

# Analisis Kinerja *Lightning Arrester* Pada Jaringan Transmisi 150 kV Sistem Minahasa Khususnya Pada Penyulang Kawangkoan - Lopana

Maruli Ch.M. Barasa, Lily S. Patras, Hans Tumaliang .

Teknik Elektro Fakultas Teknik UNSRAT Manado, Jl. Kampus Bahu Unsrat, Manado-95115

Email: [Marulych@gmail.com](mailto:Marulych@gmail.com), [Lilypatras@yahoo.com](mailto:Lilypatras@yahoo.com), [Hanstumaliang@yahoo.com](mailto:Hanstumaliang@yahoo.com)

**Abstract**— *In the distribution of electrical energy in transmission and distribution networks can not be separated from any interference that can Disrupt the process of distribution of electrical energy, whether it was interference from inside or outside interference. It required protection tools to protect it. It required protection tools to protect it. One of the outside distractions that lead to failure of equipment in the transmission line is a lightning strike. Based on the analysis in 2014, the number of lightning strikes in the transmission network is more or less as much as 95 times. Top protection against lightning strikes on Transmission Network is a lightning rod. Where, for a review analyzing the boarding costs AT 150 kV Transmission Line.*

**Keywords:** *Boarding cost Analysis, Lightning Arrester, Network Transmission, Protections*

Abstrak— Didalam penyaluran energi listrik pada jaringan transmisi dan distribusi tidak lepas dari adanya gangguan yang dapat mengganggu proses penyaluran energi listrik, baik itu gangguan dari dalam atau gangguan dari luar. Untuk itu diperlukan alat-alat proteksi untuk memproteksinya. Salah satu gangguan dari luar yang menyebabkan kegagalan pada peralatan di jaringan transmisi yaitu sambaran petir. Berdasarkan hasil analisa pada tahun 2014, jumlah sambaran petir pada jaringan transmisi ini kurang lebih sebanyak 95 kali sambaran. Proteksi utama terhadap sambaran petir pada jaringan transmisi adalah *lightning arrester*. Dimana, untuk menganalisa kinerja pada jaringan transmisi 150 kV.

Kata kunci: Analisis kinerja, Jaringan transmisi, *Lightning Arrester*, Proteksi.

## I. PENDAHULUAN

Didalam penyaluran energi listrik pada jaringan transmisi dan distribusi tidak lepas dari adanya gangguan yang dapat mengganggu proses penyaluran energi listrik, baik itu gangguan dari dalam atau gangguan dari luar.

Untuk itu diperlukan alat-alat proteksi untuk memproteksinya. Salah satu gangguan dari luar yang menyebabkan kegagalan pada peralatan di jaringan transmisi yaitu sambaran petir. Peralatan yang biasa digunakan untuk memproteksi gangguan akibat

sambaran petir di sebut *Lightning Arrester*. Alat ini biasanya dipasang pada gardu-gardu induk dan juga di jaringan-jaringan transmisi. Yang berfungsi untuk melindungi peralatan-peralatan di gardu induk dan jaringan-jaringan transmisi dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir)

Demikian pula dengan Sistem Minahasa tidak lepas dari gangguan berupa sambaran petir. Karena jumlah sambaran petir yang tinggi pada daerah ini. Hal ini dikarenakan, perlu dikaji kembali *Lightning Arrester* yang di pasang pada jaringan.

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh gangguan dari dalam dan dari luar.

Dimana gangguan yang berasal dari dalam merupakan gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri, contohnya kerusakan material peralatan akibat proses penuaan, sedangkan gangguan yang berasal dari luar merupakan gangguan dari luar sistem tersebut seperti sambaran petir. Untuk gangguan akibat sambaran petir akan mengakibatkan tegangan lebih pada jaringan.

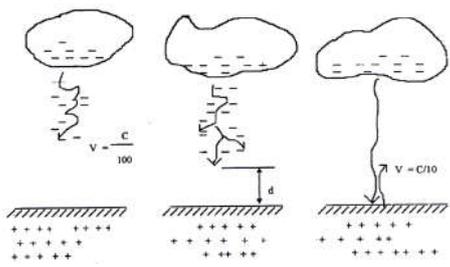
### A. Tegangan Lebih

Dalam pengoperasian system tenaga listrik perlu perhatian khusus pada system proteksi Terhadap tegangan lebih. Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang terbatas.

Tegangan lebih berdasarkan sumbernya, ditimbulkan oleh :

- 1) Tegangan lebih petir (*lightning over voltage*) pada peralatan listrik baik sambaran langsung, tidak langsung, maupun secara induksi.
- 2) Tegangan lebih surja hubung (*switching over voltage*) baik akibat operasi penutupan maupun operasi pembukaan saklar.
- 3) Tegangan lebih sementara (*temporary over voltage*) disebabkan gangguan disistem Untuk bentuk gelombang dari tegangan lebih akibat surja petir dan





Gambar 1. Pelepasan Muatan

surja hubung merupakan tegangan yang naik dalam waktu singkat sekali disusul dengan penurunan yang lebih lambat.

### B. Mekanisme Terjadinya Petir

Petir merupakan proses alam yang terjadi di atmosfer pada waktu hujan. Muatan akan terkonsentrasi di dalam awan atau bagian dari awan dan muatan yang berlawanan akan timbul pada permukaan tanah bawahnya. Jika muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah akan naik, maka kuat medan di udara pun akan naik. Jika kuat medan ini melebihi kuat medan di antara awan-awan tersebut maka akan terjadi pelepasan muatan (seperti pada gambar 1)

### C. Parameter Petir

Didalam parameter ini berfungsi untuk menghitung efek pengrusakan akibat sambaran petir, antara lain:

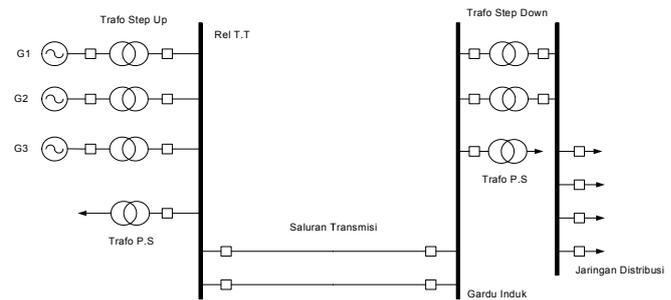
- 1) Arus puncak untuk menentukan jatuh Tegangan resistif, misalnya pada tahanan pentanahan.
- 2) Kecuraman kenaikan arus ( $\frac{di}{dt}$ ) menentukan tegangan jalan induktif, misalnya pada konduktor.
- 3) Muatan arus ( $Q = \int I dt$ ) merupakan ukuran energi arus petir sebagai arus loncatan petir ke logam

### D. Efek kedekatan dengan konduktor pentanahan.

Di saat konduktor pengangkal petir dilalui arus sambaran petir, sangatlah mungkin orang ataupun bangunan di sekitarnya akan diloncati oleh arus sambaran tersebut ini sangat membahayakan.

### E. Kepadatan sambaran petir

Dalam perencanaan pengaman terhadap sambaran petir, angka kepadatannya (frekuensi) harus ditinjau dulu, untuk menentukan mutu pengaman yang akan di pasang. Hal ini dapat diketahui dengan mempergunakan peta hari guruh per tahun. Kemudian mencari korelasinya dengan kepadatan sambaran petir



Gambar 2. Skema dasar untuk sebuah sistem tenaga listrik

ke tanah. Menentukan kepadatan sambaran petir dapat di peroleh dari hubungan empiris sebagai berikut:

$$F_t = 0,25 \cdot T \text{ sambaran/ Km}^2/\text{tahun}$$

Jumlah sambaran petir ke tanah hanya  $\pm 25\%$  dari seluruh pelepasan muatan yang terjadi di alam (awan-awan antar muatan di dalam awan, awan-tanah)

### F. Saluran Transmisi

Saluran Transmisi adalah salah satu bagian yang penting didalam sebuah sistem tenaga listrik. Saluran transmisi berperan dalam pengiriman tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menuju ke gardu-gardu induk transmisi, dimana dari gardu-gardu induk transmisi akan disalurkan ke beban melalui saluran distribusi. Tegangan kerja pada saluran transmisi merupakan tegangan tinggi misalnya: 70 kV, 150 kV, 500 kV, dst.

### G. Impedansi Saluran

Pada sistem tenaga listrik (gambar 2) ada beberapa parameter yang digunakan untuk menghitung atau mencari nilai dari impedansi ( $Z$ ) saluran, yaitu nilai resistansi ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ) dimana nilai dari reaktansi bisa didapat dari 2 parameter juga yaitu nilai kapasitansi dan induktansi. Oleh karena itu, impedansi dapat dijabarkan dalam persamaan 1.

$$Z = R + jX (\Omega) \quad (1)$$

Impedansi saluran terdiri dari:

#### 1) Resistansi Saluran

Resistansi merupakan nilai tahanan dari sebuah penghantar dan merupakan penyebab utama rugi-rugi daya pada saluran transmisi (lihat pada persamaan 2).

$$R = \frac{P (\text{Rugi - rugi daya dalam penghantar})}{(I)^2} \quad (2)$$

Rumus untuk mencari nilai resistansi dari suatu penghantar dirumuskan pada persamaan 3.

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \tag{3}$$

Dimana,  $\rho$  = resistivitas penghantar

$\ell$  = panjang  
 $A$  = luas penampang

2) *Reaktansi Saluran*

*Reaktansi saluran* yaitu nilai tahanan yang didapat dari nilai *induktansi* dan *kapasitansi* penghantar yang ada di saluran. Rumus untuk mencari nilai reaktansi dijelaskan pada persamaan 4 dan 5.

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L \tag{4}$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \pi f C} \tag{5}$$

Dimana,

$X_L$  = reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$f$  = frekuensi (Hz)

$X_C$  = reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$L$  = induktansi (H)

$\omega = 2 \pi f$  = kecepatan sudut

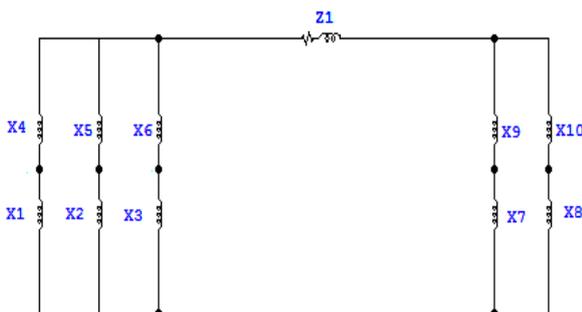
$C$  = kapasitansi (F)

H. *Diagram Segaris*

Didalam suatu sistem, tiga fasa jarang dipergunakan untuk menjelaskan suatu sistem karena itu suatu sistem tiga fasa selalu di selesaikan dengan rangkaian fasa tunggal. Dimana diambil salah satu fasa

I. *Diagram Impedansi dan Reaktansi*

Untuk menghitung sifat suatu sistem dalam keadaan berbeban atau pada saat timbulnya suatu hubung-singkat, diagram segaris harus diubah menjadi



Gambar 3. Skema diagram impedansi.

*diagram impedansi* (gambar 3) yang menunjukkan rangkaian setara masing-masing komponen sistem dengan berpedoman pada salah satu sisi yang sama pada transformator.

J. *Besaran per Unit*

Besaran per unit merupakan metode yang digunakan untuk mengubah satuan dari besaran-besaran seperti tegangan, arus, daya dan impedansi menjadi per unit (p.u). Nilai per unit tiap besaran biasanya dinyatakan sebagai suatu persen dan juga sebagai perbandingan besaran itu dengan nilai dasar yang telah ditentukan (dirumuskan dalam persamaan 6,7 dan 8).

$$\text{Satuan Per Unit (pu)} = \frac{\text{Nilai Sebenarnya}}{\text{Nilai Dasar}} \tag{6}$$

Rumus untuk Arus: 
$$\frac{\text{kVA}_{1\emptyset} \text{ dasar}}{\text{kV}_{LN}} \tag{7}$$

Rumus untuk Impedansi:

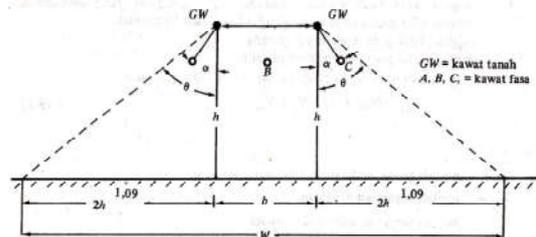
$$\frac{(\text{tegangan dasar kV}_{LN})^2 \times 1000}{\text{kVA}_{1\emptyset} \text{ dasar}} \tag{8}$$

Ada kalanya *impedansi* per unit suatu komponen dalam suatu sistem dinyatakan dengan dasar yang berbeda. Karena itu untuk mengubah impedansi per unit dengan suatu dasar yang telah diberikan ke *impedansi* per unit dengan dasar yang baru digunakan persamaan 9.

$$Z_{\text{baru}} = Z_{\text{lama}} (\text{pu}) = \left( \frac{\text{kV}_{\text{lama}} \text{ dasar}}{\text{kV}_{\text{baru}} \text{ dasar}} \right)^2 \left( \frac{\text{kV}_{\text{baru}} \text{ dasar}}{\text{kV}_{\text{lama}} \text{ dasar}} \right) \tag{9}$$

K. *Penangkapan Petir di Saluran Transmisi*

Suatu saluran transmisi di atas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik. Lebar bayang-bayang listrik untuk suatu saluran transmisi telah ditentukan oleh *Whitehead* (lihat gambar 4)



Gambar 4. Lebar jalur perisaian terhadap sambaran kilat

Dimana,

$b$  = jarak pemisah antara kedua kawat tanah, meter (bila kawat tanah hanya satu,  $b=0$ )

$h$  = tinggi rata-rata kawat tanah diatas tanah, meter

$h_i$  = tinggi kawat tanah pada menara, meter.

$L$  = Jumlah Sambaran Petir ke Bumi

Dalam perencanaan pengaman terhadap sambaran petir, angka kepadatannya harus ditinjau dulu, untuk menentukan mutu pengaman yang akan dipasang. Hal tersebut dapat diketahui dengan mempergunakan peta hari guruh pertahun (*Iso Keraunic Level*). Kemudian cari harga korelasinya dengan kepadatan petir ditanah. Semakin besar harga kepadatan sambaran petir pada suatu daerah, maka kegagalan perlindungan dari saluran transmisi atau gardu induk semakin besar. Banyak para penyelidik memberikan perhatian dengan memberikan rumus-rumus tersendiri. Untuk indonesia digunakan rumus (10) sebagaimana berikut ini:

$$N = 0,15 IKL \quad (10)$$

Dimana,

$N$  = Jumlah sambaran per km<sup>2</sup> per tahun

$IKL$  = Jumlah hari guruh per tahun

Untuk jumlah sambaran pada saluran transmisi sepanjang 100 km dibuat seperti pada persamaan 11.

$$N_L = N \times A \quad (11)$$

#### M. Kecepatan Rambat Gelombang

Suatu gelombang yang merambat dengan konstanta  $L$  dan  $C$  di sepanjang kawat, membuat gelombang tegangan dan arus merambat dengan dengan kecepatan yang sama. Selain itu, kecepatan rambat dari gelombang tersebut juga dipengaruhi oleh suatu faktor proporsional, yaitu karakteristik dari kawat yang dilalui. Maka didapat kecepatan rambat gelombang untuk kawat udara sebagaimana persamaan (12) berikut:

$$\begin{aligned} v &= 1/\sqrt{LC} = \frac{18 \ln 2h/r \cdot 10^{11}}{2 \ln 2h/r \cdot 10^{-9}} \\ &= 3 \times 10^{10} \text{ cm/detik} \\ &= 300 \text{ m}/\mu\text{det} \end{aligned} \quad (12)$$

Dimana,  $r$  merupakan jari-jari kawat dan  $h$  adalah tinggi kawat diatas tanah.

Dari persamaan diatas didapat nilai kecepatan rambat gelombang ( $v$ ) pada kawat udara ada sebesar 300 m/ $\mu$ det.

#### N. Impedansi Surja

*Impedansi surja* merupakan nilai *impedansi* yang didapat pada saat terjadi surja baik itu merupakan surja petir ataupun surja hubung. *Impedansi surja* juga dipengaruhi oleh konstanta  $L$  dan  $C$  yang merambat pada kawat penghantar, dimana kedua konstanta itu juga dipengaruhi oleh karakteristik dari kawat itu juga.

Impedansi surja untuk kawat udara adalah sebagaimana dapat dilihat dari persamaan (13) berikut:

$$z = \sqrt{L/C} = 60 \ln 2h/r \quad (\Omega) \quad (13)$$

Dimana :

$r$  = jari-jari kawat dan  $h$  adalah tinggi kawat diatas tanah.

#### 1). Tegangan Tembus Isolator Udara

Besaran tegangan yang timbul pada isolator transmisi tergantung pada kedua parameter petir, yaitu puncak dan kecuraman muka gelombang petir. Tidak semua sambaran petir dapat mengakibatkan lompatan api (*flashover*) pada isolator karena juga bergantung dari besar tegangan yang timbul dan tidak melebihi tegangan tembus pada isolator ( $U_{50\%}$ ). Rumus tegangan tembus isolator, dapat dilihat pada persamaan (14).

$$U_{50\%} = \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad (14)$$

Dimana,

$U_{50\%}$  = tegangan tembus isolator, kV

$K_1$  = 0,4 W

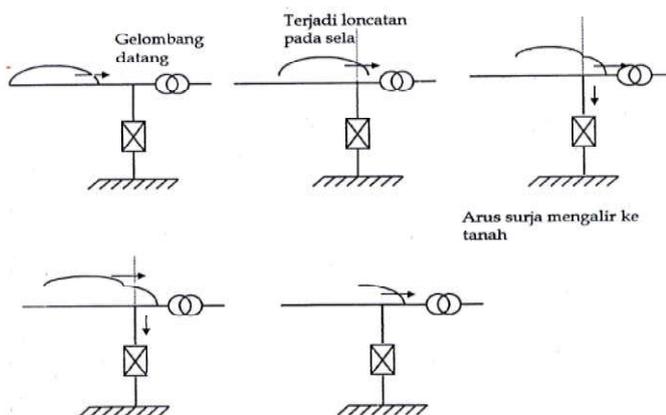
$K_2$  = 0,71 W

$W$  = panjang rentengan isolator, meter

$t$  = waktu tembus atau waktu lompatan api pada isolator,  $\mu$ det

#### 2). Prinsip Kerja Arester

Pada saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir, maka harga tahanan dari arester akan naik dengan cepat jika tegangan dan arus naik. Tegangan sisa (*Residual Voltage* atau tegangan yang timbul diantara terminal arester pada saat terjadinya tembus tegangan) akan dibatasi walaupun arus yang mengalir cukup besar. Sebelum tegangan terpa mencapai trafo, dalam waktu  $\pm 0,25 \mu$ det tegangan terpa akan mencapai harga tegangan kerja dari *arester*, sehingga arester bekerja. Tegangan terpa yang naik dengan cepat ini menyebabkan energi terpa di lepas ke tanah, dengan demikian tegangan terpa yang masuk ke peralatan yang dilindungi sudah tidak membahayakan sistem. Cara kerja *lightning arrester* dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5. Cara kerja *lightning arrester*.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Umum

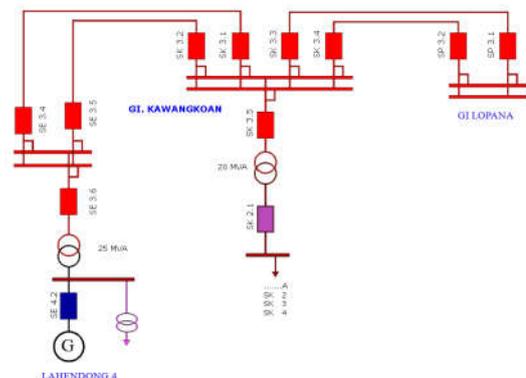
Gardu induk Kawangkoan dan gardu induk Lopana merupakan salah satu gardu induk yang termasuk dalam sistem Minahasa. Kedua Gardu induk ini dihubungkan oleh saluran transmisi dengan tegangan 150kV. Dimana, panjang saluran mencapai lebih dari 100 KM, didalam penyaluran daya antara kedua gardu induk ini seringkali mengalami gangguan dari luar, dan gangguan yang seringkali dialami yaitu gangguan yang disebabkan oleh petir. Hal ini terjadi, karena pengamanan dari surja petir untuk saluran transmisi ini sudah terpasang tapi, perlu di kaji kembali.

Oleh karena itu arus surja yang sebabkan oleh petir yang sangat besar itu tidak dapat diamankan, sehingga akan menuju ke gardu induk dan dapat menyambar peralatan-peralatan yang ada. Maka didalam mengamankan semua peralatan-peralatan baik yang ada di jaringan transmisi maupun yang ada di gardu induk, diperlukan *lightning arrester*. Didalam menentukan arrester yang tepat untuk digunakan, maka harus di perhatikan kinerja dari *aresternya*. Didalam penentuan kinerja dari *arrester* tersebut maka diperlukan analisa sistem untuk mengetahui rating yang cocok untuk digunakan dalam saluran transmisi ini. Berikut ini (gambar 6) adalah diagram segaris dalam menganalisa kinerja dari arrester:

### B. Data Teknis

Data yang di dapat dari penelitian adalah:

- 1) Data teknis saluran transmisi, meliputi data panjang saluran, dan arus Nominal serta jumlah tower dari saluran untuk Tragi Lopana.

Gambar 6. Diagram segaris sub transmisi untuk penentuan Kinerja *Arrester*

- 2) Data *Thunderstorm* atau hari guruh pada tahun 2014. Data ini diambil dari stasiun geofisika Manado. Dapat dilihat pada lampiran.
- 3) Data untuk menentukan tegangan kerja ( $U_C$ ) dari *arrester* dan kecuraman dari gelombang datag ( $du/dt$ )
- 4) Data untuk menentukan Tingkat Isolasi Dasar (TID) / *Basic Insulation Level (BIL)* peralatan yang dilindungi. Didalam hal ini peralatan yang dilindungi adalah trafo.

## III. HASIL

### A. Penentuan Jumlah Sambaran Petir di Saluran transmisi 150 kV GI Kawangkoan-Lopana

Dalam menentukan jumlah atau banyaknya sambaran petir yang terjadi di saluran transmisi 150 kV GI Kawangkoan-Lopana, maka diperlukan beberapa data atau parameter-parameter yang digunakan untuk menghitungnya. Diantaranya adalah luas bayang-bayang listrik, dan jumlah hari guruh per tahun atau IKL (*Iso Keraunic Level*).

#### 1). Luas bayang-bayang listrik ( $A$ )

Untuk perhitungan luas bayang-bayang listrik di saluran transmisi 150 kV Kawangkoan-Lopana dengan menggunakan persamaan 2.21

$$A = 0,017 (b + 4h^{1,09}) \text{ km}^2 \text{ per 17 km saluran}$$

Dimana :  $b = 0$  (untuk satu kawat tanah)

$h$  = tinggi rata-rata kawat tanah diatas tanah. Untuk keadaan *geometris* lintasan saluran transmisi Kawangkoan – Lopan merupakan lintasan jenis tanah berbukit  $h = 2h_t$ , dimana  $h_t$

$$= 28,5 \text{ meter (sesuai lampiran).}$$

$$h = 2h_t$$

$$= 2(28,5)$$

$$= 57 \text{ meter.}$$

Maka,

$$A = 0,017 (0 + 4 \cdot 57^{1,09}) \text{ km}^2 \text{ per } 17 \text{ km}$$

saluran

$$= 0,017 (4 \cdot 82,01)$$

$$= 0,017 (328,06)$$

$$= 5,57 \text{ km}^2 \text{ per } 17 \text{ km saluran}$$

2). Jumlah sambaran petir ( $N_L$ ) pada saluran transmisi perhitungan jumlah sambaran petir ( $N_L$ ) pada saluran transmisi 150 kV Kawangkoan-Lopana diperlukan data *thunderstorm* atau hari guruh maka banyaknya jumlah hari guruh atau IKL (*Iso Ceramic Level*) diperoleh berdasarkan data hari guruh pada tahun 2014 (sesuai lampiran) maka nilai IKL = 95. Nilai ini didapat dari :

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| - Bulan Januari   | : 9 kali                   |
| - Bulan Februari  | : 7 kali                   |
| - Bulan Maret     | : 5 kali                   |
| - Bulan April     | : 7 kali                   |
| - Bulan Mei       | : 10 kali                  |
| - Bulan Juni      | : 6 kali                   |
| - Bulan Juli      | : 4 kali                   |
| - Bulan Agustus   | : 4 kali                   |
| - Bulan September | : 14 kali                  |
| - Bulan Oktober   | : 8 kali                   |
| - Bulan November  | : 14 kali                  |
| - Bulan Desember  | : 7 kali                   |
| TOTAL             | : 95 kali dalam tahun 2014 |

Dengan menggunakan persamaan

$$N_L = N \times A$$

$N_L$  = Jumlah sambaran per km<sup>2</sup> per tahun

$$A = \text{Total hari guruh}$$

$$= (0,15 \times 95)(5,57)$$

$$= (14,25)(5,57)$$

$$= 79,37 \text{ kali sambaran per } 17 \text{ km per tahun}$$

Saluran transmisi Kawangkoan-Lopana 150 kV menggunakan kawat jenis ASCR (sesuai lampiran). Berdasarkan table 3.6 maka diameter kawat tersebut adalah : Jari-jari kawat =  $17,1 / 2 = 8,55 \text{ mm} = 8,55 \times 10^{-3} \text{ m}$

Dengan menggunakan pada 2.14 maka diperoleh impedansi surja

$$z = \sqrt{L/C} = 60 \ln 2h/r \text{ } (\Omega)$$

$$= 60 \ln 2(28,5) / 8,55 \times 10^{-3}$$

$$= 60 \ln 57/8,55 \times 10^{-3}$$

$$= 60 \ln 6666,667$$

$$= 60 \cdot 8,$$

$$= 528 \Omega$$

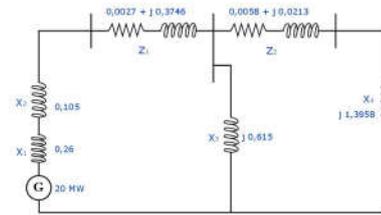
### 3). Tegangan Tembus Isolator Udara

Tegangan tembus *Isolator* dapat di peroleh dengan menggunakan persamaan 2.15 Dimana,

:  $W$  = panjang rentangan *isolator* untuk tegangan 150 kV

$$0,886 \text{ meter (lampiran)}$$

$$K_1 = 0,4 \times W = 0,4 \times 0,886 = 0,35$$



Gambar 7. Rangkaian pengganti berdasarkan gambar

$$K_2 = 0,7 \times W = 0,7 \times 0,886 = 0,6$$

$t$  = tegangan yang dihitung berdasarkan waktu muka gelombang, 1,2  $\mu$ det

Sehingga di peroleh,  $U_{50\%} = \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV}$

$$= \left( 0,35 + \frac{0,62}{1,2^{0,75}} \right) \times 10^3$$

$$= \left( 0,35 + \frac{0,62}{1,14} \right) \times 10^3$$

$$= (0,35 + 0,544) \times 10^3$$

$$= 894 \text{ kV}$$

### B. Parameter Sistem

Penentuan nilai pengenalan dari arester, diperlukan analisa sistem untuk mendapatkan nilai impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol dari sistem tersebut. Sistem yang di analisa adalah bagian sistem minahasa yang dilakukan pengamatan yakni dari Gardu Induk Kawangkoan samapai Gardu Induk Lopana. Dimana didalam sistem ini terdapat beberapa parameter yang diperlukan untuk menganalisa, yaitu Gardu Induk Kawangkoan, *Inter Bus* dan Gardu Induk Lopana. Gambar 7 adalah rangkaian pengganti.

### C. Analisis kinerja Arester dan Penentuan Pengenal / Rating Arrester.

Penentuan pengenalan/ *rating arrester* umumnya hanya pengenalan tegangan, namun dalam tugas akhir ini untuk Analisa kinerja Arrester dan pengenalan/ *rating* dari arester diperlukan 4 hal untuk menentukan arester yang ekonomis dan efektif dan digunakan pada saluran transmisi 150 kV antara GI Kawangkoan dan GI Lopana. Berdasarkan analisa sistem, didapatkan nilai impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol sebagai berikut :

$$Z_{eq} \text{ urutan positif} = 0,00190 + j0,00981\Omega$$

$$Z_{eq} \text{ urutan nol} = 0,028 + j0,17\Omega$$

Dari persamaan 2.1 kita bisa jabarkan kedua *impedansi* itu untuk menentukan nilai *resistansi* dan reaktansinya.

$$Z = R + jX \Omega$$

$$Z_{eq} \text{ urutan positif} = 0,00190 + j0,00981\Omega ;$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,00190 \Omega \\ X_1 &= j0,00981\Omega \\ Z_{eq} \text{ urutan nol} &= 0,028 + j0,17\Omega \\ R_0 &= 0,028\Omega \\ X_0 &= j0,17 \Omega \end{aligned}$$

#### D. Arus pelepasan/ arus kerja arrester ( $I_A$ )

Dalam penentuan arus pelepasan/ arus kerja dari arrester, maka diperlukan beberapa parameter yang digunakan diantaranya tegangan gelombang datang ( $U_d$ ), tegangan pelepasan/ tegangan kerja ( $U_A$ ) arrester dan impedansi surja ( $z$ ). Untuk tegangan gelombang datang diambil nilai tegangan tembus isolator ( $U_{50\%}$ ), karena tegangan yang muncul dari tegangan tembus isolator akan sama dengan tegangan kawat penghantar sehingga tegangan dari kawat juga merupakan tegangan gelombang yang datang.

Dimana,

$$U_d = 894 \text{ kV (berdasarkan tegangan tembus isolator } U_{50\%})$$

$$U_A = 208,79 \text{ kV}$$

$$z = 528 \Omega$$

maka,

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{2 U_d - U_A}{z} \text{ kA} \\ &= \frac{2(894) - 208,79}{528} \\ &= \frac{1788 - 208,79}{528} \\ &= \frac{1579,21}{528} = 2,99 \text{ kA} \end{aligned}$$

#### E. Faktor perlindungan (Protection Margin)

Seperti yang telah dijelaskan pada landasan teori dimana, Faktor perlindungan adalah besar perbedaan tegangan antara BIL dari peralatan yang dilindungi dengan tegangan kerja dari arrester, dan pada umumnya besar faktor perlindungan adalah 20% jika kurang dari 20% berarti tidak bekerja maksimal.  $FP = BIL \text{ peralatan} - \text{Tingkat perlindungan arrester}$

Dimana,

- Tingkat perlindungan *arrester* =  $U_A + 10\%$  ( panjang kawat + toleransi pabrik)  
=  $208,79 \times 1,1$   
=  $229,6 \text{ kV}$
- Tingkat *Isolasi* Dasar (TID) berdasarkan peralatan yang dilindungi yaitu *transformator* 325 kV

Maka,

$$\begin{aligned} FP &= 325 - 229,6 \\ &= 95,4 \\ &= 95,4/325 \\ &= 0,29 = 29 \% \end{aligned}$$

Sehingga, untuk kinerja dari *arrester* sendiri sudah baik karena dari hasil di dapat *arrester* bekerja secara maksimal

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa dan pembahasan diperoleh kesimpulan adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk jumlah sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV Kawangkoan - Lopana pada tahun 2014 berdasarkan data hari guruh di dapatkan jumlah sambaran sebesar 95 kali dalam tahun 2014 kali dalam setahun.
- 2) Dari hasil penyederhaan rangkaian pengganti *impedansi* untuk urutan positif dan nol di dapat:  
 $Z_{eq} \text{ urutan positif} = 0,00190 + j0,00981\Omega$   
 $Z_{eq} \text{ urutan nol} = 0,028 + j0,17\Omega$
- 3) Kinerja dari *arrester* sendiri sudah tergolong maksimal untuk lingkup Kawangkoan - Lopana.

### B. Saran

- 1) Dari hasil analisa dan pembahasan untuk kinerja *Arrester* pada saluran transmisi 150 kV Kawangkoan - Lopana, kiranya dapat digunakan sebagai referensi untuk jenis arrester.
- 2) Untuk kedepannya kiranya bisa dikembangkan lagi penelitian untuk saluran transmisi 150 kV.
- 3) Perlu di pelajari lebih mendalam dalam Analisa sistem tenaga listrik dan proteksi.
- 4) Untuk pengembangan penelitian ini kiranya dapat diaplikasikan pada jaringan transmisi yang lain.

## KUTIPAN

- [1] D. Marsudi. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit & HUMAS ISTN, Jakarta, 1990.
- [2] G. Darwanto Dr. *Konsep Dasar Sistem penangkal Petir Eksternal & Internal Terintegrasi*, ITB, Bandung.
- [3] G. Paul, *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing*, Florida.

- [4] H.R.Zoro. *Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung.
- [5] Paraisu Misael, *Analisa Rating Lightning Arrester Pada Jaringan Transmisi 70 kV Tomohon-Teling*, Manado, 2013.
- [6] PLN 7\_1978, *Pedoman Pemilihan Tingkat Isolasi Transformator Dan Penangkal Petir*.
- [7] RE. James and Q. Su, *Condition Assement of hight voltage Insulation in power equipment*, London, 2008.
- [8] SPLN 41-7\_1981, *Hantaran Aluminium Berpenguat Baja (ACSR)*.
- [9] T. Kawengian. *Analisa Perbandingan Perbandingan Perhitungan Aliran Daya Sistem Minahasa Dengan Metode Gaus Seidel, Newton-Raphson dan Fast Decoupled*. Manado, 2014.
- [10] T.S. Hutauruk. *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja* , Penerbit Erlangga, Jakarta, 1991.



**Maruli Ch. M. Barasa** lahir Mei 1992 pada tahun 2009 memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2011. Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT MSM dan Toka Tindung Likupang dari tanggal 9 Agustus 2014 dan selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado 31 Agustus 2016, minat penelitiannya adalah tentang Analisis Kinerja Lightning Arester pada jaringan Transmisi 150 kV Sistem Minahasa Khususnya pada penyulang Kawangkoan – Lopana.