

# Pengaruh Penggunaan PE dan Tree guard pada Jaringan Distribusi Primer 20 kV

Halvy Kolondam<sup>(1)</sup>, Ir. Hans. Tumaliang, MT.<sup>(2)</sup>, Maickel Tuegeh, ST., MT.<sup>(3)</sup>, Lily S. Patras, ST., MT.<sup>(4)</sup>

(1)Mahasiswa (2)Pembimbing 1 (3)Pembimbing 2 (4)Pembimbing 3

[halvykolondam@gmail.com](mailto:halvykolondam@gmail.com)<sup>(1)</sup> [hans\\_tumaliang@ymail.com](mailto:hans_tumaliang@ymail.com)<sup>(2)</sup> [maikel.tuegeh@unsrat.ac.id](mailto:maikel.tuegeh@unsrat.ac.id)<sup>(3)</sup>  
[lily.patras@unsrat.ac.id](mailto:lily.patras@unsrat.ac.id)<sup>(4)</sup>

Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT, Manado-95115

**Abstrak**—Gangguan pada jaringan distribusi primer 20 kV banyak kali disebabkan karena sentuhan dahan pohon pada kabel tiga jalur. Salah satu solusi alternatif yang diterapkan adalah penggunaan PE (*Polyetilene*) dan *Tree guard*. Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan mengetahui pengaruh penggunaan PE dan *Tree guard* pada jaringan distribusi primer 20 kV. Untuk mengetahui pengaruhnya dilakukan pengujian tegangan tembus, pengujian tahanan isolasi, analisa keandalan berdasarkan indeks keandalan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Duration Index*) pada penyulang SL4 Sario, dan perhitungan ekonomis sebelum dan sesudah penggunaannya. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, PE dan *Tree guard* memiliki nilai tegangan tembus dan tahanan isolasi yang baik karena memiliki nilai yang melebihi standart. Selain itu, nilai SAIDI dan SAIFI penyulang SL4 Sario mengalami penurunan sesudah penggunaan PE, itu artinya keandalan mengalami peningkatan. Dan juga untuk hasil perhitungan ekonomis sebelum penggunaan PE dan setelah penggunaan PE pada penyulang SL4 Sario terjadi penurunan kerugian setelah penggunaan PE.

**Kata Kunci:** Jaringan Distribusi Primer 20 kV, PE, *Polyetilene*, *Tree guard*.

**Abstract**— *Disruption at 20 kV primary distribution network many times caused by tree branches touching the wires three channels. One alternative solution that is applied is the use of PE and Tree guard. The final task was made in order to know the influence of the use of PE and Tree guard at 20 kV primary distribution network. To determine the effect breakdown voltage testing, insulation resistance testing, reliability analysis based on reliability indices SAIDI and SAIFI in SL4 Sario feeders, and economical calculations before and after use. Based on the test results and calculations, PE and Tree Guard has a value of breakdown voltage and insulation resistance good because it has a value that exceeds the standard. In addition, the value of SAIDI and SAIFI feeders SL4 Sario decreased after the use of PE, it means increased reliability. And also for the calculation of economical use of PE before and after the use of PE in SL4 Sario feeder losses decreased after the use of PE.*

**Key words:** 20 kV primary distribution network , PE, *Polyetilene* , *Tree guard*.

## I. PENDAHULUAN

Sekarang ini listrik sudah menjadi kebutuhan utama baik masyarakat kota maupun yang ada di desa, kebutuhan energi listrik juga terus mengalami peningkatan. Listrik yang biasanya dibangkitkan dari tempat-tempat jauh dari pemakai

tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik yang tersebar di berbagai tempat, sehingga penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis.

Energi listrik dapat disalurkan ke pelanggan melalui suatu sistem jaringan. Sistem jaringan terdiri dari unit pembangkit dan unit penyalur berupa perlengkapan tenaga listrik yang terpasang pada gardu-gardu, baik itu gardu induk maupun gardu distribusi yang dioperasikan secara otomatis dan manual. Kegiatannya mencakup pengaturan, pembagian, pemindahan, dan penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit kepada pelanggan dengan efektif serta menjamin kelangsungan penyaluran dan pelayanannya.

Permasalahan atau gangguan yang banyak terjadi dalam penyaluran adalah gangguan yang diakibatkan oleh sentuhan dahan pohon di kabel tiga jalur yang dijumpai di pinggir-pinggir jalan, pemadaman yang terjadi bukan lagi karena kurangnya pasokan daya listrik tetapi lebih kepada gangguan yang disebabkan oleh pohon. Seringnya pemadaman tentu sangat berpengaruh terhadap mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan energi listrik pada pelanggan.

Untuk menjamin kontinuitas dan kualitas pelayanan energi listrik terhadap pelanggan dan meminimalisir gangguan yang sering terjadi, PT. PLN (Persero) Cabang Manado mencoba menerapkan beberapa solusi alternatif, salah satunya adalah penggunaan PE dan *Tree guard* pada jaringan distribusi primer 20 kV.

Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh penggunaan PE dan *Tree guard* pada jaringan distribusi primer 20 kV.

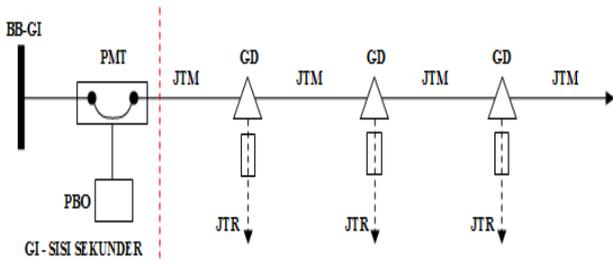
## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Distribusi

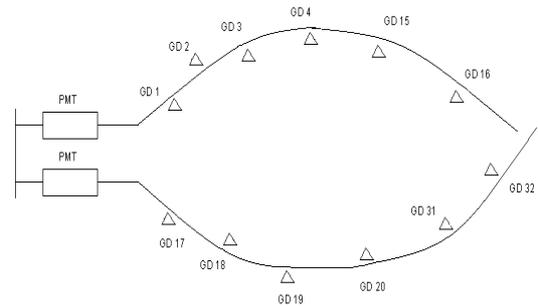
Sistem distribusi merupakan sistem listrik tenaga yang diawali dari sisi tegangan menengah pada GI ( gardu induk) sisi sekunder sampai dengan tiang akhir jaringan distribusi tegangan rendah yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik pada pemanfaat tenaga listrik. Representasinya dapat dilihat pada gambar 1.

### Tegangan Distribusi

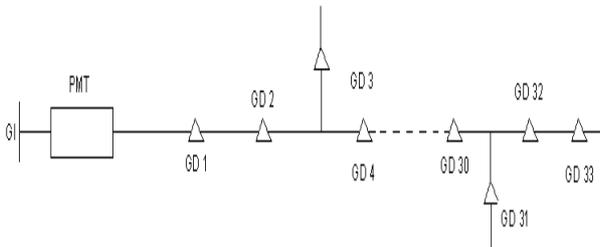
Tegangan distribusi yang digunakan di Indonesia yaitu 20 KV tegangan antar fasa pada JTM, 380 V, tegangan antar fasa pada JTR, dan 220 V tegangan antar fasa ke Nol pada JTR.



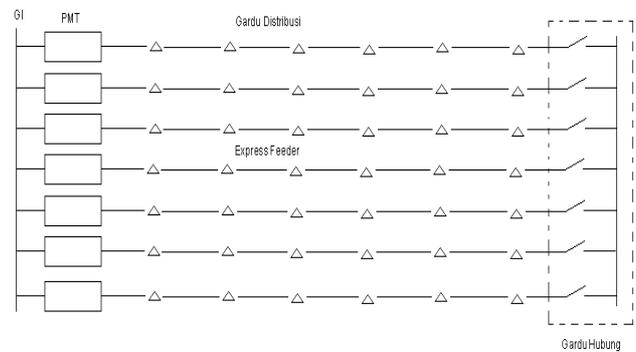
Gambar 1. Diagram Segaris Jaringan Distribusi



Gambar 3. Jaringan Distribusi Loop



Gambar 2. Jaringan Distribusi Radial



Gambar 4. Jaringan Distribusi Spindel

**Jaringan Distribusi**

Jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi, dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah) dan jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

Jaringan distribusi primer (JDTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV).hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo distribusi).

Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah – rumah).

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

**Jaringan Distribusi Radial**

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah seperti yang terlihat pada gambar 2.

**Jaringan Distribusi Loop**

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 3 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu bentuk *open loop* dan *close loop*. Bentuk *open loop* bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka. Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

**Jaringan Distribusi Spindel**

Jaringan distribusi spindel (gambar 4) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.

### Pengaman Distribusi

Pengaman distribusi terdiri dari pengaman lebur, pengaman tegangan lebih dan pengamanan trafo (Gardu Induk).

### Gangguan Pada Sistem Distribusi

Gangguan yang ber sifat temporer dimana dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya.

Gangguan yang bersifat permanen dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. 70% sampai dengan 90% dari seluruh gangguan yang mengenai SUTM adalah bersifat temporer (sementara).

Ditinjau secara umum jenis gangguan dibagi dua yaitu gangguan hubung singkat (*Short Circuit*) meliputi hubung singkat antar fasa dan gangguan fasa ke tanah (*Ground Fault*) meliputi gangguan satu fasa ke tanah, gangguan dua fasa ke tanah dan gangguan tiga fasa ke tanah.

### Gangguan pada SUTM

Adapun berbagai gangguan yang terjadi pada jaringan SUTM diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu sambaran petir yang mengenai jaringan, menempelnya arku layang-layang pada kabel jaringan, dan pohon atau ranting yang menempel pada kabel jaringan, serta hilang atau putusnya kawat netral.

### Dampak yang terjadi akibat gangguan pada SUTM

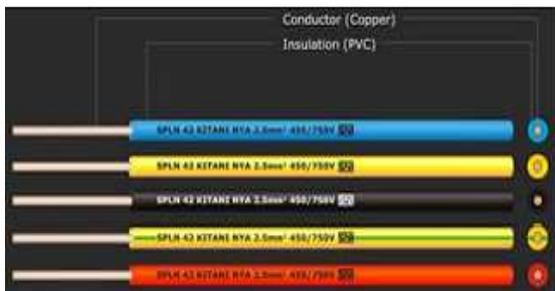
Dengan adanya sambaran petir yang mengenai jaringan, ranting pohon yang menempel pada kabel jaringan dan benang layang-layang yang menempel atau melilit kabel jaringan maka akan berdampak terjadinya arus lebih (*over current*) yang disebabkan hubung singkat fasa-fasa. Terjadinya *over current* akan membuat sistem relai proteksi atau pengaman jaringan bekerja. Apabila sering terjadi arus berlebih atau hubung singkat maka semakin sering pula relai proteksi bekerja dengan demikian akan sesering itu pula trafo daya menerima hubung singkat, dimana akan memperpendek umur trafo daya tersebut.

### B. Jenis Kabel

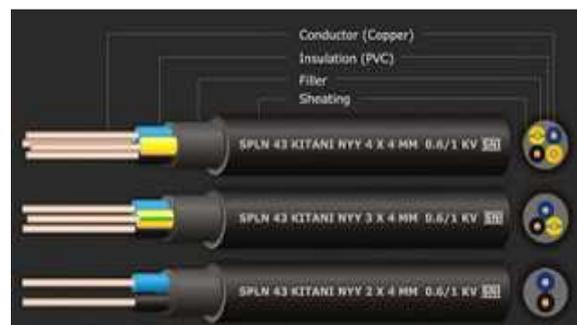
Adapun jenis-jenis kabel adalah sebagai berikut :

#### Kabel NYA

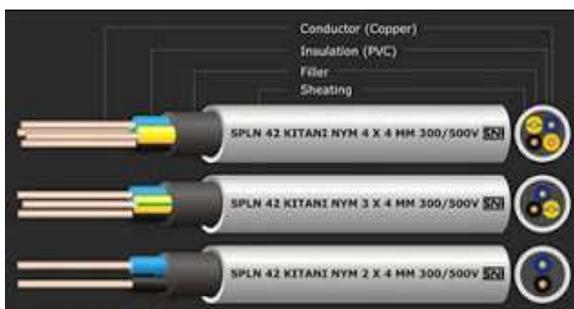
Biasanya digunakan untuk instalasi rumah dan sistem tenaga. Dalam instalasi rumah digunakan ukuran 1,5 mm<sup>2</sup> dan 2,5 mm<sup>2</sup>. Berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, dan seringnya untuk instalasi kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Kabel tipe ini umum dipergunakan di perumahan karena harganya yang relatif murah. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.



Gambar 5 Kabel NYA



Gambar 7 Kabel NYY



Gambar 6 kabel NYM



Gambar 8 Kabel NYAF



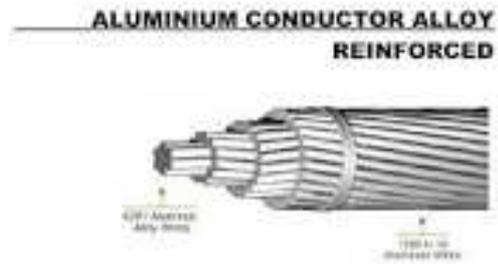
Gambar 9 Kabel NYFGbY



Gambar 12 Kabel AAAC



Gambar 10 Kabel BC



Gambar 13 Kabel ACAR



Gambar 11 Kabel ACSR

**Kabel NYM**

Digunakan untuk kabel instalasi listrik rumah atau gedung dan sistem tenaga. Kabel NYM berinti lebih dari 1, memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.

**Kabel NYY**

Memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dieprgunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.

**Kabel NYAF**

Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.

**Kabel NYFGbY**

Kabel NYFGbY ini digunakan untuk instalasi bawah tanah, di dalam ruangan di dalam saluran-saluran dan pada tempat-tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan, atau untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.

**Kabel BC**

Kabel ini dipilin/stranded, disatukan. Ukuran / tegangan mak = 6 – 500 mm<sup>2</sup> / 500 V. Pemakaian kabel jenis ini di saluran diatas tanah dan penghantar pentanahan / penangkal petir.

**Kabel ACSR**

Kabel ACSR merupakan kawat penghantar yang terdiri dari aluminium berinti kawat baja. Kabel ini digunakan untuk saluran-saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, mencapai ratusan meter, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

**Kabel AAAC**

Kabel ini terbuat dari aluminium-magnesium-silicon campuran logam, keterhantaran elektris tinggi yang berisi magnesium silicide, untuk memberi sifat yang lebih baik. Kabel ini biasanya dibuat dari paduan aluminium 6201. AAAC mempunyai suatu anti karat dan kekuatan yang baik, sehingga daya hantarnya lebih baik.

*Kabel ACAR*

Kabel ACAR yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran, sehingga kabel ini lebih kuat daripada kabel ACSR.

*Bagian Konstruksi Kabel*

Bagian Utama terdiri dari hantaran (*Conductor*), Isolasi (*Insulation*), Tabir (*Screen*), Selubung (*sheath*). Bagian Pelengkap terdiri dari bantalan (*bedding*), Perisai (*Armor*), bahan Pengisi (*Filler*), Sarung kabel (*serving*).

*C. Hantaran (Konductor)*

Bahan hantaran yang banyak dipakai untuk kabel tenaga listrik berupa tembaga dan aluminium. Ada beberapa bentuk hantaran yang digunakan yaitu hantaran bulat tanpa rongga, hantaran bentuk sektoral dan hantaran bulat berongga.

*D. Isolasi (Insulation)*

*Isolasi Karet*

Dalam Keadaan murni tidak dapat digunakan sebagai bahan isolasi karena tidak tahan temperatur tinggi dan terlalu lunak, keras / kasar. Karet dicampur bahan lain seperti oksida zinc, Timbal atau belerang yang kemudian divulkanisasi sehingga menjadi lebih elastis, ketahanannya lebih lama / umur kabel, lebih kuat / lebih tahan dan dapat bekerja pada temperatur tinggi. Kekurangannya yaitu dapat merusak tembaga (hantaran) karena itu harus dilapisi timah putih, karena munculnya bahan isolasi sintesis seperti *Butyl, Polyethylene, Crosslinked polyethylene*, dan lain-lain.

*Isolasi kertas*

Sifat-sifat kertas sebagai bahan isolator yaitu faktor rugi dielektrik (*dielectric loss factor*) antara 0,009 sampai 0,004, temperatur kerja 65 °C, ketahanan dielektrik 80 kV/mm dan menyerap uap air/cairan. Untuk memperbaiki sifat-sifat isolasinya, kertas harus diresapi (*impregnated*) dengan minyak isolasi, minyak isolasi harus bebas asam, kekentalan rendah dan fungsi minyak mampu menggantikan udara yang terdapat pada pori-pori kertas.

*Isolator Sintetis*

Isolator sintesis mempunyai sifat listrik, mekanis, termis yang baik untuk isolator kabel. Isolator sintesis dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu Elastomer, Thermoplastik, Thermosetting. Hal-hal yang menyebabkan terdapat partikel yaitu adanya kotoran/debu didalam isolasi, bentuk titik/bintik pada lapisan semiconductingnya atau lapisan isolasinya, dan serat-serat isolasinya.

*E. Sifat-sifat listrik dielektrik*

Sifat elektrik yang dibutuhkan untuk suatu bahan isolasi yaitu mempunyai kekuatan dielektrik (KD) yang tinggi, agar dimensi sistem isolasi menjadi kecil dan penggunaan bahan semakin sedikit, sehingga harganya semakin murah, Rugi-rugi dielektriknya rendah, agar suhu bahan isolasi tidak melebihi batas yang ditentukan, memiliki kekuatan kerak (*tracking strength*) tinggi, agar tidak terjadi erosi karena tekanan elektrik permukaan dan memiliki konstanta dielektrik yang tepat dan cocok, sehingga membuat arus pemuatan (*charging current*) tidak melebihi yang diinginkan.

Bahan isolasi sekaligus juga merupakan bahan konstruksi peralatan. Oleh karena itu, ia juga memikul beban mekanis, sehingga bahan isolasi harus memenuhi persyaratan mekanis yang dibutuhkan. Sifat mekanis yang dibutuhkan bergantung kepada pemakaiannya, seperti diberikan pada contoh tabel I.

*Kekuatan Dielektrik*

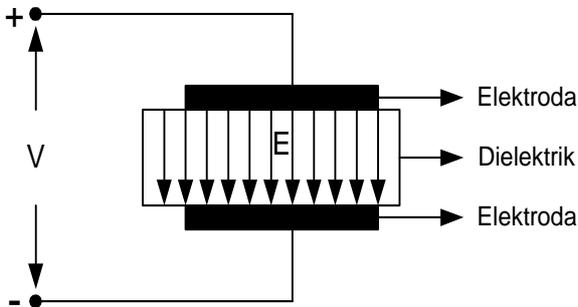
Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Pada gambar 14 ditunjukkan suatu bahan dielektrik yang ditempatkan diantara dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda diberi tegangan searah V, maka timbul medan elektrik (E) di dalam dielektrik. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan elektrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor.

*Pengujian Tembus Listrik Dielektrik Padat*

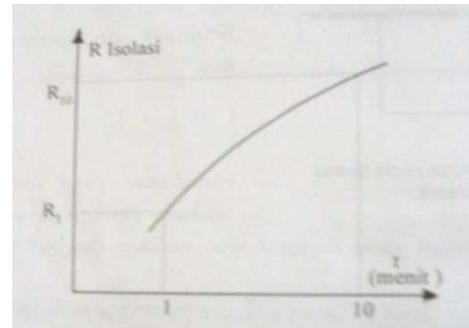
Mekanisme tembus listrik dielektrik padat tergantung pada durasi tegangan yang dipikul oleh dielektrik tersebut. Oleh karena itu, tegangan tembus dielektrik padat tergantung kepada waktu pengujian. Ada tiga metode atau cara dalam memberikan tegangan pengujian berdasarkan *American Standard Test Method* (ASTM D-149), yaitu metode pengujian waktu singkat (*Short Time Test*), pengujian bertangga (*Step-by-Step Test*), dan pengujian kenaikan tegangan perlahan (*Slow Rate-of-Rise-Test*).

TABEL I SIFAT MEKANIS TERPENTING ISOLATOR

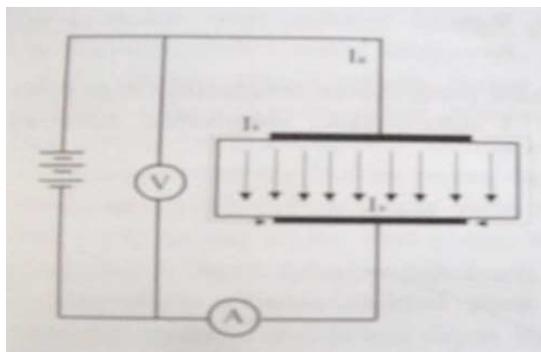
Pemakaian bahan isolasi	Sifat mekanis terpenting
Isolator hantaran udara	Kekuatan regangan ( <i>tensile strength</i> )
Isolator pendukung pada gardu	Kekuatan tekuk ( <i>bending strength</i> )
Isolator antena	Kekuatan tekan ( <i>pressure strength</i> )
Pemutus daya ( <i>circuit breaker</i> )	Ketahanan tekanan dadakan ( <i>bursting pressure withstand</i> )



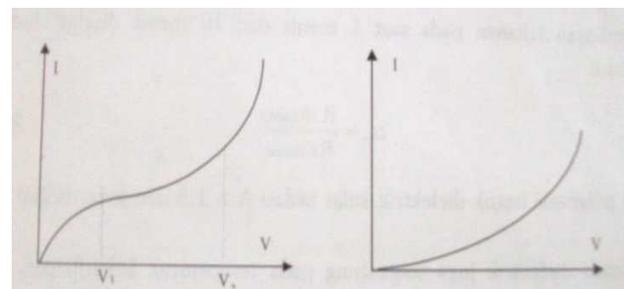
Gambar 14. Medan Elektrik Dalam Dielektrik



Gambar 17. Tahanan vs Waktu



Gambar 15. Arus pada Suatu Dielektrik



a. Isolasi cair dan gas      b. isolasi padat

Gambar 16 Pengaruh Tegangan terhadap Tahanan Isolasi

**Tahanan isolasi**

Jika suatu dielektrik diberi tegangan searah seperti ditunjukkan pada gambar 15, maka arus yang mengalir pada dielektrik terdiri atas dua komponen, yaitu arus yang mengalir pada permukaan dielektrik (arus permukaan,  $I_s$ ) dan arus yang mengalir melalui volume dielektrik (arus volume,  $I_v$ ). Sehingga arus sumber dapat dituliskan :

$$I_a = I_s + I_v \tag{1}$$

Hambatan yang dialami arus permukaan disebut tahanan permukaan ( $R_s$ ), sedang hambatan yang dialami arus volume disebut tahanan volume ( $R_v$ ).

Dalam prakteknya, hasil tahanan isolasi tergantung pada besar dan polaritas tegangan pengukuran serta jenis bahan isolasi. Pada gambar 16 ditunjukkan pengaruh tegangan terhadap tahanan isolasi, masing-masing untuk bahan isolasi gas, cair, dan isolasi padat.

Untuk keperluan evaluasi, didefinisikan suatu faktor yang disebut faktor titik lemah, yaitu perbandingan tahanan pada tegangan  $V_1$  dengan tahanan pada  $V_2$ , dimana  $V_2$  lebih tinggi dari  $V_1$ . Jika factor titik lemah semakin besar, merupakan pertanda bahwa isolasi semakin buruk.

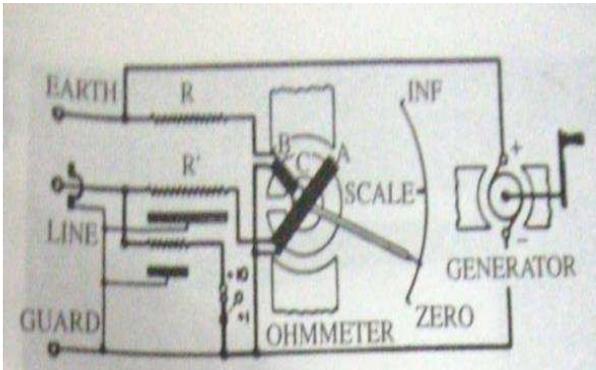
$$\alpha_{t1} = \frac{R_{v1}}{R_{v2}} \tag{2}$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran tahanan isolasi antara lain adalah: (a) Arus absorpsi, (b) suhu, (c) tegangan yang diterapkan. Akibat adanya arus absorpsi, maka hasil pengukuran tergantung juga pada waktu pengukuran. Pada gambar 17 ditunjukkan perubahan tahanan isolasi terhadap waktu.

Perbandingan tahanan pada saat 1 menit dan 10 menit disebut indeks polarisasi :

$$\alpha_p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} = \frac{I_{10 \text{ menit}}}{I_{1 \text{ menit}}} \tag{3}$$

dimana R menyatakan tahanan isolasi, dan I menyatakan jumlah arus yang mengalir, semuanya diukur sesudah 1 atau 10 menit. bila  $\alpha_p = 1$ , maka dalam bahan isolasi terdapat kebocoran; ini berarti bahwa bahan tersebut tidak baik. Untuk isolasi murni dan kering di Jepang berlaku indeks polarisasi dielektrik kelas isolasi A > 1,5 dan kelas isolasi B > 2,5.



Gambar 18. Bagan Konstruksi Bagian Dalam Megger dengan Alat Asas Gulungan Putar (*Moving Coil*)

*Pengujian menggunakan Megger (Mega ohm Meter)*

Alat ukur Megger (Mega ohm Meter) adalah alat ukur yang dipergunakan untuk mengukur tahanan isolasi dari peralatan listrik yang berisolasi (dengan satuan Mega Ohm) yaitu Trafo Tenaga (untuk distribusi dengan tegangan 20V/400V ) dan Kabel TM atau TR

Jenis megger yaitu megger dengan engkol sbg pembangkit tegangan. Sumber tenaga pada megger jenis ini berasal dari generator pembangkit tenaga listrik yang ada dalam alat ukur ini dan untuk membangkitkannya poros megger harus diputar; dengan alat penunjukannya jarum dan megger dengan sumber tenaga dari baterai dan alat penunjukannya berupa jarum juga.

Pada pengukuran tahanan isolasi, memang sebaiknya mempergunakan tegangan sama dengan tegangan kerjanya, tetapi kondisi di lapangan berbeda karena keterbatasan alat ukur, terutama untuk mengukur tahanan isolasi yang mempunyai tegangan 20 kV, alat ukur yang tersedia 5 kV.

Untuk mengetahui standart nilai minimal hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{1000.U^2}{E} \cdot 2,5/10^6 \text{ (M}\Omega\text{)} \tag{4}$$

- R = Tahanan isolasi minimal (Mega ohm)
- U = Tegangan kerja (Volt)
- E = Tegangan Megger (Volt)
- 2,5 = Faktor keamanan
- 1000 sebagai bilangan tetap

*F. Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI*

Indeks keandalan merupakan suatu metode/cara pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan.



Gambar 19. *Insulation Tester Elektronik dan Insulation Tester Engkol*

*SAIDI (System Average Interruption Duration Index)*

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya gangguan untuk setiap konsumen selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dari lamanya gangguan secara terus menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama tahun itu. Persamaan untuk SAIDI (rata-rata lama gangguan per pelanggan) ini dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$SAIDI = \frac{\text{Lama gangguan} \times \text{jumlah pelanggan terganggu}}{\text{jumlah pelanggan yang dilayani}} \text{ atau } SAIDI = \frac{U_i.N_i}{N} \tag{5}$$

Dimana, lamanya gangguan disimbolkan dengan  $U_i$ , jumlah pelanggan yang terganggu disimbolkan dengan  $N_i$ , dan  $N$  adalah jumlah pelanggan yang dilayani.

*SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)*

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gangguan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya per tahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua gangguan pelanggan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan untuk SAIFI (rata-rata jumlah gangguan per pelanggan) ini dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SAIFI = \frac{\text{Frekuensi gangguan} \times \text{jumlah pelanggan terganggu}}{\text{jumlah pelanggan yang dilayani}} \text{ atau } SAIFI = \frac{U_i.N_i}{N} \tag{6}$$

Dimana, frekuensi gangguan disimbolkan dengan  $U_i$ , jumlah pelanggan yang terganggu disimbolkan dengan  $N_i$ , dan  $N$  adalah jumlah pelanggan yang dilayani.

III. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

Langkah – langkah dalam penulisan tugas akhir ini dimulai dari persiapan sampai pada pelaksanaan dapat diuraikan sebagai berikut :

Mempelajari materi – materi tentang Jaringan Distribusi Primer 20 kV khususnya mengenai penggunaan PE dan *Tree guard*, mempelajari tentang Tegangan Tembus Isolasi dan Tahanan Isolasi, mempelajari indeks keandalan berbasis sistem khususnya SAIDI dan SAIFI yang akan digunakan sebagai indikator keandalan system, menentukan parameter apa saja yang akan digunakan berkaitan dengan pengaruh penggunaan PE dan *Tree guard* pada jaringan distribusi primer 20 kV dan data apa saja yang dibutuhkan, membuat surat izin pengambilan data di Kantor PT. PLN (Persero) Cabang Manado, melakukan pengujian dan mengambil data tegangan tembus dan tahanan isolasi pada bahan PE dan *Tree guard* di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, mengambil data seperti data gangguan dan pelanggan khususnya pada penyulang SL4 Sario PT. PLN (Persero) Cabang Manado, setelah memperoleh data tegangan tembus dan tahanan isolasi bahan PE dan *Tree guard*, maka dibandingkan dengan standar yang harus dicapai, Kemudian menghitung jumlah dan lama gangguan yang terjadi pada penyulang SL4 Sario, menghitung indeks keandalan SAIDI dan SAIFI dengan memasukkan data gangguan dan pelanggan dalam persamaan, menghitung nilai ekonomis pengaruh penggunaan isolasi PE.

B. Data Teknis

TABEL II DATA PELANGGAN PADA PENYULANG SL4 SARIO TAHUN 2012

No.	Arah	Jumlah Pelanggan
1.	PMT SL.4 G.I S/D GH Sario	-
2.	GH Sario S/D RSUP Malalayang	<b>230</b>
3.	BS M 107 DPR S/D SKB 1, NC Boulevard & PLN Wilayah	<b>1,306</b>
4.	Boulevard S/D Carita	<b>2,650</b>
5.	GH Sario S/D Jurusan Samrat	<b>1,152</b>
<b>Total pelanggan</b>		<b>5,338</b>

Sumber : PT. PLN Persero Cabang Manado

TABEL IV DATA TARGET SAIDI DAN SAIFI PT. PLN AREA MANADO TAHUN 2012

No.	Produk dan Layanan	Target
1.	SAIDI	7,55 kali/pelanggan
2.	SAIFI	1114 menit/pelanggan

Sumber : PT. PLN Persero Cabang Manado

TABEL III DATA JUMLAH DAN LAMA GANGGUAN PADA PENYULANG SL4 SARIO TAHUN 2012

No.	Bulan	Jumlah gangguan	Lama gangguan (menit)
1.	Januari	1	11
2.	Februari	1	13
3.	Maret	11	174
4.	April	9	60
5.	Mei	9	96
6.	Juni	3	41
7.	Juli	2	19
8.	Agustus	1	10
9.	September	1	11
10.	Oktober	1	27
11.	November	1	7
12.	Desember	1	4
<b>Total</b>		<b>41</b>	<b>473</b>

Sumber : PT. PLN Persero Cabang Manado

TABEL V DATA JUMLAH PELANGGAN PT. PLN AREA MANADO TAHUN 2012

No.	Bulan	Jumlah Pelanggan
1.	Januari	310695
2.	Februari	311407
3.	Maret	312610
4.	April	312610
5.	Mei	314383
6.	Juni	315934
7.	Juli	317874
8.	Agustus	318204
9.	September	319694
10.	Oktober	321709
11.	November	323920
12.	Desember	326628

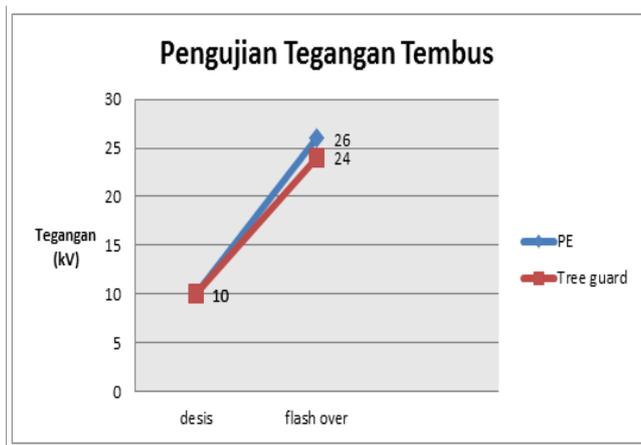
Sumber : PT. PLN Persero Cabang Manado

TABEL VI. DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS UNTUK BAHAN PE

Tegangan (kV)		Arus (mA)	
Desis	Spark Over (Tembus)	Desis	Spark Over (Tembus)
10	>26	1,2	>8

TABEL VII. DATA HASIL PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS UNTUK BAHAN TREE GUARD

Tegangan (kV)		Arus (mA)	
Desis	Spark Over (Tembus)	Desis	Spark Over (Tembus)
10	>24	1,8	>6



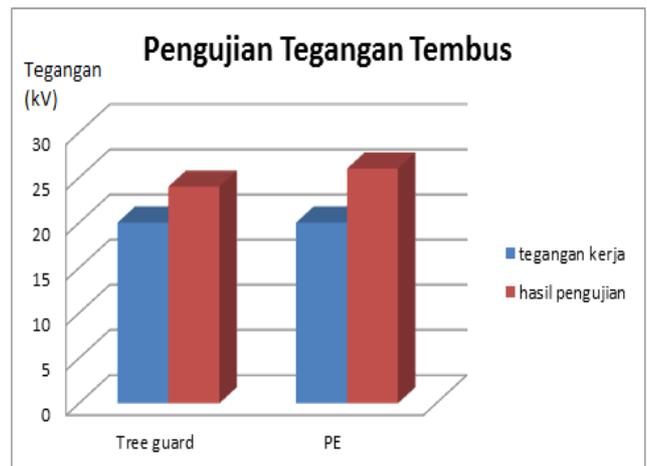
Gambar 20 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan Tembus PE dan Tree guard

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

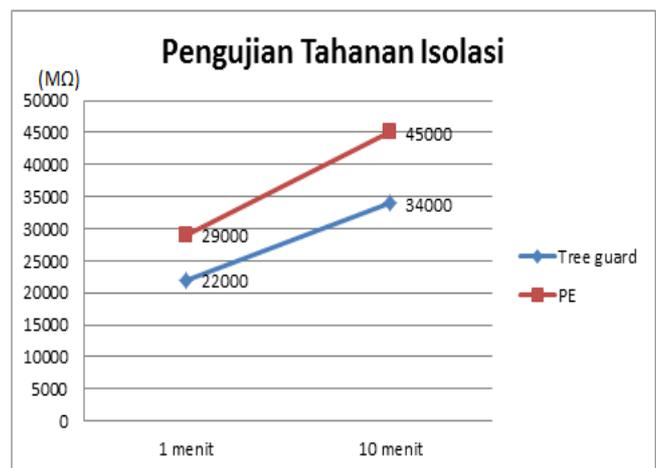
##### A. Pengujian Tegangan Tembus

###### Bahan PE

Hasil pengujian tegangan tembus untuk bahan PE dapat diketahui bahwa pada tegangan 10 kV mulai berdesis dan ketika besar tegangan yang dicapai adalah 26 kV, terjadi *spark over* akan tetapi bukan karena terjadi tembus pada isolasi PE, melainkan *spark over* terjadi melalui samping isolasi. Dengan hasil ini menunjukkan bahwa bahan PE memiliki ketahanan tegangan tembus baik karena pada tegangan 26 kV belum terjadi tembus dimana besar tegangan itu sudah melebihi tegangan kerjanya sebagai isolasi yaitu 20 kV.



Gambar 21 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan Tembus PE dan Tree guard dengan Tegangan Kerja



Gambar 22. Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Isolasi PE dan Tree guard

###### Bahan Tree guard

Hasil pengujian tegangan tembus untuk bahan *Tree guard* dapat diketahui bahwa pada tegangan 10 kV mulai berdesis dan ketika besar tegangan yang dicapai adalah 24 kV, terjadi *spark over* akan tetapi bukan karena terjadi tembus pada isolasi *Tree guard*, melainkan *spark over* terjadi melalui samping isolasi. Dengan hasil ini menunjukkan bahwa bahan *Tree guard* memiliki ketahanan tegangan tembus baik karena pada tegangan 24 kV belum terjadi tembus dimana besar tegangan itu sudah melebihi tegangan kerjanya sebagai isolasi yaitu 20 kV.

TABEL VIII. PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI BAHAN PE

Bahan	Durasi	
	1 menit	10 menit
PE	29000 MΩ	45000 MΩ

TABEL IX. PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI BAHAN TREE GUARD

Bahan	Durasi	
	1 menit	10 menit
PE	22000 MΩ	34000 MΩ

*B. Pengujian Tahanan Isolasi*

Dalam pengujian tahanan isolasi, tegangan yang digunakan adalah ac atau dc, akan tetapi untuk mempermudah pengukuran dan karena keterbatasan alat ukur, terutama untuk mengukur tahanan isolasi untuk tegangan 20 kV, maka pengujian ini menggunakan tegangan dc 5 kV dan juga karena pembangkitan tegangan dc lebih mudah bila dibandingkan dengan tegangan ac.

Untuk mengetahui standart nilai minimal hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dihitung dengan persamaan 4, yaitu sebagai berikut:

$$R = \frac{1000 \cdot U^2}{E} \cdot 2,5/10^6 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

R = Tahanan isolasi minimal (Mega ohm)  
 U = Tegangan kerja (Volt)  
 E = Tegangan Megger (Volt)  
 2,5 = Faktor keamanan  
 1000 = sebagai bilangan tetap

$$R = \frac{1000 \cdot 20000^2}{5000} \cdot 2,5/10^6 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

$$R = 200 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

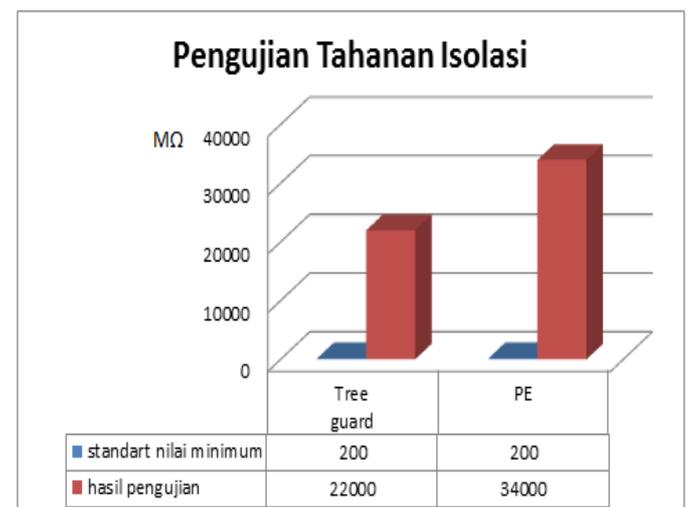
Jadi, untuk pengukuran tahanan isolasi dengan tegangan kerja 20 kV menggunakan tegangan megger 5 kV, minimum tahanan isolasinya adalah 200 (MΩ).

*Bahan PE*

Hasil pengujian tahanan isolasi untuk bahan PE dapat diketahui bahwa besar tahanan yang dicapai pada menit pertama adalah sebesar 29000 MΩ dan pada menit ke sepuluh adalah sebesar 45000 MΩ, hal ini menunjukkan bahwa bahan PE memiliki tahanan isolasi yang baik karena hasilnya lebih besar dibandingkan standart minimum hasil pengukuran yaitu 200 MΩ dan untuk menghitung indeks polarisasinya dengan cara memasukan hasil pengujian ke dalam persamaan 3 yaitu :

$$\alpha_p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} = \frac{45000 \text{ M}\Omega}{29000 \text{ M}\Omega} = 1,55$$

Jadi, didapatkan hasil indeks polarisasi untuk isolasi PE adalah 1,55 dan termasuk dalam isolasi jenis Kelas A karena memiliki nilai lebih dari 1,5.



Gambar 23. Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Tahanan Isolasi PE dan Tree guard dengan Standart Nilai Minimum

*Bahan Tree guard*

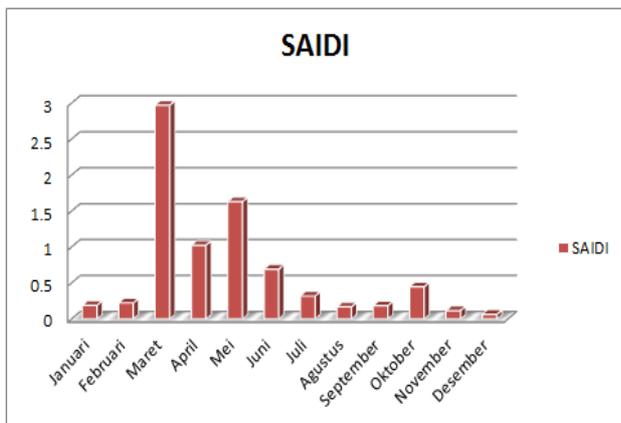
Hasil pengujian tahanan isolasi untuk bahan *Tree guard* dapat diketahui bahwa besar tahanan yang dicapai pada menit pertama adalah sebesar 22000 MΩ dan pada menit ke sepuluh adalah sebesar 34000 MΩ, hal ini menunjukkan bahwa bahan *Tree guard* memiliki tahanan isolasi yang baik karena hasilnya lebih besar dibandingkan standart minimum hasil pengukuran yaitu 200 MΩ dan untuk menghitung indeks polarisasinya dengan cara memasukan hasil pengujian ke dalam persamaan 3 yaitu :

$$\alpha_p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} = \frac{34000 \text{ M}\Omega}{22000 \text{ M}\Omega} = 1,54$$

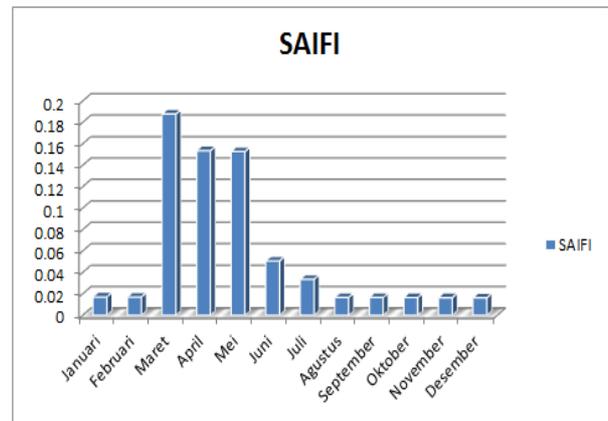
Jadi, didapatkan hasil indeks polarisasi untuk isolasi *Tree guard* adalah 1,54 dan termasuk dalam isolasi jenis Kelas A karena memiliki nilai lebih dari 1,5.

Tabel X. Hasil Perhitungan SAIDI dan SAIFI Tahun 2012

No.	Bulan	Jumlah gangguan	Lama gangguan (menit)	SAIDI	SAIFI
1.	Januari	1	11	0.1889892	0.017180837
2.	Februari	1	13	0.22284021	0.017141554
3.	Maret	11	174	2.9711526	0.18783148
4.	April	9	60	1.0245354	0.1536803
5.	Mei	9	96	1.6300118	0.15281361
6.	Juni	3	41	0.69273329	0.050687802
7.	Juli	2	19	0.31906353	0.033585635
8.	Agustus	1	10	0.16775402	0.016775402
9.	September	1	11	0.18366938	0.016697217
10.	Oktober	1	27	0.44800114	0.016592635
11.	November	1	7	0.11535564	0.016479378
12.	Desember	1	4	0.065371003	0.016342751



Gambar 24. Grafik Hasil SAIDI tahun 2012



Gambar 25. Grafik Hasil SAIFI tahun 2012

C. Analisa Indeks Keandalan SAIDI dan SAIFI

Pada bulan Mei hingga bulan Juni, PT. PLN (Persero) Cabang Manado mengadakan pemeliharaan yang berupa penggantian kawat telanjang jenis AAAC 150 mm<sup>2</sup> dengan kabel berisolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> dengan panjang 15.000 meter, penebangan pohon-pohon yang mengganggu SUTM dan juga pekerjaan pada konstruksi penopang.

Hal ini dilakukan untuk mengurangi terjadinya gangguan yang diakibatkan oleh pohon pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV pada penyulang SL4 Sario.

Dari grafik hasil perhitungan SAIDI sepanjang tahun 2012, bisa dilihat bahwa nilai SAIDI pada bulan Januari hingga bulan Juni lebih tinggi dibandingkan nilai SAIDI pada bulan Juli hingga Agustus. Nilai SAIDI Pada bulan Maret merupakan nilai tertinggi yaitu 2,9711526 dan nilai SAIDI pada bulan Desember adalah yang terendah yaitu 0,065371003. Nilai SAIDI pada bulan Juni hingga bulan Desember cenderung mengalami penurunan.

Dengan Tren nilai SAIDI dan SAIFI yang menurun menunjukkan bahwa jumlah dan lama gangguan yang terjadi pada jaringan pun ikut menurun dan juga itu berarti meningkatnya keandalan sistem distribusi.

#### D. Perhitungan ekonomis

Melalui perhitungan nilai ekonomis ini, bisa dilihat suatu harga atau nilai rupiah perbandingan antara biaya penggunaan kabel berisolasi PE dan kerugian energi tak tersalur yang disebabkan oleh adanya gangguan.

##### Perhitungan kerugian energi tak tersalur

Di ambil sampel, berdasarkan data gangguan PT. PLN (Persero) Cabang Manado pada bulan Agustus untuk penyulang SL4 dimana terjadi satu kali gangguan dengan beban hilang sebesar 264 A dan lamanya padam 10 menit. untuk mengetahui energi tak tersalur bisa dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Energi tak tersalur (kWh)} &= \text{beban hilang (A)} \times \text{lama padam (menit)} \times 0,49 \\ &= 264 \times 10 \times 0,49 \\ &= 1293,6 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika semua pelanggan diratakan golongan rumah tangga kecil dengan tarif dasar listrik 1 kWh sebesar 735 rupiah, maka didapatkan kerugian untuk satu kali gangguan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kerugian total} &= 1.293,6 \text{ kWh} \times 735 \text{ rupiah} \\ &= \text{Rp. } 950.796,- \end{aligned}$$

Jadi, setiap terjadi satu kali gangguan dengan durasi padam sepuluh menit pada penyulang SL4, kerugiannya adalah sebesar 950.796 rupiah.

##### Perhitungan biaya penggunaan kabel berisolasi PE

Berdasarkan data harga kabel PT. PLN (Persero) Cabang Manado dimana harga kabel isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> adalah 28.750 rupiah per meter dan yang terpasang sepanjang 15.000 meter, maka untuk menghitung biayanya yaitu dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Penggunaan kabel berisolasi PE} &= \text{harga kabel} \times \text{jarak} \\ &= 28.750 \times 15.000 \\ &= \text{Rp. } 431.250.000,- \end{aligned}$$

Jadi, biaya penggunaan kabel berisolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> adalah sebesar 431.250.000 rupiah.

##### Perbandingan kerugian energi tak tersalur antara sebelum dan sesudah penggunaan kabel isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup>

Pelaksanaan pemasangan kabel isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> dimulai pada bulan Mei hingga bulan Juni tahun 2012. Jadi, untuk membandingkan kerugian energi tak tersalur antara sebelum dan sesudah digunakan, di ambil sampel untuk sebelum penggunaan diambil data gangguan PT. PLN (Persero) Cabang Manado pada bulan Januari hingga bulan Juni tahun 2012 dan sesudah penggunaan diambil data gangguan pada bulan Juli hingga bulan Desember tahun 2012.

##### Sebelum penggunaan (Januari – Juni)

$$\begin{aligned} \text{Energi tak tersalur (kWh)} &= 1293,6 \text{ kWh} \times \text{total gangguan (Januari – Juni)} \\ &= 1.293,6 \text{ kWh} \times 34 \\ &= 43.982,4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika semua pelanggan diratakan golongan rumah tangga kecil dengan tarif dasar listrik 1 kWh sebesar 735 rupiah, maka didapatkan kerugiannya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kerugian total} &= 43.982,4 \text{ kWh} \times 735 \text{ rupiah} \\ &= \text{Rp. } 32.327.064,- \end{aligned}$$

##### Sesudah penggunaan (Juli – Desember)

$$\begin{aligned} \text{Energi tak tersalur (kWh)} &= 1293,6 \text{ kWh} \times \text{total gangguan (Juli – Desember)} \\ &= 1.293,6 \text{ kWh} \times 7 \\ &= 9.055,2 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Jika semua pelanggan diratakan golongan rumah tangga kecil dengan tarif dasar listrik 1 kWh sebesar 735 rupiah, maka didapatkan kerugiannya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kerugian total} &= 9.055,2 \text{ kWh} \times 735 \text{ rupiah} \\ &= \text{Rp. } 6.655.572,- \end{aligned}$$

Jadi, total kerugian pada enam bulan sesudah penggunaan kabel isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> adalah sebesar 6.655.572 rupiah.

##### Selisih kerugian sebelum dan sesudah penggunaan

Dari hasil perhitungan kerugian sebelum dan sesudah penggunaan isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> didapatkan selisihnya yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Kerugian total sebelum} - \text{Kerugian total sesudah} \\ &= \text{Rp. } 32.327.064 - \text{Rp. } 6.655.572 \\ &= \text{Rp. } 25.671.492,- \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan diatas, penggunaan kabel isolasi PE jenis AAAC-S 150 mm<sup>2</sup> berpengaruh terhadap penurunan kerugian dimana memiliki selisih sebesar Rp. 25.671.492,-

## C. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Hasil pengujian tegangan tembus untuk isolasi PE adalah lebih dari 26 kV dan *Tree guard* adalah lebih dari 24 kV. Hasil ini menunjukkan bahwa isolasi PE dan *Tree guard* memiliki ketahanan tegangan tembus baik, karena besar tegangan tersebut sudah melebihi tegangan kerjanya sebagai isolasi yaitu 20 kV. Hasil pengujian tahanan isolasi menggunakan alat ukur megger untuk isolasi PE pada menit pertama adalah sebesar 29000 MΩ dan pada menit ke sepuluh adalah sebesar 45000 MΩ, dan untuk isolasi *Tree guard* pada menit pertama adalah sebesar 22000 MΩ dan pada menit ke sepuluh adalah sebesar 34000 MΩ. Hasil ini menunjukkan bahwa isolasi PE dan *tree guard* memiliki tahanan isolasi yang baik karena hasilnya lebih besar dibandingkan standart minimum hasil pengukuran yaitu 200 MΩ. Hasil perhitungan indeks polarisasi isolasi PE adalah 1,55 dan *Tree guard* adalah 1,54 sehingga termasuk dalam kelas A yaitu lebih dari 1,5. Nilai SAIDI dan SAIFI pada bulan Juli hingga bulan Desember cenderung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan jumlah dan lamanya gangguan yang terjadi pada jaringan pun ikut menurun sehingga keandalan sistem distribusi meningkat. Penggunaan kabel isolasi PE berpengaruh terhadap penurunan kerugian dimana memiliki selisih sebesar 25.671.492 rupiah

antara sebelum dan sesudah penggunaan isolasi bahan PE pada penyulang SL4 Sario.

#### B. Saran

Untuk pengujian tegangan tembus sebaiknya menggunakan peralatan pengujian dengan skala lebih tinggi supaya hasil yang dicapai lebih maksimal dan juga SL6 Pakowa yang melayani sekolah-sekolah dan instansi-instansi penting pemerintahan terdapat banyak pohon sehingga rentan mengalami gangguan. Oleh karena itu, PT. PLN (Persero) Manado perlu memikirkan dan merencanakan penggunaan kabel isolasi PE pada penyulang di daerah tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Arismunandar, " *Teknik Tegangan Tinggi*", Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
- [2] A. D. Arifin, " *Pengukuran Besaran Listrik*", Pusat Pengembangan Bahan Ajar, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- [3] A. F. Nelwan, " *Bahan Ajar Teknik Tenaga Listrik*. Lembaga Pembinaan dan Pengembangan Pendidikan (LP3) UNSRAT, Manado, 2008.
- [4] B. L. Tobing, " *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2003.
- [5] Badruddin, Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB.
- [6] F. Suyatmo, " *Alat Ukur Elektronika*", Penerbit Bumi Aksara, Jakarta, 1999.
- [7] H. Tumaliang, " *Bahan Ajar Teknik Tenaga Listrik*", UNSRAT, Manado.
- [8] W. Sarimun, " *Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek)*", Penerbit Garamond. Depok. 2011.