menghalangi penetrasi ekstrusi kompon semi konduktor (gambar 2.1b).

c. Kompak Gepeng

Penghantar ini dipilin dan ditekan hingga 90% konsentris, kemudian dibentuk seperti (gambar 2.1c). Bentuk seperti ini biasanya digunakan untuk kabel berinti tiga.

d. Bundar Padat (*solidround*)

Biasanya bentuk penghantar seperti ini untuk kabel tegangan rendah dan tidak dipakai untuk tegangan menengah.

### 2.2.1 Faktor-faktor dalam memilih ukuran kawat

Beberapa faktor pertimbangan dalam memilih ukuran kawat untuk transmisi dan distribusi tenaga listrik :

Kehilangan atau kerugian tenaga (*Power Loss*), yang dirubah menjadi panas dalam kawat karena adanya tahanan kawat itu sendiri. Besarnya kerugian tenaga dapat dirumuskan dengan :

$$\text{Besarnya power loss} = I^2R \dots \dots \dots (2.3)$$



Kerugian tegangan. Tegangan listrik dari sumber akan turun disebabkan karena adanya pemakaian arus pada beban. Pemakaian arus menyebabkan adanya kehilangan / kerugian tegangan.

Batasan kuat arus yang boleh dialiri pada kawat agar tidak menimbulkan panas yang berlebihan (kritis), dimana panas tersebut akan merusak bahan isolasi.

### 2.3 Karakteristik Listrik Kabel

Sesuai dengan sifat fisik yang ada pada saluran listrik baik saluran udara maupun saluran bawah tanah, menurut konsep medan magnet dapat dijelaskan bahwa sifat-sifat saluran dapat dicirikan dengan adanya tahanan (R), induktansi kabel (L), kapasitansi kabel (C), impedansi (Z) dan reaktansi kabel (X).

#### 2.3.1 Induktansi Kabel

Induktansi (L) adalah sifat rangkaian yang menghubungkan tegangan yang diimbaskan oleh perubahan fluks dengan perubahan kecepatan arus. Induktansi suatu kabel 3 inti terdiri dari 2 bagian yaitu induktansi dari penghantar dan induktansi mutual dengan inti lainnya. Induktansi kabel tiap ini adalah :

$$L = k + 0,2 \log \left( \frac{2S}{d} \right) mHKm \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

k = Konstantan yang tergantung dari formasi penghantar (tabel 2.5)

s = Jarak antar konduktor (mm)

d = Diameter konduktor (mm)

Tabel 2.2 Harga konstanta dengan untaian penghantar yang berbeda

Jumlah Kawat Tiap Penghantar	K
3	0,0778
7	0,0647
19	0,0554
37	0,0528
61	0,0514

### 2.3.2 Kapasitansi Kabel

Pada kabel yang digunakan untuk kabel transmisi dan distribusi biasanya intinya dibalut dengan metallic screen. Hal lain yang timbul hanya terdiri dari komponen radial. Kapasitansi kabel persatuan panjang diberikan oleh persamaan :

$$C = \frac{\epsilon_r}{18 \ln(R/r)} \mu F/km \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

$\epsilon_r$  = Permittivitas relatif

Rd = Garis tengah isolasi

r = Garis tengah konduktor

### 3.2.3 Reaktansi Kabel

Reaktansi (X) pada setiap kabel berinti 3 atau kabel berinti 1 dapat dihitung dengan formula :

$$X = 2\pi fL 10^{3-} (Ohm/Km) \dots \dots \dots (2.7)$$

### 3.2.4 Impedansi

Impedansi ( $Z$ ) pada setiap kabel berinti 3 dan kabel berinti 1 dapat dihitung dengan formula :

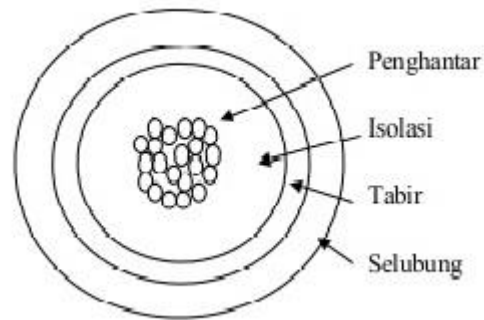
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ Ohm/Km} \dots \dots \dots (2.8)$$

## 2.4 Kabel Bawah Tanah

Dalam transmisi dan distribusi tenaga listrik banyak dilakukan berbagai cara di antaranya melalui saluran udara (*Over Head Line*) dan saluran kabel bawah tanah (*Underground Transmission*). Akan tetapi transmisi dan distribusi saluran udara menjadi sangat sulit untuk dilaksanakan khususnya pada daerah yang jumlah penduduknya banyak seperti di kota-kota, dengan alasan beresiko tinggi dan mengurangi keindahan lingkungan. Untuk menghindari hal tersebut maka digunakan kabel transmisi yang dipasang dibawah permukaan tanah yang disebut kabel-kabel bawah tanah (*Underground Cable*).

Pada umumnya konstruksi kabel tanah yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik tegangan rendah dan tegangan menengah, dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian utama dan bagian pelengkap.

Bagian utama terdiri dari penghantar isolasi, tabir, selubung yang terlihat pada (gambar 2.2) berikut.

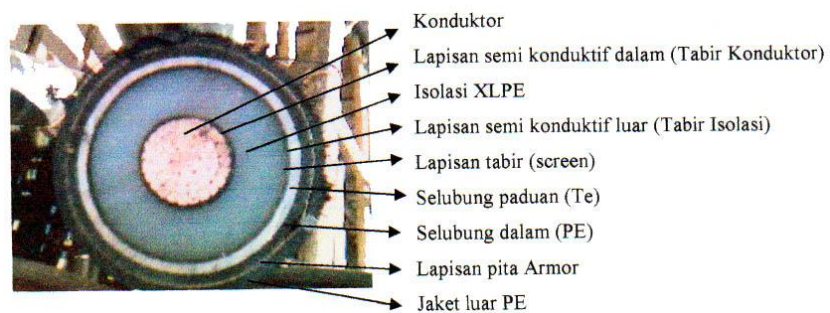


Gambar 2.2 Bagian Utama Kabel Bawah Tanah

Bagian pelengkap, terdiri dari bahan, perisai, bahan pengisi, sarung kabel dan lapisan penahan kebocoran air. Bagian pelengkap ini berguna untuk memperbaiki sifat-sifat kabel tanah sebagai tenaga listrik.

## 2.5 Kabel Bawah Tanah Berisolasi XLPE (Cross Linked Poly Ethylene)

Untuk melihat lebih jelas lagi, mengenai konstruksi kabel bawah tanah berisolasi XLPE, khususnya untuk tegangan menengah yang ada di Indonesia, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.3 Kabel Bawah Tanah *One Core* Berisolasi XLPE

### **2.5.1 Konstruksi Kabel Bawah Tanah dan Fungsi Bagiannya**

Pada umumnya konstruksi kabel tanah yang digunakan untuk distribusi tenaga listrik tegangan rendah dan tegangan menengah, dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian utama dan bagian pelengkap.

#### **2.5.1.1 Isolasi**

Isolasi merupakan bagian utama kabel yang berfungsi mencegah terjadinya hubung singkat pada kabel. Salah satu gangguan pada penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel tanah adalah terjadinya kerusakan pada lapisan isolasi. Bahan isolasi disesuaikan dengan kemampuan kabel, sehingga dalam instalasi suatu kabel, harus disesuaikan penggunaannya secara umum isolasi harus mempunyai sifat-sifat :

1. Ketahanan dielektrik yang tinggi.
2. Tahanan jenis yang tinggi.
3. Dapat bekerja pada temperatur rendah atau tinggi.
4. Tidak menghisap air atau uap air.
5. Mudah dibengkokkan (fleksibel).
6. tidak mudah terbakar.
7. Sanggup menahan tegangan implus listrik yang tinggi.

Suatu hal yang tidak mungkin, dalam suatu jenis isolasi memiliki semua sifat-sifat diatas, sehingga diperlukan pemilihan isolasi yang sesuai dengan maksud dan tujuan kabel yang akan dipakai jenis isolasi yang dipakai adalah :

- a. Kertas yang diimpregnasi
- b. Termoplastik (misalnya PE, PVC)
- c. Elastomer (misalnya XLPE)

Tabel 2.3 Perbandingan Beberapa Macam Isolasi

Sifat	Jenis Isolasi kabel			
	Kertas	PVC	PE	XLPE
Permitivitas relative pada 20 <sup>0</sup> C	3,6	5	2,3	3
Temperatur kerja <sup>0</sup> C	65	70	70	90
Temperatur max setelah hubung singkat	150	160	150	250
Tahanan panas <sup>0</sup> C sm/W	600	600	350	500

Untuk kabel tegangan menengah, penggunaan XLPE sebagai bahan isolasi cukup pesat. akan tetapi isolasi XLPE memiliki kelemahan, yaitu masalah (*water treening*) yang terjadi apabila XLPE yang bertegangan terkena air. Keadaan seperti ini menyebabkan umur XLPE bertambah pendek. Dengan adanya teknologi baru mengenai lapisan penahan kebocoran terhadap air yang dipasang diatas dan dibawah pitatembaga, agar isolasi terhindar dari water treening, sehingga umur XLPE diharapkan lebih panjang.

Dari segi isolasi, sekarang orang mulai menggunakan XLPE yang memiliki ketahanan kerja lebih baik, meskipun harganya mahal dibandingkan dengan isolasi sintetis jenis lain. XLPE mempunyai karakteristik paling baik, tetapi pada umumnya isolasi sintetis mempunyai kelebihan di bandingkan dengan isolasi kertas yaitu :

- a. Lebih bersih
- b. Ringan, karena tak memerlukan selubung logam
- c. Perbaikan dan pemeliharaannya mudah
- d. Cara penyambungannya sederhana
- e. Suhu kerjanya lebih tinggi (khusus XLPE), karena itu kapasitas penyalurannya besar.

Isolasi XLPE digunakan pada kabel yang bertegangan mencapai 110 kV atau biasa digunakan pada kabel tegangan menengah. Keuntungan dari isolasi XLPE adalah :

- a. Suhu kerja lebih tinggi sehingga dapat dialiri arus yang lebih tinggi.
- b. Bobot yang ringan.
- c. Bisa digunakan pada frekuensi tinggi.

#### **2.5.1.2 Selubung**

Selubung merupakan bagian utama kabel yang paling luar. Berdasarkan jenis bahannya, selubung menjadi tiga golongan:

1. Selubung logam (misalnya timbel, aluminium)
2. Selubung karet (misalnya karet silicon)
3. Selubung plastic (misalnya PVC)

Fungsi selubung :

1. Melindungi inti kabel dari pengaruh luar.
2. Mencegah terjadinya korosi.
3. Menahan gaya mekanis.
4. Melindungi/mencegah gaya listrik dari luar.
5. Mencegah masuknya uap air/ cairan kedalam kabel secara vertikal. Pada kabel kertras yang diresapi minyak (impregnated paper), selubung dapat mencegah keluarnya minyak.

#### **2.5.1.3 Bantalan**

Bantalan pada kabel berfungsi sebagai kedudukan perisai dan untuk mencegah terjadinya proses elektrolisa, sehingga tidak merusak bagian dalamnya. Bantalan diletakkan di bawah perisai. Pada kabel berisolasi kertas,

bantalan dilengkapi dengan kompon kedap air. Karena kompon kedap air tersebut, menyebabkan bantalan mempunyai sifat :

1. Tidak bereaksi dengan selubung dan perisai, namun tetap melekat dengan sempurna pada selubung dan perisai.
2. Tidak mudah merubah dengan adanya perubahan temperatur.
3. Tidak mudah robek jika terkena getaran.

#### **2.5.1.4 Perisai (*Armored*)**

Perisai pada kabel berfungsi untuk melindungi bahan isolasi dari kerusakan mekanis. Hal ini disebabkan karena sifat mekanis bahan isolasi pada kabel kurang sempurna. Pada umumnya perisai digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Perisai pita baja.
2. Perisai kabel baja pipih/ yang dilgavanis.
3. Perisai aluminium.

#### **2.5.1.5 Bahan Pengisi**

Bahan pengisi berfungsi untuk mengisi celah yang kosong pada saat pemasangan inti kabel, khususnya untuk kabel berinti tiga. Pada kabel yang mempunyai tabir yang terbuat dari logam, bahan pengisi juga berfungsi untuk melindungi isolasi dari luka yang disebabkan oleh tabir logam tersebut. Bahan pengisi yang banyak digunakan pada kabel isolasi kertas ialah jute, sedangkan untuk kabel isolasi XLPE menggunakan PVC.

#### **2.5.1.6 Sarung Kabel**

Selain sebagai bantalan perisai, sarung kabel juga berfungsi sebagai komponen yang berhubungan/ terkena pengaruh-pengaruh luar. Sarung kabel



biasanya dipasang diatas perisai. bahan sarung kabel yang banyak digunakan yaitu sarung goni. Pada kabel isolasi XLPE, sarung kabel yang digunakan terbuat dari PVC.

#### **2.5.1.7 Lapisan Penahan Kebocoran Air**

Untuk menghindari kebocoran air logitudinal maupun radial, maka perlu adanya lapisan penahan penetrasi air yang bersifat membengkak bila terkena air, sehingga penetrasi air dapat tertahan. Lapisan penahan kebocoran air ini, terdapat pada empat bagian kabel :

1. Dibawah dan diatas lapisan perlindungan listrik
2. Pengisi diantara inti sepanjang kabel, untuk kabel berinti tiga.
3. Dibawah selubung dan dibawah pelindung mekanis.
4. Di sela-sela antar kawat pada saat proses pemilinan.

#### **2.5.2 Kode Pengenal Kabel Bawah Tanah**

Oleh karena tanah terdiri dari beberapa macam jenis menurut kulit pelindungnya (armor), konstruksi maupun pemasangannya, maka dibuat suatu pengkodean kabel dengan tujuan untuk mempermudah pengenalan jenis kabel. Pengkodean kabel ini dibuat sesuai dengan standar SPLN yang telah di bakukan sebagai berikut :

Tabel 2.4 Kode Pengenal Untuk Kabel

<b>Huruf Kode</b>	<b>Komponen</b>
<b>N</b>	Kabel jenis standar, dengan tembaga sebagai penghantar
<b>NA</b>	Kabel jenis standar, dengan aluminium sebagai penghantar
<b>Y</b>	Isolasi PVC
<b>2Y</b>	Isolasi Polyethylene (PE)
<b>2X</b>	Isolasi XLPE
<b>S</b>	Lapisan pita tembaga (pada kabel berurat tunggal)
<b>SE</b>	Lapisan pita tembaga pada tiap inti (kabel berurat banyak)
<b>C</b>	Lapisan kawat tembaga konsentris (penghantar netral)
<b>CE</b>	Lapisan kawat tembaga konsentris pada tiap inti
<b>M</b>	Selubung luar PVC untuk kabel NYM
<b>W</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perisai pipa tembaga bergelombang</li> <li>• Perisai pipa aluminium bergelombang</li> <li>• Perisai pipa baja bergelombang</li> <li>• Perisai pipa baja tahan karat bergelombang</li> </ul>
<b>F</b>	Perisai dari kawat bajah putih
<b>R</b>	Perisai dari kawat baja bulat
<b>Gb</b>	Perisai dari spiral pita baja
<b>B</b>	Perisai dari pita baja galvanis
<b>T</b>	Penggantung untuk kabel udara
<b>Re</b>	Penghantar pada bulat
<b>Rm</b>	Penghantar bulat berkawat banyak
<b>Se</b>	Penghantar padat bentuk sector
<b>sm</b>	Penghantar dipilin bentuk sector
<b>cm</b>	Penghantar bulat berkawat banyak dipadatkan

Contoh :

- a. NA2XS2Y 1 x 20cm/ 251220(2) KV.

Menyatakan suatu kabel berinti tunggal berisolasi XLPE dan berselubung PE bertegangan pengenal 12/20 (24) KV berpengantar aluminium dengan

penampang nominal  $240 \text{ mm}^2$ , berlapis pita tembaga dengan luas nominal geometris  $25 \text{ mm}^2$ .

b. NA2XEBY 3 x 150 cm/2512/20 (24) KV.

Menyatakan suatu kabel berinti tiga berisolasi XLPE, berperisai pita baja galvanis dan bersehubung PVC bertegangan pengenal 12/20 (24) KV, berpengantar aluminium dipilin bulat berkawat banyak dipadatkan dengan penampang nominal  $150 \text{ mm}^2$ , lapisan tembaga pada masing-masing intinya dengan luas penampang nominal geometris  $25 \text{ mm}^2$ .

Adapun permasalahan yang terdapat pada isolasi PE (XLPE) adalah lebih sensitif terhadap pelepasan muatan (partial discharges), serta umur bahan yang tidak terlalu lama. Apabila sering terjadi pelepasan muatan maka disini akan terjadi suatu kegagalan pada isolasi tersebut, yaitu mengalirnya muatan pada isolasi. Hal ini tidak diinginkan, karena ini sangat berpengaruh terhadap umur bahan. Bentuk kegagalan yang dominan adalah kegagalan thermal, yang dipengaruhi oleh suhu dari kabel tersebut akibat dialiri oleh tegangan, khususnya tegangan bolak-balik.

Seperti yang telah dijelaskan dari hal tersebut bahan-bahan isolasi, bahwa penggunaan kabel berisolasi XLPE cukup pesat penggunaannya. Akan tetapi kabel berisolasi XLPE ini mempunyai kelemahan, seperti terjadinya (*water treeing*) pada lapisan isolasinya. Oleh karena itu dibuat konstruksi agar kabel berisolasi XLPE ini terhindar dari hal tersebut. Untuk lebih jelas lagi mengenai konstruksi dan penggunaan kabel tanah berisolasi XLPE dapat dilihat dari dalam tabel berikut :

Tabel 2.5 Daftar Konstruksi dan Penggunaan Kabel Tanah  
Berisolasi XLPE dan Berselubung PVC

No	Nama kabel tanah	Kode	Tegangan nominal (kv)	Jumlah inti	Luas penampang	Perlindungan	Penggunaan utama	Penggunaan dalam pembatasan
1	Kabel tanah berisolasi termoplastik dengan lapisan pelindung elektrik	N2XSY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	1 & 3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000	Berpelindung elektrik pita kawat tembaga	Didalam ruang, dalam saluran, untuk trafo distribusi pada sistem dengan netral dibumikan	Didalam tanah bila terdapat perlindungan mekanis
		NA2XSY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	1 & 3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000			
2	Kabel tanah XLPE berselubung termoplastik dengan perisai pita baja dan lapisan pelindung elektrik pada tiap inti	N2XSEBY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000	Perisai pita baja dan lapisan pelindung pita/kawat tembaga pada tiap inti	Di dalam ruang, dalam saluran dan di alam terbuka	Didalam tanah dengan perlindungan bila gangguan mekanis sering terjadi
		NA2XSEBY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000			
3	Kabel tanah berisolasi XLPE dan berselubung termoplastik dengan pelindung elektrik pada tiap inti	N2XSEY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	1 & 3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000	Pelindung elektrik pita/kawat tembaga tiap inti	Di dalam ruang, dalam saluran dan di alam terbuka	Didalam tanah dengan perlindungan bila gangguan mekanis sering terjadi
		NA2XSEY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	1 & 3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000			
4	Kabel tanah berisolasi XLPE dan berselubung termoplastik dengan perisai kawat dan pita baja dan pelindung elektrik pada tiap inti	N2XSEFGbY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000	Perisai kawat,pita baja dan lapisan pelindung elektrik pita/kawat tembaga	Di dalam ruangan, dalam saluran, didalam tanah dan di alam terbuka	Di dalam tanah bila di isyaratkan perlindungan mekanis yang lebih tinggi
		N2XSEFGbY	3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30	3	10....1000 16....1000 25....1000 35....1000 50....1000			

**Catatan :**

1. Untuk menahan kebocoran terhadap air secara radial maupun longitudinal, kabel jenis ini dapat diberi lapisan khusus yang tidak mengandung bahan selulosa.
2. Untuk keperluan khusus, misalnya menyeberangi sungai, kabel jenis ini dapat diberi perisai aluminium yang berombak-ombak dan *stainlesssteel* yang berombak-ombak (*corrugated*).

**2.6 Isolasi Kabel Bawah Tanah**

Sifat – sifat dielektrik yang penting untuk isolasi adalah tahanan isolasi yang tinggi, kekuatan dielektrik yang tinggi, sifat mekanis yang baik, tidak bereaksi terhadap asam dan lembab. Minyak kabel dan kompon mutu yang diinginkan adalah koesien yang rendah, kekentalan yang rendah pada suhu pencelupan (impregnasi), kekentalan yang tinggi pada suhu kerja (hanya kabel padat), titik beku dibawah suhu pelayanan, agak bersifat melumasi, koefisien suhu rendah dan ketahanan tinggi, kekuatan dielektris tinggi, mantap secara kimia dan bebas dari kandungan gas.

Penyebab utama yang berkaitan dengan suhu atas kerusakan kabel adalah kemunduran isolasi kertas akibat suhu, ketidak stabilan termal ielektris, pembentukan kehampaan dan isolasi, kegagalan kelelahan dari sarung timbal.

Bahan isolasi yang digunakan dalam konduktor atau penghantar adalah bahan PVC (Polivinilclorida). Agar bahan ini fleksibel maka divampur dengan bahan pelunak (plasticiser). Isolasi konduktor dengan bahan PVC tahan terhadap suhu sampai 70 °C secara terus menerus dan ada juga kabel yang dibuat khusus isolasinya dengan ketahanan suhu 150 °C.

Isolasi kabel tanah tegangan tinggi tidak saja berfungsi sebagai penyekat (isolator) atau pengaman, tetapi juga berfungsi sebagai pelengkap atau pendukung kerja transmisi tenaga listrik pada saluran kabel bawah tanah itu, karena meresap minyak dan campuran biasanya digunakan pada kabel minyak isolasi sintesis dan isolasi mineral.

Kabel tanah berisolasi kertas dapat digunakan untuk tegangan tinggi sampai 400 kV, baik untuk kabel minyak bertekanan rendah (*low pressure oilfiled* – LPOF) yang terpadu dalam satu kabel (*self contained*) dan kabel berisolasi kertas yang dimasukkan dalam pipa, lalu diisi dengan minyak bertekanan tinggi (*high pressure oil filed* – LPOF).

Kertas sebagai isolasi dapat berupa kertas kering maupun kertas yang diresapi minyak. Pada saat dibuat dipabrik (*oil impregnated paper*), dimana kekuatan dielektrik kertas itu tergantung pada ketebalan, kepadatan ketahanan terhadap air (*impermeabilitas*), kekuatan tarik (*transile strenght*), kemuluran (*elongation*), permitivitas relatif, faktor disipasi dan kekuatan tembus listriknya.

Peresapan kertas dengan minyak pada kabel tegangan tinggi (diatas 30 kV), dimasukkan untuk menghindari agar serat-serat kertas tidak pecah karena terbentuknya kantong-kantong udara (*void*) atau gas dalam kertas isolasi yang dapat berkembang dan mengkerut menjadi bagian-bagian yang tidak sama, dengan bertambahnya panas pada siklus beban. Tekanan pada kantong udara ini adalah tinggi, sehingga terjadi pelepasan muatan (*discharge*) yang menimbulkan panas dan dapat menghanguskan kertas. Dengan kata lain kertas sebagai isolasi mengalami “*pertial discharge*” yang mengakibatkan kegagalan isolasi (*break down insulation*).

Pada hakekatnya kabel dengan jenis isolasi campuran dan diresapi minyak adalah kabel yang berisolasi kertas yang diresapi minyak pada saat dibuat (*oil impregnated paper*), dimana didalam kabel tersebut dialiri dengan minyak yang bertekanan minyak. Dalam hal ini yaitu berfungsi sebagai isolasi listrik yang memperkuat dielektrik pada kertas isolasi, media pebdungin kabel.

Adapun untuk mengetahui standar harga minimal hasil pengukuran tahanan isolasi suatu peralatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan :

$$R = \frac{(1000 \times U)}{Q} \times U \times 2,5 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

R = Tahanan isolasi minimal.

U = Tegangan kerja.

Q = Tegangan Megger.

1000 = Bilangan tetap.

2,5 = Faktor keamanan

## 2.7 Jenis – Jenis Isolasi Kabel Bawah Tanah

Isolasi merupakan faktor penting pada sistem tenaga listrik. Secara umum isolasi harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Ketahanan dielektrik (dielectric strength) tinggi
2. Tahanan jenis (resistivity) yang tinggi
3. Dapat bekerja dalam temperatur rendah dan tinggi
4. Tidak menghisap air / uap air (non hygrokopic)
5. Mudah dibengkokkan (fleksibel)
6. Tidak mudah terbakar dan sanggup menahan tegangan impuls yang tinggi

### 2.7.1 Kabel dengan Isolasi Kertas

Umumnya bahan dasar kertas adalah kayu yang melalui proses kimia, dimana kertas terdiri dari serat-serat panjang berbentuk pipa rambut yang halus.

Sifat-sifat kertas sebagai bahan isolasi :

1. Faktor rugi dielektrik antara 0,0009 sampai 0,004
2. Temperatur kerja 65°C
3. Ketahanan dielektrik 80 kV/mm
4. Menghirup uap air atau cairan

Untuk memperbaiki sifat-sifat isolasi, kertas harus diserapi dengan minyak isolasi atau kompon khusus. Didalam penggunaan minyak adalah minyak mineral askarel atau campuran resin. Minyak isolasi harus bebas asam dan mempunyai sifat kimia yang stabil, mempunyai kekentalan rendah pada waktu peresapan dan kekentalan tinggi pada waktu temperatur kerja, guna mencegah pengeringan.

Fungsi minyak isolasi adalah sebagai bahan isolasi diantara lapisan-lapisan kertas, sehingga kertas tidak akan menghisap uap air. Walaupun tidak dikembangkan lagi sampai sekarang isolasi kertas masih banyak dipergunakan pada kabel tegangan menengah.

Kekurangan dari isolasi kertas ini adalah sifat elektriknya sangat dipengaruhi oleh kehadiran air. Untuk itu kertas yang akan dipergunakan sebagai isolasi mutlak harus dikeringkan terlebih dahulu dalam vakum di impregnasi minyak.



Pemilihan ketebalan kertas ditentukan oleh tegangan kerja, diameter konduktor dan syarat mekanis lainnya. Pengurangan ketebalan kertas, memberikan hasil yang baik pada tegangan tembus akibat pengurangan panjang gapai minyak yang dihasilkan, tetapi dengan dikembangkannya jenis isolasi XLPE maka kedudukan isolasi kertas sedikit demi sedikit mulai digantikan dengan isolasi XLPE.

### **2.7.2 Kabel dengan Isolasi XLPE (*Cross Link Poly Ethylene*)**

Kabel jenis ini bersifat thermesetting dan mempunyai temperatur kerja lebih baik dan bahan dasarnya yaitu polyethylene (Pe). Berdasarkan perbandingan dengan isolasi lainnya ternyata bahan isolasi XLPE mempunyai kemampuan lebih baik. Beberapa sifat utama dari isolasi XLPE dibanding dengan bahan isolasi lainnya adalah :

1. Temperatur perlunakan yang tinggi dan distorsi panas yang kecil
2. Kekuatan mekanis yang tinggi
3. Karakteristik listrik yang baik
4. Mempunyai daya tahan terhadap bahan pelarut dan kimia.

Dari beberapa sifat tersebut XLPE sudah mulai banyak digunakan oleh PT.PLN karena keuntungan menggunakan kabel jenis ini adalah :

1. Sangat mudah penanganannya
2. Suhu kerja lebih tinggi sehingga dapat dialiri arus relatif besar.
3. Mempunyai sifat-sifat fisik dan elektrik yang sangat baik
4. Tidak mempunyai instalasi tambahan misalnya tangki tambahan atau alarm
5. Dapat dipasang ditempat yang naik turun tanpa menimbulkan kesulitan.

Sebab utama kerusakan kabel berisolasi XLPE yang ditanam langsung didalam tanah ialah kerusakan mekanis yang terjadi pada waktu instalasi penyambungan yang kurang baik. Sebab lain adalah *water treening* yang mengakibatkan terbentuknya rongga-rongga dalam isolasi kabel sehingga kemampuan kabel menjadi berkurang.

### **2.7.3 Kabel Tanah Termoplastik Tanpa Perisai (PVC)**

Yang termasuk kabel tanah termoplastik tanpa perisai adalah kabel NYY dan NAYY. Pada prinsipnya susunan NYY ini sama dengan susunan NYM hanya tebal isolasi dan selubung luarnya serta jenis kompon PVC yang digunakan berbeda, warna selubung luarnya hitam. Untuk kabel tegangan rendah, tegangan nominalnya 0,6/1 kV dimana 0,6 kV adalah tegangan nominal terhadap tanah, 1 kV adalah tegangan nominal antar penghantar.

Diameter luar kabel dengan dua urat atau lebih dan dengan luar penampang penghantar besar akan menjadi besar sekali kalau digunakan penghantar bulat. Karena itu, untuk ukuran-ukuran besar umumnya mulai 50 mm<sup>2</sup> keatas digunakan penghantar bentuk sektor.

### **2.7.4 Kabel Tanah Termoplastik Berperisai**

Kabel tanah termoplastik berperisai yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah NYFGbY dan NYRGbY. Konstruksi NYRGbY terdiri dari penghantar tembaga tanpa lapisan timah putih dengan isolasi PVC. Jumlah uratnya kebanyakan tiga atau empat. Urat-urat ini dibelit jadi satu kemudian diberi lapisan pembungkus inti dari karet atau plastik lunak dan perisai kawat baja bulat berlapis seng.

Perisai kawat baja ini diikat dengan spiral pita baja berlapis seng untuk melindungi perisainya terhadap korosi, kabelnya diberi selubung luar PVC berwarna hitam. Perisai dari kawat baja itu juga berfungsi sebagai pelindung elektrostatik yang baik, sehingga dapat mengurangi gangguan terhadap frekuensi nada. Konstruksi kabel NYFGbY seperti kabel NYRGrbY hanya untuk perisai tidak digunakan kawat baja bulat, tetapi kawat baja pipih berlapis seng. NYRGrbY lebih tahan terhadap tarikan daripada kabel NYFGbY, lihat lampiran V.NYFGbY dan NYRGrbY biasanya pada bawah tanah, di air, disungai dan dimana daerah yang mempunyai gangguan mekanis.

## **2.8 Gangguan Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan normal. Berdasarkan ANSI/IEEE Std 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Hubung singkat ialah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

### **2.8.1 Jenis Gangguan Kabel Bawah Tanah**

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan

dari peralatan pemutus beban. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon atau ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Jenis gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Gangguan permanen atau (*stationary*)

Merupakan gangguan yang dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan dan tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

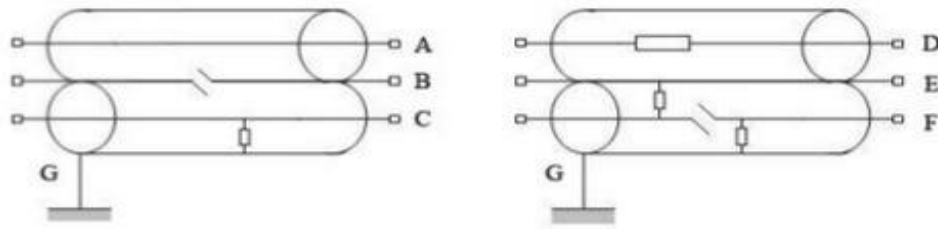
2. Gangguan sementara atau (*temporary*)

merupakan gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal kembali baik secara otomatis maupun secara manual dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal ini akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya meimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

Gangguan kabel bawah tanah dapat disebabkan oleh kerusakan pada konduktor, bahan isolasi atau kadang – kadang terjadi keduanya. Akibatnya dapat terjadi kondisi sebagai berikut :

- a. Gangguan konduktor putus (hubung terbuka).
- b. Gangguan seri, yaitu adanya tahanan gangguan yang terhubung seri.
- c. Gangguan antar fasa.
- d. Gangguan fasa ketanah.

Keempat kondisi tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4 Kondisi Gangguan Kabel

A adalah fasa yang sehat, B hubung terbuka, C hubung tanah, D mendapat gangguan serie, E dan F hubung singkat, selain itu F juga putus hubung tanah. G menyatakan selubung logam (timah) atau tanah. Kondisi seperti ini dapat diketahui dengan pengukuran-pengukuran yang dilakukan dari salah satu atau lebih terminalnya.

#### 1. Penyebab kerusakan kabel bawah tanah

Gangguan dapat terjadi karena kerusakan mekanis akibat pekerjaan – pekerjaan (penggalian) didekat lintasan kabel. Hal ini dapat segera menimbulkan gangguan, tetapi jika kerusakan sedikit gangguan dapat terjadi beberapa bulan kemudian. Masuknya kelembaban ke dalam kabel adalah alasan utama untuk gangguan jenis ini. Alasan – alasan lain yang menjadi rusaknya kabel dapat diringkas sebagai berikut :

- a. Korosi selubung kabel, hal ini juga menyebabkan masuknya kelembaban ke dalam kabel.
- b. Pergerakan tanah, menyebabkan putusnya kabel.
- c. Kerusakan akibat getaran, hal ini dapat mematahkan mantel timah.
- d. Pekerjaan yang tidak baik, seperti belokan yang terlalu tajam, tetapi terutama pada pengerjaan sambungan dan terminasi.

## 2. Menentukan jenis gangguan

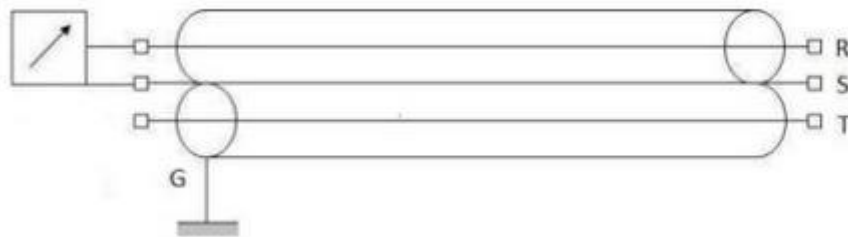
Jenis gangguan pada kabel tanah dapat ditentukan dengan pengukuran dan pengujian berikut ini :

### a. Mengukur tahanan isolasi kabel

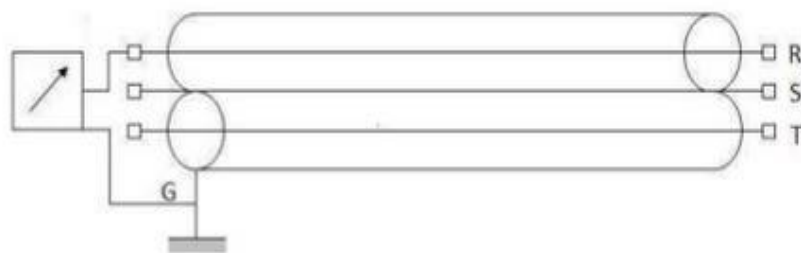
Dengan alat ukur tahanan isolasi (megger) yang diukur adalah :

- 1) Tahanan isolasi antara inti dengan inti
- 2) Tahanan isoalsi antara inti dengan tanah atau mantel

Harga tahanan isolasi yang terukur dapat mempunyai harga dari ratusan megaohm / infinite (isolasi baik) sampai mendekati nol (isolasi gagal)



Gambar 2.5 Mengukur Tahanan Isolasi Antara Fasa – Fasa R-S,R-T,T-S



Gambar 2.6 Mengukur Tahanan Isolasi Antara Fasa R,S,T Dengan Tanah

b. Pemeriksaan kontinuitas

Ketiga inti kabel pada salah satu ujung kabel dihubungkan singkat dan dihubungkan dengan tanah, kemudian dari ujung kabel lainnya diukur tahanan konduktornya, antara fasa dengan fasa, dengan memakai megger. Adanya gangguan seri pada kabel dapat diperiksa dengan menggunakan sebuah ohm-meter. Tahanan yang terukur dapat mempunyai harga dari mendekati nol (konduktor baik) sampai tak terhingga (konduktor putus tak sempurna).



Gambar 2.7 Pemeriksaan Kontinuitas

c. Pengujian isolasi kabel

Adanya gangguan shunt pada kabel tanah yang tahanan gangguannya sangat besar tidak diketahui melalui pengukuran biasa (megger). Jadi kabel seakan – akan tidak mendapat gangguan. Tetapi apabila kabel tersebut dibebani tegangan kerja peralatan proteksi akan bekerja membuka pemutus beban (PMT), karena terjadi break-down di titik gangguan. Dengan kata lain gangguan ini timbul bila kabel dialiri tegangan kerjanya. Jenis gangguan seperti ini dikenal sebagai gangguan flashing.

Untuk mengetahui adanya gangguan yang demikian dilakukan pengujian terhadap isolasi kabel dengan menggunakan tegangan tinggi searah. Besarnya tegangan dan lamanya waktu pengujian ditetapkan berdasarkan standard yang

berlaku dan tidak boleh melebihi batas maksimal yang diijinkan, untuk menghindari timbulnya kerusakan isolasi pada bagian yang lemah tapi belum menimbulkan gangguan. Terjadinya kegagalan isolasi kabel selama pengujian ditandai oleh arus yang mendadak naik dan penurunan tegangan pada kabel yang diuji.

## **2.8.2 Gangguan Pada Kabel Bawah Tanah**

### **2.8.2.1 Kegagalan Isolasi**

Kegagalan isolasi pada kabel adalah suatu keadaan dimana isolasi tidak dapat mengantisipasi atau membendung suatu keadaan di luar batas kemampuan isolasi tersebut. Mekanisme kegagalan isolasi ini di sebabkan oleh beberapa hal, seperti : jenis bahan elektroda, konfigurasi medan listrik, suhu, tekanan, besar tegangan, dan umur bahan dari bahan isolasi yang digunakan.

Untuk mengetahui bahwa isolasi listrik dalam keadaan baik, dan berfungsi untuk mencegah kebocoran listrik, maka setiap isolasi listrik harus memiliki nilai tahanan minimum, dengan persamaan :

### **2.8.2.2 Kegagalan Termal**

Kegagalan thermal adalah kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkit panas disuatu titik dalam bahan melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya terjadi kegagalan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan. Mekanisme kegagalan thermal mengikuti hukum konversi energi, yaitu panas yang dibangkitkan sama dengan panas yang disalurkan keluar melalui elektroda medium sekelilingnya ditambah dengan panas yang digunakan untuk menaikkan suhu bahan dari  $T_1$  ke  $T_2$ , atau dalam bentuk persamaan :



$$U_0 = U_1 + U_2 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

$U_0$  = panas yang dibangkitkan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U_1$  = panas disalurkan keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U_2$  = panas yang digunakan untuk menaikkan suhu badan ( $^{\circ}\text{C}$ )

Menurut *Whitehead*, tegangan gagal thermal minimum  $V_m$  adalah:

$$V_m = \int_{T_m}^{T_0} \left( \frac{8k}{\sigma} \right) dT \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

$T_0$  = Suhu pada permukaan bahan (atau dalam hal ini sama dengan suhu keliling)  
( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_m$  = Suhu kritis dimana bahan gagal ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Sigma$  = Konduktivitas listrik (mho/m)

### 2.8.2.3 Arus Bocor pada Kabel Tenaga

Arus bocor merupakan arus yang mengalir menembus atau melalui permukaan isolasi. Isolasi berfungsi untuk memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang saling berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus. Arus bocor juga disebabkan oleh rongga-rongga pada bahan isolasi, yang diebabkan kesalahan pada pembuatan bahan isolasi tersebut. Tahanan isolasi mempengaruhi besarnya arus bocor, tahanan isolasi akan semakin besar jika penghantar semakin panjang. Dimana persamaan dari tahanan isolasi adalah sebagai berikut :

$$I_b = \frac{V_m}{R_p} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$I_b$  = Arus bocor (A)

$R_p$  = Resistansi panas ( $\Omega$ )

$V_m$  = Tegangan gagal thermal minimum (V)

Arus listrik secara normal akan melewati konduktor kabel, sedangkan arus bocor yang tidak diinginkan akan mengalir secara radial dari konduktor melalui dielektrik ke lapisan pelindung. Dalam kabel maka penampang akan menjadi lebih besar bila berawal dari konduktor.

#### 2.8.2.4 Ketahanan Isolasi Kabel

Kegagalan thermal ini akan mengakibatkan umur dari bahan akan berkurang atau semakin besar penurunan umur isolasi dan tergantung dari tegangan yang diterapkan. Hubungan antara tegangan lucutan dengan umur bahwa dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$Rt = \frac{V}{Ib} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

V = Tegangan (V)

Ib = Arus bocor (mA)

Rt = Tahanan saat terjadi kebocoran arus (Ohm)

Persamaan ini menunjukkan bahwa makin cepat tegangan lucutan mulai terjadi, semakin pendek umur atau makin besar penurunan umur isolasi, sehingga bahan kegagalan erosi makin terjadi dalam waktu antara beberapa hari sampai beberapa tahun.

## **2.9 Penyebab Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi Bawah Tanah**

Gangguan biasanya diakibatkan oleh kegagalan isolasi di antara kawat penghantar fasa atau antara penghantar fasa dengan tanah, sehingga kawat penghantar menyentuh kawat penghantar lain atau kawat penghantar menyentuh tanah. Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi disebabkan karena tegangan lebih, kesalahan mekanis, material yang rusak atau cacat, konduktor putus, kesalahan manusia dan gangguan hubung singkat.

### **1.9.1 Akibat Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi Bawah Tanah**

Akibat yang paling serius dari gangguan adalah kebakaran yang tidak hanya merusak peralatan, melainkan bisa berkembang ke sistem dan akan mengakibatkan kegagalan total dari sistem tersebut. Berikut merupakan contoh dari akibat yang disebabkan oleh gangguan pada sistem jaringan distribusi.

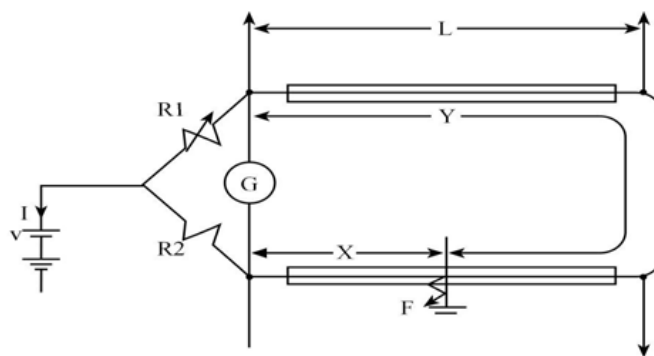
1. Arus hubung singkat yang besar menyebabkan pemanasan. Bahaya kerusakan pada peralatan akibat panas berlebih (*overheating*), dapat menimbulkan kebakaran atau ledakan. Penurunan tegangan yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kegagalan operasi peralatan sistem tenaga listrik dan penurunan umur peralatan listrik, aliran daya tertahan, sehingga dapat merugikan pelanggan.

2. Terganggunya stabilitas sistem dan dapat menimbulkan pemadaman menyeluruh pada sistem tenaga listrik, yang dapat menyebabkan menurunnya keandalan sistem distribusi.

### 2.9.2 Penentuan Lokasi Gangguan Pada Kabel Bawah Tanah

Pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi gangguan melalui tahanan kabel pada ujung kabel yang terganggu. Jika tahanan dari konduktor seragam atau sama maka panjang kabel adalah sebanding dengan tahanan. Untuk kasus ini dengan menggunakan metode Jembatan murray.

Rangkaian tertutup murray mempergunakan sebuah pengukuran seimbang. Bila konduktor terhubung pendek ketanah dan sebuah fasa yang sama tidak terganggu dihubungkan pada fasa yang terganggu pada ujung kabel seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.8 skema pengujian rangkaian tertutup murray

Pada gambar 2.8 menunjukkan adanya gangguan kawat dengan tanah. Pada keadaan diatas terdapat kawat yang sehat dan pada waktu pengukuran kawat yang sehat dihubungkan pada kawat yang terganggu,  $R_1$  dan  $R_2$  merupakan tahanan berkala dikombinasikan dan tahanan kawat geser. Keseimbangan dapat

dicapai dengan mengatur tahanan  $R_1$  dan  $R_2$  sedemikianrupa sehingga galvanometer menunjukkan angka nol. Dalam keadaan seimbang dapat dilihat :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{X}{Y} \dots \dots \dots (2.11)$$

Bila tahanan kawat sebanding dengan panjang kawat maka jarak lokasi gangguan dari tempat pengukuran adalah :

$$R_1 + L_x = R_2 \cdot (2 \cdot l - L_x) \dots \dots \dots (2.12)$$

$$L_x = \frac{2 \cdot l \cdot R_2}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana  $l$  adalah panjang kawat dan pengukuran dilakukan bergantian dari kedua ujung kabel yang terganggu, biasanya pengukuran dilakukan pada tahanan kecil. Setelah lintasan diketahui dengan pasti, lokasi perkiraan dapat ditentukan dengan mengukur jarak gangguan yang diperoleh dari metode terminal. Namun demikian lokasi gangguan yang pasti belum diketahui.

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

Tegangan jatuh adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Tegangan jatuh selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Dengan semakin 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. Berdasarkan dari standar SPLN 1: 1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan sebagian akibat tegangan jatuh, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya. Besarnya rugi tegangan diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Rumus tegangan jatuh adalah sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times I \times L \times (R \cos\phi + X \sin\phi)}{1000} \dots \dots \dots (2.14)$$

Besar presentasi tegangan jatuh pada saluran distribusi dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

$\Delta V$  = Tegangan jatuh (V)

I = Arus beban (A)

R = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

L = Panjang hantaran saluran (kms)

X = Reaktansi saluran ( $\Omega$ )

1000 = Konstanta.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

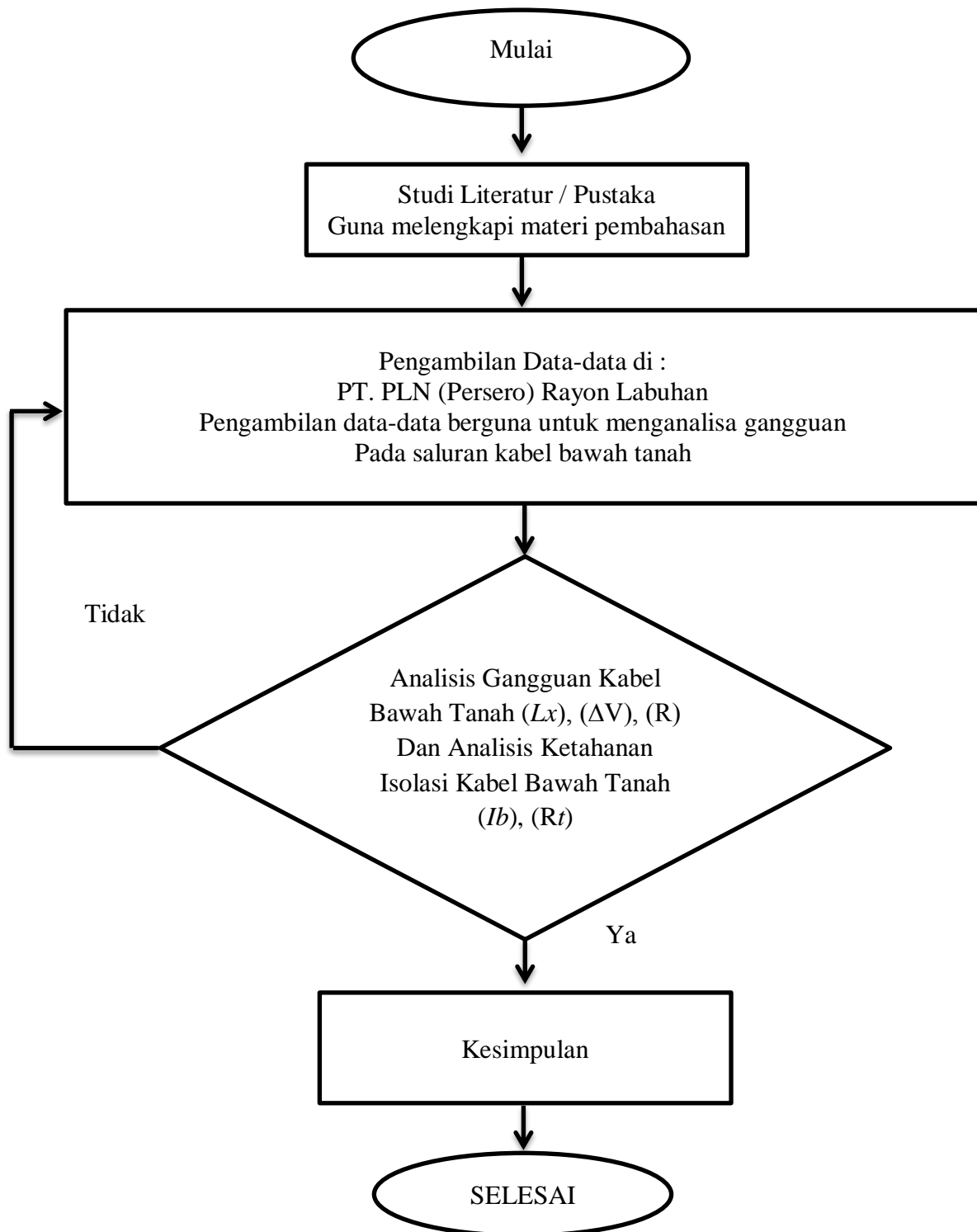
Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. PLN Labuhan (Persero) Rayon Labuhan, Jalan Kol Yos Sudarso Km 10,5 simpang KIM II, Medan Labuhan, Sumatera Utara. Pada penyulang KI 12 Tegangan 20 kV, yaitu antara pertemuan Out Going PLTU GH 1 dengan GH 2, yang di tandai dengan garis merah putus-putus dapat di lihat pada lampiran.

#### **3.2 Jadwal Jalannya Penelitian**

Berikut dijelaskan jadwal kegiatan penulisan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS GANGGUAN SALURAN KABEL BAWAH TANAH PADA PENYULANG 20 kV APLIKASI PT. PLN (PERSERO) RAYON LABUHAN” yang dimulai pada Tanggal 29 Desember 2016, selanjutnya melakukan studi literatur / pustaka dan jurnal yang mendukung penelitian agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan data-data penelitian. Studi literatur / pustaka dilakukan pada tanggal 01 Desember 2016 hingga 09 Februari 2017. Setelah melakukan studi literatur / pustaka dilakukan pengajuan riset lapangan dan dilakukan dilaksanakan pada tanggal 29 Maret 2017 sampai dengan 01 April 2017. Kemudian melakukan penulisan Tugas Akhir dan bimbingan pada dosen pembimbing guna mengolah data-data yang telah didapat pada saat melakukan riset lapangan. Penulisan tugas akhir di kerjakan pada tanggal 01 April 2017 sampai dengan 26 Agustus 2017. Pada tahap selanjutnya



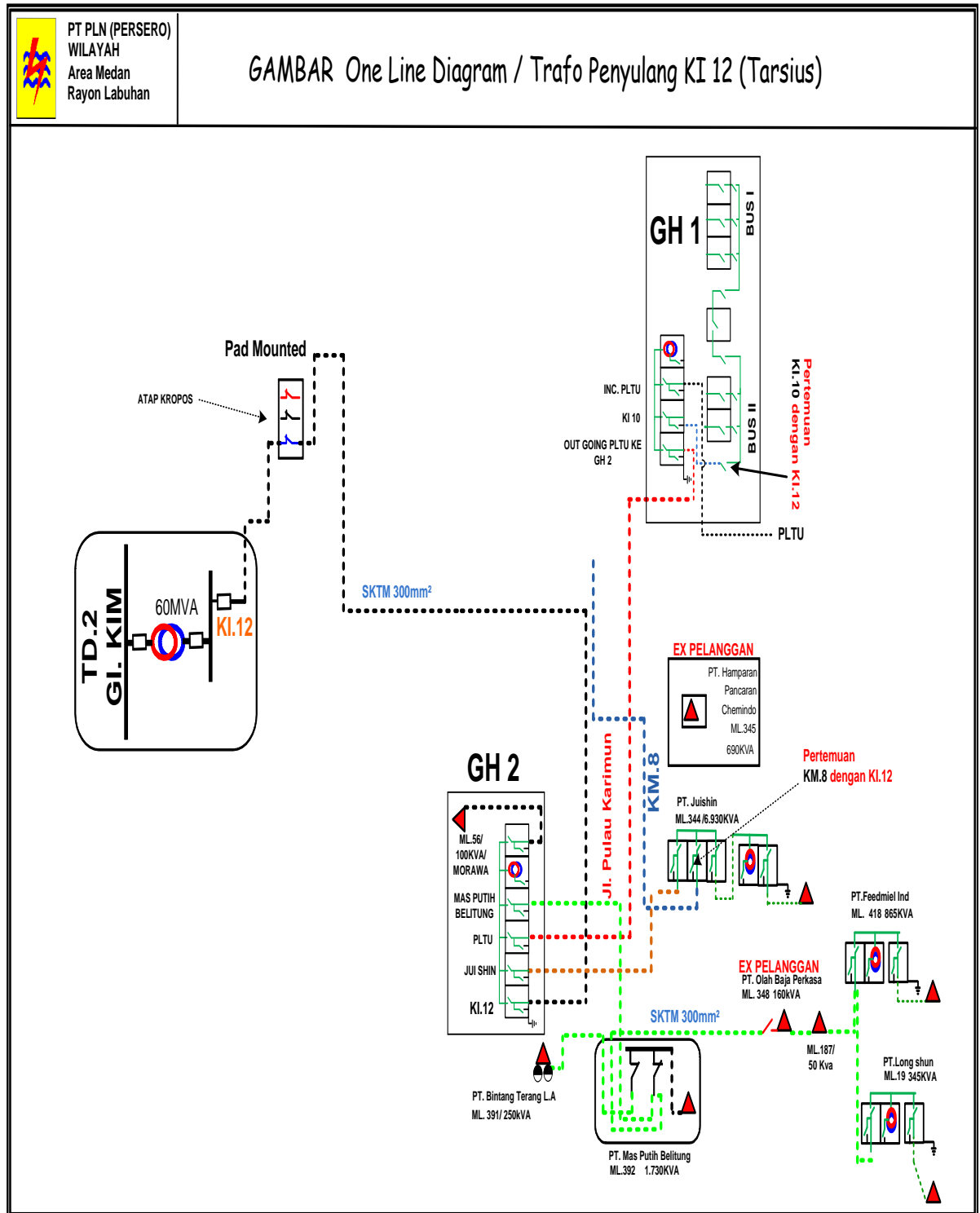


**Diagram Alir Penelitian**

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Data Penelitian

#### 1. Data single line diagram



Gambar 3.2 Single Line Diagram

## 2. Data Sheet Kabel

Tabel 3.2 Data Sheet Cable

Voltage 12/20 (22) kV Three Core armoured copper conductors									
Typical technical data									
Design Standards: BS 6622 BS 7835									
Nominal cross-sectional area	mm <sup>2</sup>	3x70	3x95	3x120	3x150	3x185	3x240	3x300	3x400
Diameter over conductor	mm	9.8	11.5	12.8	14.3	15.9	18.4	20.5	23.2
Approximate diameter over insulation	mm	22	23.7	25	26.5	28.1	30.6	33.1	36.2
Approximate overall diameter	mm	71	75	80	83	87	92	99	106
Approximate weight of cable	kg/m	8200	9500	11500	12800	14350	16750	19450	22900
Minimum bending radius (static)	mm	850	900	1000	1000	1050	1150	1200	1300
Maximum pulling tension on cable	kg	1050	1425	1800	2250	2775	3600	4500	5000
Maximum DC resistance @20°C	Ω/km	0.2680	0.1930	0.1530	0.1240	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470
Maximum AC resistance@ 90°C	Ω/km	0.3420	0.2470	0.1960	0.1590	0.1280	0.0981	0.0792	0.0633
Inductance	mH/km	0.388	0.369	0.353	0.342	0.333	0.319	0.306	0.296
Reactance@50Hz	Ω/km	0.122	0.116	0.111	0.107	0.105	0.100	0.096	0.093
Impedance @ 50Hz @ 90°C	Ω/km	0.363	0.273	0.225	0.192	0.165	0.14	0.125	0.112
Maximum capacitance (C)	μF/km	0.2	0.233	0.241	0.259	0.275	0.305	0.339	0.373
Maximum charging current	A/km	0.8	0.89	0.96	1.03	1.1	1.22	1.35	1.49
Short circuit ratings									
1 second short circuit-rating of conductor (90 to 250°C)	kA	9.7	13.5	17.1	21	26.3	34.6	43.4	55.6
1 second short circuit-rating of metallic screen (80 to 200°C)	kA	9.7	13.5	17.1	21	23.6	25	26.8	29
Continuous current carrying capacity (as per conditions detailed below)									
Direct buried	Amps	255	295	335	375	420	480	530	580
Single way ducts	Amps	225	260	300	335	380	430	480	530
In air	Amps	275	330	380	430	490	570	650	720

## 3. Data yang didapat melalui wawancara di PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan

Tabel 3.3 Data Hasil Penelitian

No	Data-data yang didapat	Besar Nilai
Data untuk menentukan lokasi gangguan		
1	Panjang Kabel ( $L$ )	10,6 Km
2	Resistansi R1	20 Ohm
3	Resistansi R2	12 Ohm
4	Resistansi R3	12 Ohm
Data untuk menghitung tegangan jatuh		
1	Panjang Kabel ( $L$ )	10,6 Km
2	Cos Phi ( $\phi$ )	0,85 Ohm
3	Sin Phi ( $\phi$ )	0,50 Ohm
4	Resistansi ( $R$ )	0,216 Ohm
5	Reaktansi ( $X$ )	0,3305 Ohm
Data untuk menghitung tahanan isolasi kabel		
1	Hambatan Jenis ( $\rho$ )	1,723 Ohm/mm <sup>2</sup>
2	Panjang Kabel ( $L$ )	10,6 Km
3	Luas Penampang ( $A$ )	300 mm <sup>2</sup>
Data untuk menghitung arus bocor		
1	Tegangan Mula	20kV
2	Resistansi Panas ( $R_p$ )	700 M $\Omega$

## BAB IV

### ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Gangguan Saluran Kabel Bawah Tanah

##### 4.1.1 Menentukan Lokasi Gangguan

Pada jaringan Gardu Induk Kawasan Industri Medan (KIM) terdapat dua gardu hubung yang menghubungkan dua Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sei Canang dengan Gardu Hubung 2 (GH2), hal ini ditandai dengan gambar jalur kabel bawah tanah (garis merah putus – putus) dengan rentang jarak ( $L$ ) 10,6 Km. Kabel yang mengalirkan tegangan (V) sebesar 20 kV, dengan menggunakan persamaan (2.11):

Dimana :

$$L = 10,6 \text{ Km} = 10600 \text{ m}$$

$$R_1 = 20 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 12 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 12 \text{ ohm}$$

Dari data diatas maka dapat diketahui jarak lokasi gangguan yaitu dengan

Persamaan Rumus :

$$L_x = \frac{2 \cdot l \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$L_x = \frac{2 \cdot 10600 \text{ m} \cdot 12 \Omega}{20 \Omega + 12 \Omega} = \frac{254400 \text{ m} \cdot \Omega}{32 \Omega} = 7950 \text{ m} = 7,9 \text{ Km}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka diketahui titik lokasi gangguan pada saluran yaitu pada titik 7950 Meter atau 7,9 Km.

#### 4.1.2 Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh atau biasa di sebut *Drop Voltage* ( $\Delta V$ ) merupakan selisih antara tegangan sisi kirim dengan tegangan yang diterima. Perhitungan drop tegangan berdasarkan data pengukuran yang dihitung dari titik sumber sampai ke titik yang dihitung (titik beban) sesuai dengan panjang penyulang dengan menggunakan persamaan (2.12) seperti berikut :

Dimana :

$$\text{Cos } \varphi = 0,85 \Omega$$

$$\text{Sin } \varphi = 0,50 \Omega$$

$$I = 2,148 \text{ A}$$

$$R = 0,2162 \Omega$$

$$X = 0,3305 \Omega$$

Dari data diatas besar nilai drop tegangan dapat dihitung dengan persamaan

Rumus :

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos\varphi + X \sin\varphi)}{1000}$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times 2,148 \text{ A} \times 10,6 \text{ Km} \times ((0,2162 \Omega \times 0,85 \Omega + 0,3305 \Omega \times 0,50 \Omega))}{1000}$$

$$\Delta V = \frac{39,44 \times (0,183 \Omega + 0,165 \Omega)}{1000}$$

$$\Delta V = \frac{14}{1000}$$

$$\Delta V = 0,014 \text{ kV}$$

Dengan persamaan rumus diatas dapat diketahui bahwa besar nilai drop tegangan pada penyulang 20 kV milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan

sebesar 0,014 kV dan besar nilai perhitungan drop tegangan diatas dapat dipersentasekan denga persamaan rumus (2.13) sebagai berikut :

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

$$\% \Delta V = \frac{0,014 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \times 100 \%$$

$$\% \Delta V = 0,07 \%$$

Sehingga hasil rekapitulasi dari perhitungan diatas, gangguan terjadi pada lokasi 7,9 Km dari lokasi pengukuran. Dengan adanya gangguan tersebut menjadikan tegangan jatuh dengan besar nilai tegangan 0,014 kV dan jika dipersentasekan sebesar 0,07 %. Berikut akan dijelaskan besar nilai tegangan akhir yang didapat adalah sebagai berikut :

Tegangan Akhir = Tegangan Mula – Drop Tegangan

$$V_{akhir} = V_{mula} - V_{drop}$$

$$V_{akhir} = 20 \text{ kV} - 0,014 \text{ kV}$$

$$V_{akhir} = 19,98 \text{ kV}$$

Sehingga nilai tegangan yang bekerja pada tegangan normal 20 kV menjadi 19,98 kV. Namun dalam hal ini drop tegangan pada penyulang dapat masih dikategorikan dalam keadaan aman / diizinkan sebab jika merujuk pada standar drop tegangan yang diizinkan oleh PLN sesuai dengan SPLN No. 1 tahun 1985 tegangan jatuh memiliki batasan, maksimum sebesar (+5%) dan batasan minimum (-10 %).

### 4.1.3 Resistansi Kabel Bawah Tanah

Resistansi kabel bawah tanah milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan dengan tipe NA2XSEFGbY diameter 300 mm<sup>2</sup> dan panjang kawat penghantar 10,6 Km, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1) sebagai berikut :

Dimana :

$$\rho = 1,723 \Omega \cdot \text{mm}^2$$

$$L = 10,6 \text{ Km}$$

$$A = 300 \text{ mm}^2$$

Dimana :

Besar nilai resistansi kabel dapat dihitung dengan Persamaan Rumus :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

$$R = \frac{1,723 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 10600 \text{ m}}{300 \text{ mm}^2}$$

$$R = 0,608 \Omega / \text{Km}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat besar nilai resistansi kabel sebesar 0,0608  $\Omega / \text{Km}$ . Sehingga bila merujuk pada standar resistansi kabel IEEE *Sheet Cable* (BS 6622, BS 7835), besar nilai resistansi kabel tidak melebihi dari pada nilai standar yang ditetapkan yakni sebesar 0,0792  $\Omega / \text{Km}$ . Maka dapat disimpulkan besar nilai resistansi kabel NA2XSEFGbY pada penyulang KI 12 milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan masih dalam kategori aman atau diizinkan.



## 4.2 Analisis Ketahanan Isolasi Kabel Bawah Tanah

### 4.2.1 Arus Bocor Pada Kabel

Untuk mengetahui ketahanan isolasi kabel bawah tanah milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan, terlebih dahulu harus mengetahui seberapa besar arus bocor pada kabel bawah tanah NA2XSEFGbY tersebut dengan menggunakan persamaan (2.7) sebagai berikut :

Dimana :

$$V_m = 20.000 \text{ kV}$$

$$R_p = 700 \text{ M.}\Omega$$

Dengan Persamaan Rumus :

$$I_b = \frac{V_m}{R_p}$$

$$I_b = \frac{20.000 \text{ Volt}}{700000000 \Omega}$$

$$I_b = 0,0000028 \text{ A}$$

$$I_b = 2,8 \mu\text{A}$$

Dari perhitungan diatas di dapat besar nilai arus bocor pada kabel sebesar  $2,8 \mu\text{A}$ . Sesuai dengan yang ditetapkan standar IEC 60502 *Sheet Cable* tentang standar arus bocor yang diperbolehkan, maka disimpulkan kebocoran arus pada kabel NA2XSEFGbY pada penyulang bertengan 20 kV masih dalam kategori aman.

### 4.2.2 Ketahanan Isolasi Kabel Akibat Arus Bocor

Pada kabel distribusi bawah tanah milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan, mengalami gangguan kegagalan isolasi yang menyebabkan terjadinya arus bocor, sehingga kekuatan / ketahanan isolasi kabel menurun. Untuk

mengetahui besar penurunan ketahanan isolasi dapat dihitung dengan persamaan (2.8) sebagai berikut :

Dimana :

$$V_m = 20 \text{ Kv}$$

$$I_b = 2,8 \mu\text{A}$$

Dari data diatas besar ketahanan isolasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$Rt = \frac{V_m}{I_b}$$

$$Rt = \frac{20000 \text{ V}}{2,8 \mu\text{A}}$$

$$Rt = 7,142 \text{ M.}\Omega$$

Dengan perhitungan menggunakan persamaan (2.8) didapat besar nilai ketahanan isolasi sebesar  $7,142 \text{ M.}\Omega$ , diketahui panjang kabel sebesar  $10,6 \text{ Km}$  maka hasil yang sebenarnya adalah :

$$Rt = \frac{7142 \text{ M.}\Omega}{10,6 \text{ Km}} = 674 \text{ M.}\Omega/\text{Km}$$

Dari perhitungan diatas besar nilai penurunan ketahanan isolasi kabel NA2XSEFGbY milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan penyulang KI 12 mengalami perubahan nilai ketahanan isolasi kabel sebesar  $674 \text{ M.}\Omega/\text{Km}$ . Namun besar nilai penurunan isolasi ini jika merujuk pada standar IEC 60502 *Sheet Cable* masih dalam kategori aman.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Pada penyulang KI 12 (garis merah putus-putus) ditemukan gangguan jarak lokasi 7,9 Km dari titik pengukuran. Dalam hal ini juga didapat drop tegangan sebesar 0,014 kV atau bila di persentasekan sebesar 0,07% menjadikan tegangan normal menjadi 19,98 kV. Akan tetapi besar nilai drop tegangan pada penyulang KI 12 milik PT. PLN (Persero) Rayon Labuhan masih dalam kondisi yang aman atau diizinkan, sebab jika merujuk pada standar drop tegangan yang diizinkan oleh PLN sesuai dengan SPLN No. 1 tahun 1995 tegangan jatuh memiliki batasan, maksimum sebesar (+5%) dan batasan minimum sebesar (-10%).
2. Dengan terjadinya arus bocor sebesar 2,8  $\mu\text{A}$  pada kabel bawah tanah menyebabkan ketahanan isolasi kabel bawah tanah menuruh sebesar 674  $\text{M}\Omega/\text{Km}$ , dalam hal ini (menurunnya ketahanan isolasi kabel) akan berdampak buruk pada usia kabel tersebut sehingga kabel bawah tanah juga akan mudah mengalami kerusakan. Sesuai yang ditetapkan standar IEC 60502 *Sheet Cable* tentang arus bocor yang di perbolehkan, maka disimpulkan arus bocor pada kabel NA2XSEFGbY pada penyulang KI 12 masih dalam kategori aman.

## 5.2 Saran

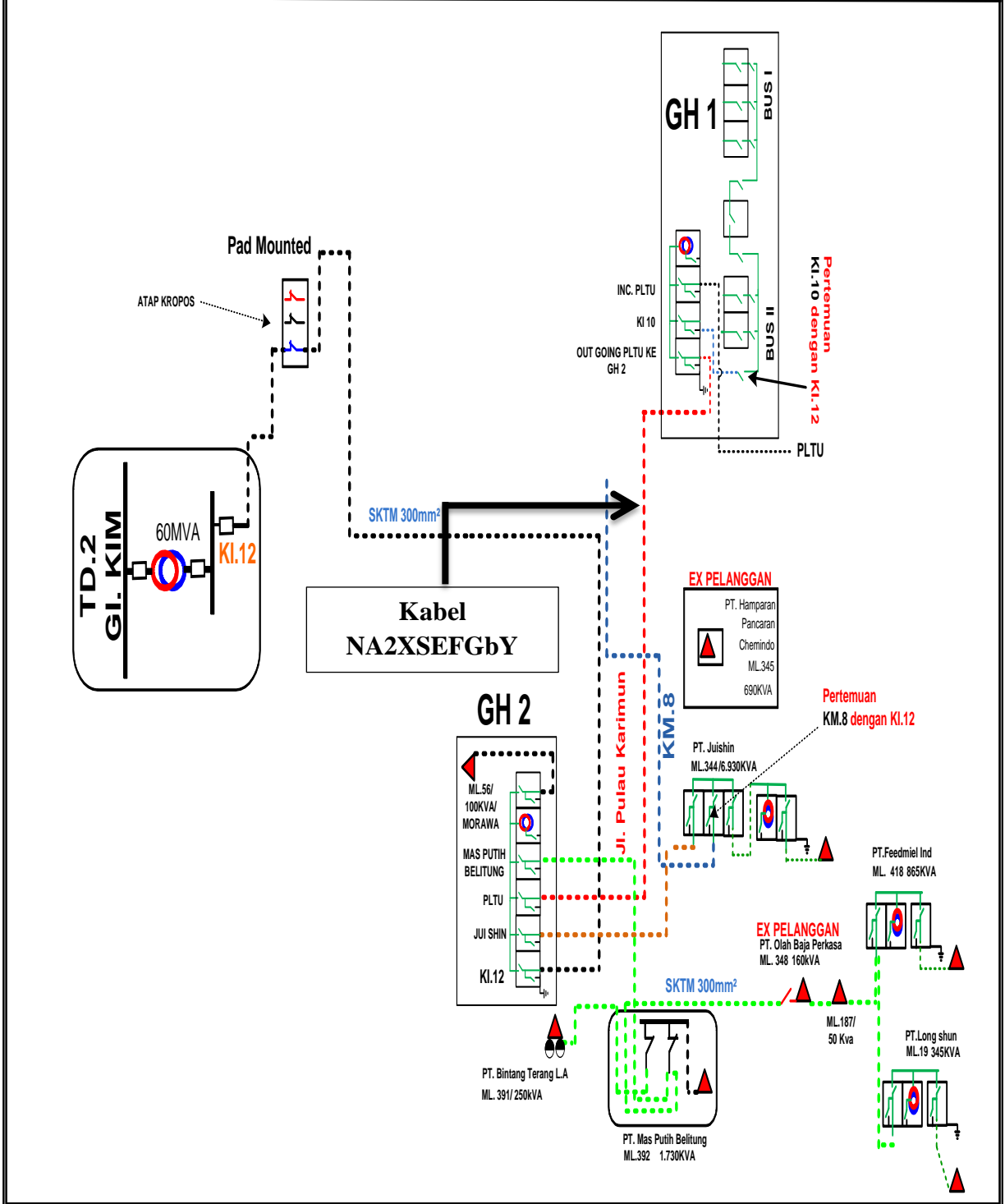
Diharapkan dimasa yang akan datang dapat digunakan sebagai salah satu sumber data untuk penelitian lebih lanjut dan dilakukan penelitian selanjutnya berdasarkan faktor lainnya, seperti temperatur suhu pada isolasi dan juga variabel yang berbeda, jumlah data lebih banyak dan mendukung yang memiliki keterkaitan dengan gangguan saluran kabel bawah tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arminah B, (2002). “*analisis distribusi temperatur kabel XLPE menggunakan metode eleme hingga*”. Fakultas Teknik Elektro Pasca Sarjana Unhas.
- Agustinus, (2013). “*Analisis Jatuh Tegangan Pada Penyulang 20 kV*”, Jurnal Media Elektro, Vol. 1, No. 3, April 2013 ISSN 9772252,111.
- Aryani, (2015). “*Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV*”, Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1, ISSN : 2337-3539 (2301-9271 Print) B-51
- Musnadi, (2012). “*Analisa Arus Bocor Terhadap Perubahan Temperatur Pada Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 kV*”. Vol. 12. No.1. Februari 2012. Jurnal Momentum, ISSN : 1693-752X,28.
- Silimang, (2016). “*Analisa Gangguan Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 kV*”, E-Journal Teknik Elektro dan Komputer. Vol. 5. No.4 Juli-September 2016, ISSN : 2301-8402,46.
- Tobing B.L, (2012). “*Peralatan Tegangan Tinggi, Edisi Kedua*”, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tobing B.L, (2003). “*Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*”, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Pabla A.S & Abdul Hadi, (1994), “*Sistem Distribusi Daya Listrik*”,Erlangga, Jakarta.
- Pabla, A.S.,A.C. Mehra and P.P, (1979) Garg, “*Use of XLPE Cables*”, *proceedings*, Symposium National Cable Research Institute, Rajpura (Punjab).



GAMBAR One Line Diagram / Trafo Penyulang KI 12 (Tarsius)



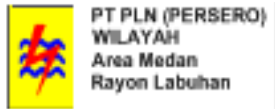
**9. Ketentuan variasi tegangan pelayanan**

Variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum (+5%) minimum (-10%) terhadap tegangan nominal.

<b>Tegangan nominal (V)</b>	<b>Variasi tegangan pelayanan (%)</b>
<b>230/400</b>	)
<b>400/690</b>	) <b>+5% -10%</b>
<b>1000</b>	)

Catatan :

1. Ketentuan di atas berlaku sebagai pegangan bagi :
  - (a) Perencanaan jaring yang baru ;
  - (b) Perbaikan atau rehabilitasi jaring yang sudah ada ;
  - (c) Pengusahaan JTR ;
  - (d) Pengarahan kepada konsultan;
  - (e) Para instalatur dalam rangka merencanakan instalasi milik pelanggan dan
  - (f) Para produsen bahan-bahan dan peralatan listrik.
- (g) Ketentuan ini untuk sementara keadaan jaringan PLN belum mengizinkan tidak dengan sendirinya harus dipakai sebagai pedoman pembuatan kontrak perjanjian antara PLN dan pelanggan yang berhubungan dengan penyambungan tenaga listrik.



### KRONOLOGIS GANGGUAN PENYULANG KI.12

Berikut kronologis gangguan Penyulang KI.12 dari Januari-September 2016:

1. Tanggal 4 Maret 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 23:36 WIB dengan indikasi Over Current Instant Phasa A,B,C. Gangguannya yaitu terminating terbakar di Kubikel pertemuan Penyulang KM.8 dan Penyulang KI.12 di GH PT. Juishin Jl. Pulau Pini KIM 2. Penyulang KI.12 pulih keseluruhan tanggal 5 Maret pukul 0:46 WIB.
2. Tanggal 11 April 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 03:14 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap dan gangguan ditemukan kabel SKTM interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 KIM 2 yang sinkron dengan PLTU Growth Asia Unit 2 kontak. Selanjutnya dilaporkan ke Area Medan untuk perbaikan (Pelanggan Penyulang KI.12 tidak ada yang padam). Pukul 03:42 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
3. Tanggal 22 April 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 16:16 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap tanpa ditemukan gangguan. Pukul 16:45 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
4. Tanggal 22 April 2016, Penyulang KI.12 trip kembali pukul 18:23 WIB dengan indikasi Over Current Instant Phasa A,B,C. Sesuai SOP maka Penyulang KI.12 dicoba masuk secara bertahap. Setelah SKTM interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 KIM 2 di Megger, dipastikan untuk kabel yang mengarah ke PLTU tersebut kontak. Selanjutnya dilaporkan ke Area Medan untuk perbaikan (Pelanggan Penyulang KI.12 tidak ada yang padam). Pukul 18:30 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
5. Tanggal 24 April 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 02:38 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas mencoba masuk Penyulang KI.12 secara bertahap. Gangguan ditemukan di kabel interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 kontak. Selanjutnya dilaporkan ke Area Medan untuk perbaikan (Pelanggan Penyulang KI.12 tidak ada yang padam). Pukul 02:44 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
6. Tanggal 8 Mei 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 1:45 WIB dengan indikasi Over Current Instant Phasa A,B,C. Petugas mencoba masuk Penyulang KI.12 secara bertahap. Sewaktu memasukkan PMT yang mengarah ke PLTU di GH 2 ke GH 1 KIM 2, Penyulang KI.12 trip kembali dengan indikasi Over Current Instant Phasa A,B,C pada pukul 03:00 WIB. Setelah SKTM di Megger maka dipastikan kabel interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 KIM 2 (sinkron dengan PLTU) kontak. Pukul 03:17 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
7. Tanggal 10 Mei 2016 Perbaikan kabel interkoneksi sudah selesai, Petugas memasukkan PMT kubikel yang mengarah ke PLTU di GH 2 namun gagal sehingga menyebabkan Penyulang KI.12 trip pukul 17:40 WIB dengan



indikasi Ground Fault Instant. Pukul 17:46 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.

8. Tanggal 11 Mei 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 23:10 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap dan gangguan ditemukan kabel SKTM interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 KIM 2 yang sinkron dengan PLTU Growth Asia Unit 2 kontak kembali. Selanjutnya dilaporkan ke Area Medan untuk perbaikan (Pelanggan Penyulang KI.12 tidak ada yang padam). Pukul 23:15 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
9. Tanggal 15 Mei 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 15:16 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap dan gangguan ditemukan kabel SKTM interkoneksi dari GH 2 ke GH 1 KIM 2 yang sinkron dengan PLTU Growth Asia Unit 2 kontak. Selanjutnya dilaporkan ke Area Medan untuk perbaikan (Pelanggan Penyulang KI.12 tidak ada yang padam). Pukul 15:21 WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.
10. Tanggal 15 Mei 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 15:16 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas mencoba memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap. Penyulang KI.12 dicoba dari GI ke GH 2 KIM 2 namun gagal dengan indikasi GFI pada pukul 19:32 WIB. Petugas melakukan pelacakan dan ditemukan kabel skund terbakar di Pad Mounted Jl. Pulau Nias Selatan KIM 2. Setelah dilakukan perbaikan kemudian Penyulang KI.12 dicoba masuk dari GI ke GH 2 KIM 2. Penyulang KI.12 gagal dimasukkan dan trip kembali pukul 23:29 WIB. Kemudian petugas melakukan Meger SKTM dari GI menuju ke GH 2 KIM 2 dan dipastikan kabel tersebut kontak dan melaporkannya ke Area Medan untuk segera diperbaiki. Penyulang KI.12 di manuver dari Penyulang KI.10 menunggu perbaikan. Perbaikan kabel Penyulang KI.12 selesai tanggal 23 Mei 2016 dan dipulihkan keseluruhan pada pukul 23:20 WIB.
11. Tanggal 8 September 2016, Penyulang KI.12 trip pukul 21:53 WIB dengan indikasi Ground Fault Instant. Petugas memulihkan Penyulang KI.12 secara bertahap tanpa ditemukan gangguan. Tanggal 9 September 2016 Pukul 00:18WIB Penyulang KI.12 pulih keseluruhan.

Demikian di sampaikan atas perhatiannya di ucapkan terimakasih.

SUPERVISOR

TEKNIK

**ANDRIAN PURNAWAN**

## Lampiran 4

# Voltage 12/20 (22) kV Three Core armoured copper conductors

## Typical technical data

Design Standards:

BS 6622

BS 7835

Nominal cross-sectional area	mm <sup>2</sup>	3x70	3x95	3x120	3x150	3x185	3x240	3x300	3x400
Diameter over conductor	mm	9.8	11.5	12.8	14.3	15.9	18.4	20.5	23.2
Approximate diameter over insulation	mm	22	23.7	25	26.5	28.1	30.6	33.1	36.2
Approximate overall diameter	mm	71	75	80	83	87	92	99	106
Approximate weight of cable	kg/m	8200	9500	11500	12800	14350	16750	19450	22900
Minimum bending radius (static)	mm	850	900	1000	1000	1050	1150	1200	1300
Maximum pulling tension on cable	kg	1050	1425	1800	2250	2775	3600	4500	5000
Maximum DC resistance @20°C	Ω/km	0.2680	0.1930	0.1530	0.1240	0.0991	0.0754	0.0601	0.0470
Maximum AC resistance@ 90°C	Ω/km	0.3420	0.2470	0.1960	0.1590	0.1280	0.0981	0.0792	0.0633
Inductance	mH/km	0.388	0.369	0.353	0.342	0.333	0.319	0.306	0.296
Reactance@50Hz	Ω/km	0.122	0.116	0.111	0.107	0.105	0.100	0.096	0.093
Impedance @ 50Hz @ 90°C	Ω/km	0.363	0.273	0.225	0.192	0.165	0.14	0.125	0.112
Maximum capacitance (C)	μF/km	0.2	0.233	0.241	0.259	0.275	0.305	0.339	0.373
Maximum charging current	A/km	0.8	0.89	0.96	1.03	1.1	1.22	1.35	1.49
<b>Short circuit ratings</b>									
1 second short circuit-rating of conductor (90 to 250°C)	kA	9.7	13.5	17.1	21	26.3	34.6	43.4	55.6
1 second short circuit-rating of metallic screen (80 to 200°C)	kA	9.7	13.5	17.1	21	23.6	25	26.8	29
<b>Continuous current carrying capacity (as per conditions detailed below)</b>									
Direct buried	Amps	255	295	335	375	420	480	530	580
Single way ducts	Amps	225	260	300	335	380	430	480	530
In air	Amps	275	330	380	430	490	570	650	720

## THREE CORES COPPER / ALUMINIUM XLPE INSULATED ARMOURED MEDIUM VOLTAGE CABLE

**SPECIFICATION : IEC 60502**

**N2XSEFGbY / NA2XSEFGbY 12/20 (24) kV**

Copper / Aluminium Conductor, XLPE Insulated,  
Copper Tape Screen, Zinc-Coated Flat Wires Steel  
Armoured, PVC Sheathed Cable



### DIMENSIONAL DATA

**3 CORES**

Nominal cross sectional area	mm <sup>2</sup>	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	
Conductor diameter (approx.)	mm	7.1	8.25	9.9	11.7	13.1	14.3	16.3	18.7	20.9	23.7	
Nominal insulation thickness	mm	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
Insulation diameter (approx.)	mm	19.7	20.9	22.5	24.3	25.7	26.9	28.9	31.3	33.5	36.3	
Nominal armour thickness	mm	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
Nominal sheath thickness	mm	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	4.0	
Overall Cable diameter (approx.)	mm	57	60	64	68	71	74	79	85	90	97	
Cable Net. Weight (approx.)	kg/km	Cu	5,000	5,700	6,800	8,000	9,100	10,300	11,900	14,300	16,700	20,100
		Al	4,400	4,800	5,400	6,200	6,800	7,500	8,400	9,600	10,900	12,700
Standard length per reel	m	500	500	500	500	500	250	250	250	250	250	
Minimum bending radius	mm	1030	1060	1160	1230	1280	1340	1430	1530	1620	1750	

### ELECTRICAL DATA

Min. DC insulation resistance at 20°C	M.Ω.km		1,400	1,300	1,100	1,000	900	900	800	700	600	
Max. DC conductor resistance at 20°C	Ω/km	Cu	0.524	0.387	0.288	0.193	0.153	0.124	0.099	0.0754	0.0601	0.0470
		Al	0.666	0.641	0.443	0.320	0.253	0.206	0.164	0.125	0.100	0.0770
Capacitance per-phase	µF/km		0.161	0.175	0.197	0.219	0.237	0.252	0.277	0.307	0.346	
Inductance per-phase	mH/km		0.408	0.389	0.387	0.348	0.335	0.327	0.314	0.302	0.292	
Max. short circuit current of conductor	kA/sec	Cu	5.18	7.36	10.26	13.88	17.49	21.81	26.86	34.78	43.41	57.79
		Al	2.92	4.89	6.81	9.19	11.58	14.43	17.76	22.98	28.67	38.14
Max. short circuit current of screen	kA/sec		2.92	3.00	3.31	3.56	3.75	3.92	4.2	4.53	4.84	
Max. current carrying capacity at 30°C	In Air	A	Cu	173	206	257	313	360	410	469	533	629
			Al	139	161	199	242	280	318	365	425	481
	In Ground	A	Cu	171	202	246	295	335	376	425	492	554
			Al	132	154	191	228	260	292	331	385	437
AC Test Voltage	kV/5 min					42						