

Penggunaan Metode *Rolling Sphere* untuk Pengamanan Jaringan 150 kV dari Sambaran Petir Langsung

^{1*} Irrine Budi Sulistiawati, ² M Zaid Sahlan Shaufi, ³ I Made Wartana

^{1,2,3} Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang

¹irrine@lecturer.itn.ac.id, ²muhammad.zaid1416@gmail.com

Article Info

Article history:

Received January 20th, 2023

Revised January 28th, 2023

Accepted February 6th, 2023

Keyword:

Substation

Lightning

Lightning Mast

Rolling Sphere Method

Ground Wire

ABSTRACT

Lightning strikes can cause protection failure at substations such as equipment damage at substations due to insulation failure or what is known as flashover. Because of that, a lightning strike protection system is needed to minimize the occurrence of direct lightning strikes to equipment and buses at the substation. This study discusses the modeling of the protection of the substation from direct lightning strikes using the rolling sphere method at the Wonosari-pedan 150 kV substation using lightning rod poles. The calculation results show that with the configuration of a lightning rod as high as 21 m and the use of a ground wire of 17.8 m it meets the safe criteria for the height of the protected area in the case study of this research.

Copyright © 2023 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Irrine Budi Sulistiawati,

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang

Jl. Sigura - Gura No.2, Sumbarsari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152

Email: irrine@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Sambaran petir dapat mengakibatkan kegagalan perlindungan pada gardu induk seperti terjadinya kerusakan peralatan pada gardu induk akibat kegagalan isolasi atau yang dikenal dengan istilah flashover. Karena itu diperlukan sistem proteksi sambaran petir untuk meminimalisir terjadinya sambaran petir langsung ke peralatan dan bus pada gardu induk. Penelitian ini membahas mengenai pemodelan perlindungan gardu induk dari sambaran petir langsung menggunakan metode rolling sphere pada Gardu Induk 150 kV wonosari-pedan menggunakan tiang penangkal petir. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan konfigurasi tiang penangkal petir setinggi 21 m dan pemakaian kawat tanah 17,8 m memenuhi kriteria aman untuk tinggi daerah yang dilindungi pada studi kasus penelitian ini.

I. Pendahuluan

Sistem perlindungan gardu induk dari sambaran petir merupakan hal yang sangat penting bagi sistem kelistrikan, dimana gardu induk terdapat peralatan listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya. Untuk menjaga agar peralatan pada gardu induk terhindar dari kerusakan akibat sambaran petir, maka digunakan sistem perlindungan. Sistem perlindungan yang digunakan yaitu shielding tiang penangkal (mast) dan shielding kawat pentanahan / ground steel wire (GSW) [1]. Pada saat pendistribusian daya dari suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan keandalan pada gardu induk dalam menahan tegangan lebih yang berasal dari sambaran petir langsung yang langsung menuju gardu induk. Hal tersebut memungkinkan terjadinya gangguan arus lebih akibat sambaran petir yang besar pada gardu induk. Gangguan yang disebabkan arus lebih pada gardu induk dapat menyebabkan kerugian pada sistem transmisi maupun kerugian pada konsumen.

Fenomena Petir adalah sebuah puncak di mana muatan terkumpul di dalam awan ke sebuah awan yang berdekatan yang melepaskan muatan ke tanah (ground). Dampak dari sambaran petir yang terjadi sangat singkat dapat berupa kabakaran, kerusakan isolasi, bahkan kematian, sedangkan dampak yang tidak langsung

bisa berupa kerusakan pada peralatan elektronik instrumentasi, kontrol dan komunikasi . Adanya kerusakan akibat dari sambaran petir, maka munculah berbagai usaha agar mengatasi bahaya yang disebabkan sambaran petir berupa sistem proteksi petir [2].

Arus dari sambaran petir langsung yang terjadi diamankan dengan cara menyalurkan arus petir ke tanah dan dihilangkan arusnya dengan waktu yang singkat dengan syarat penyaluran arus petir ini harus ditunjang dengan sistem isolasi dan pentanahan yang baik. Jadi pada saat dilewati arus petir tidak terjadi kebocoran yang dapat menyebabkan kecelakaan. [3]

Sistem Proteksi Petir (SPP) bertujuan untuk melindungi bangunan dari sambaran petir langsung maupun sambaran petir tidak langsung. Sistem proteksi terhadap sambaran petir secara umum terbagi atas dua bagian, yaitu sistem proteksi internal dan sistem proteksi eksternal. Sistem proteksi internal petir merupakan instalasi alat-alat proteksi yang dipasang untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan listrik dan elektronik dari bahaya gelombang petir dan radiasi elektromagnetik akibat sambaran petir.

Pada sistem proteksi petir eksternal ada beberapa metode yang digunakan salah satu nya yaitu metode Rolling Sphere. Metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius (S) yang bergulir di atas tanah, ke atas struktur bangunan, ke sekeliling struktur bangunan serta ke segala arah hingga bertemu dengan tanah kembali atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur merupakan titik yang dapat disambar oleh petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua jenis petir yang berjarak radius (S) dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan, besarnya radius (S) tersebut berhubungan dengan besar arus petir. Metode rolling sphere mempunyai beberapa parameter, yaitu jarak sambar, distribusi arus puncak, dan daerah lindung.[4]

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian yang dilakukan I Gd A. Widya W. S (2016) dengan judul penelitian Pemodelan dan Analisa Perlindungan Gardu Induk dari Sambaran Petir Langsung di PT.PLN (Persero) Gardu Induk 150kV Sukolilo-Surabaya Menggunakan Perangkat Lunak EMT-RV. Dalam simulasi tersebut menggunakan perangkat lunak EMTP-RV (ElectroMagnetic Transien Program – Restructured Version) untuk mensimulasikan koordinasi isolasi gardu induk 150kV Sukolilo-Surabaya terhadap sambaran petir untuk mengetahui tegangan maksimum pada salah satu saluran transmisi tersebut.

A. *Shielding Gardu Induk Dengan Tiang Penangkal*

Sistem perlindungan menggunakan arrester harus melindungi gardu induk yang disebabkan oleh sambaran petir langsung sepanjang saluran transmisi. Namun, untuk melindungi peralatan dari sambaran petir, sistem perlindungan harus dirancang menggunakan tiang penangkal. Perlu diperhatikan bahwa jumlah tiang yang digunakan harus sesuai dengan ukuran gardu induk. Hal ini untuk memastikan ketinggian minimum dari tiang penangkal.

B. *Sambaran Langsung Pada Gardu Induk*

Sambaran langsung pada gardu induk dapat mengakibatkan kerusakan peralatan pada gardu induk, sehingga pelayanan daya dapat terhenti dalam waktu lama. Untuk menghindari hal tersebut maka gardu induk memerlukan :

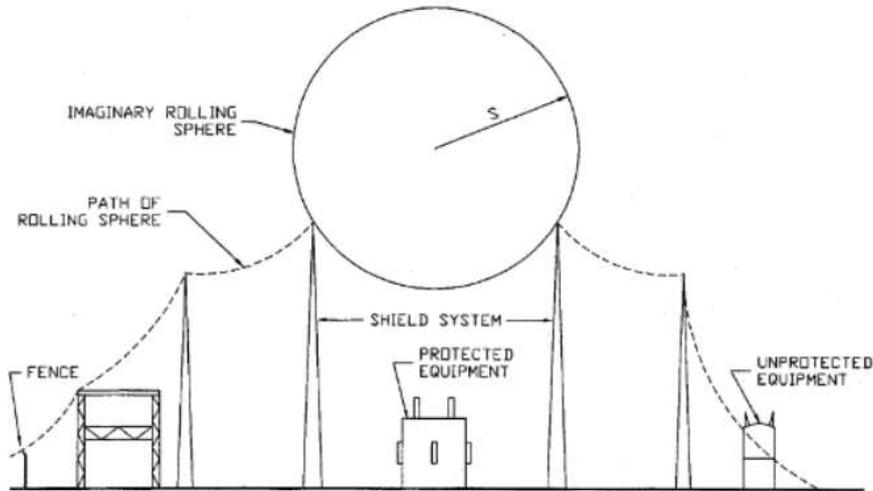
- 1) Kawat tanah atau tiang penangkal petir yang berfungsi agar menerima sambaran petir atau menarik petir.
- 2) Kawat penghantar atau bagian dari konstruksi dengan impedansi rendah yang berfungsi menyalurkan pelepasan muatan dari petir ke tanah.
- 3) Tahanan tanah yang rendah.

II. Metode Penelitian

A. *Metode*

Metode yang digunakan yaitu metode Rolling sphere. Metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius (S) yang bergulir di atas tanah, ke atas struktur bangunan, ke sekeliling struktur bangunan serta ke segala arah hingga bertemu dengan tanah kembali. Titik sentuh bola bergulir pada struktur merupakan titik yang dapat disambar oleh petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara.

Semua jenis petir yang berjarak radius (S) dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan, besarnya radius (S) tersebut berhubungan dengan besar arus petir. Metode rolling sphere mempunyai beberapa parameter, yaitu jarak sambar, distribusi arus puncak, dan daerah lindung. yang dapat dilihat dalam (gambar 1).



Gambar 1. Perlindungan dengan metode Rolling Sphere

B. Langkah-langkah Penelitian

- 1) Menentukan nilai radius korona (R_c)

Korona merupakan suatu fenomena yang terjadi pada saat udara di sekitar konduktor atau penghantar terionisasi. Dari proses tersebut terjadilah pelepasan muatan yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi pada udara.[5]

- 2) Menentukan Impedansi Surja dengan korona (Z_w)

Impedansi surja merupakan gelombang surja petir yang merambat pada kawat penghantar akan melewati impedansi kawat penghantar yang dialirinya.

- 3) Menghitung arus sambaran kritis (I_s)

- 4) Menghitung Jarak Sambaran Petir (S)

Jarak sambaran petir merupakan sphere radius wilayah yang akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan.

- 5) Menentukan tinggi optimum tiang penangkal petir dan jarak antar dua kawat tanah.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Profil Gardu Induk 150 kV Wonosari

Gardu induk yang dianalisis terhadap sambaran petir langsung adalah gardu induk 150 kV Wonosari - Pedan. Untuk perlindungan terhadap sambaran petir langsung, gardu induk ini menggunakan kawat tanah yang dipasang di atas kuncup serandang dengan ketinggian 17,8 m. Data yang diambil untuk menentukan perlindungan adalah gardu induk 150 kV Wonosari - Pedan dari sambaran petir langsung dengan metode *rolling sphere* adalah:

Tabel 1. Data Gardu Induk 150 kV Wonosari Pedan

Data Profil Gardu Induk 150 kV Wonosari Pedan		
V	Tegangan Nominal	150 kV
V_c	Basic insulation level (BIL)	650 kV
D	Diameter konduktor fasa	33,3 mm
h	Tinggi konduktor fasa	12,5 m
r	Konduktor radius	0,017 m
H	Tinggi Kawat Tanah	17,8
d	Jarak antara kawat tanah	24 m

B. *Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Tiang Penangkal Petir*

Untuk perlindungan menggunakan Tiang penangkal Petir :

1) Menentukan nilai radius korona dari konduktor (R_c)

Dengan persamaan dapat dihitung besarnya nilai radius korona dari konduktor.

$$R^c = \ln\left(\frac{2 \times h}{R^c}\right) - \frac{V_c}{E_0} \tag{1}$$

dimana :

R^c = radius korona (meter)

h = tinggi rata-rata dari konduktor (meter)

V_c = BIL untuk post insulator (kV)

E_0 = Batas gradien korona, besarnya sama dengan 1500 kV/m

Dengan menggunakan iterasi Newton-Raphson, persamaan tersebut berubah menjadi :

$$R_c \approx 1,2 \times 10^{-4} \times V_c \tag{2}$$

$$R_c \approx 1,2 \times 10^{-4} \times 650$$

$$R_c \approx 0,078 \text{ meter}$$

2) Menentukan impedansi surja (Z_s)

Dengan tinggi konduktor (h) yang nilainya 12,5 meter, radius dari konduktor (r) 0,017 meter dan nilai R_c yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya adalah 0,078 meter maka besarnya impedansi surja dari konduktor dengan korona dapat dihitung dengan persamaan (3)

$$Z_s = 60 \sqrt{\ln\left(\frac{2 \times h}{R_c}\right) \times \ln\left(\frac{2 \times h}{r}\right)} \tag{3}$$

$$= 60 \sqrt{\ln\left(\frac{2 \times 12,5}{0,078}\right) \times \ln\left(\frac{2 \times 12,5}{0,017}\right)}$$

$$= 389,2 \text{ ohm}$$

Jadi besar impedansi surja dari konduktor adalah 389,2 ohm

3) Menghitung arus sambaran kritis (I_s)

Dimana BIL untuk gardu induk 150 kV = 650 kV, dengan menggunakan persamaan (4).

$$I_s = 2,2 \times \frac{BIL}{Z_s} \tag{4}$$

$$I_s = 2,2 \times \frac{650}{389,2} = 3,67 \text{ kA}$$

4) Menghitung jarak sambaran (S)

Jarak sambaran yang akan menjadi sphere radius dengan menggunakan persamaan (5), (IEEE 998-1996)

$$S = 8 \cdot k \cdot I_s^{0,65} \tag{5}$$

dimana nilai k = 1,2 untuk tiang penangkal petir

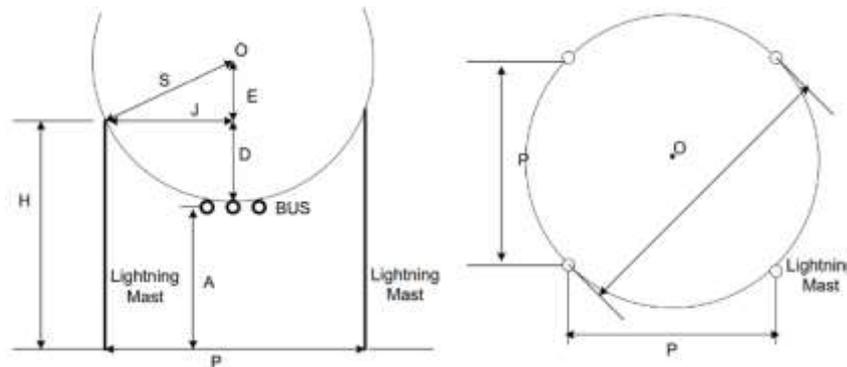
$$S = 8 \times 1,2 \times 3,67^{0,65} = 22,36 \text{ m}$$

5) Perhitungan tinggi tiang penangkal petir

Dengan persamaan (6), (7), (8), (9) dan (10) dapat dihihitng nilai P dimana P adalah jarak horisontal maksimum dari tiang ke sebuah objek yang dilindungi dengan tinggi A, dari sambaran petir langsung. Berdasarkan data didapat bahwa tinggi objek yang akan dilindungi adalah 12,5 m yang merupakan tinggi konduktor. Sebagai catatan ketika mendesain perlindungan terhadap sambaran petir langsung pada gardu induk direkomendasikan didasarkan pada parameter dari tiang tertinggi yaitu 30 m.

$$H = 30 \text{ m}$$

$$A = 12,5 \text{ m (tinggi objek yang dilindungi)}$$



Gambar 2. Proteksi dengan dua tiang penangkal petir

$$D = H - A \tag{6}$$

$$D = 30 - 12,5 = 17,5$$

$$E = S - D \tag{7}$$

$$E = 22,36 - 17,5 = 4,86 \text{ m}$$

$$J = \sqrt{S^2 - E^2} \tag{8}$$

$$J = \sqrt{22,36^2 - 4,86^2} = 21,8 \text{ m}$$

$$K = 2 \cdot J \tag{9}$$

$$K = 2 \times 21,8 = 43,6 \text{ m}$$

$$P = \frac{K}{\sqrt{2}} \tag{10}$$

$$P = \frac{43,6}{\sqrt{2}} = 30,8 \text{ m}$$

Dimana : Semua satuan dalam meter

D = Perbedaan elevasi antara tiang penangkal petir dan bus

E = Perbedaan elevasi antara tiang penangkal petir dan OOS

J = Jarak horisontal antara OOS dan tiang penangkal petir

K = Jarak diagonal antara tiang penangkal petir

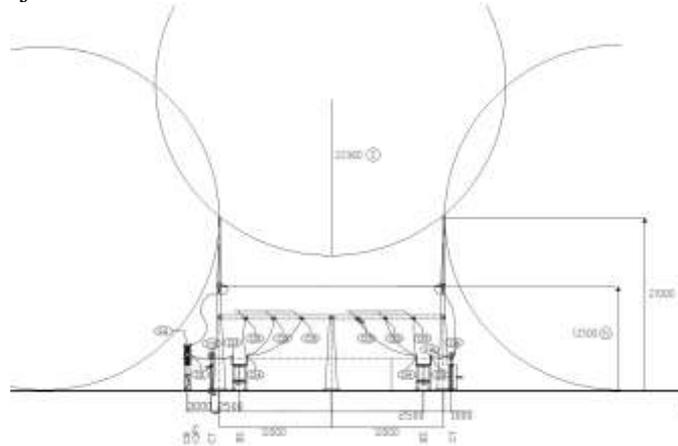
P = Jarak antara tiang penangkal petir

Tabel 2. Jarak Pisah Maksimum Untuk Penggunaan Tiang Penangkal Petir Dengan bus 12,5 m dengan Jarak Sambaran 22,36 m

Tinggi Tiang (meter)	Jarak tiang (meter)	
	Jarak Antar Tiang	Jarak Diagonal
19	21,48	30,38
20	22,90	32,39
21	24,05	34,16
22	25,26	35,73
23	26,25	37,13
24	27,13	38,37
25	27,91	39,47
26	28,60	40,45
27	29,20	41,30
28	29,73	42,04
29	30,08	42,48
30	30,80	43,66

Untuk menentukan tinggi tiang penangkal petir yang optimum maka dilakukan perhitungan dengan mencoba menentukan jarak maksimum pada berbagai tinggi tiang penangkal petir yang ditunjukkan pada tabel 2.

Hasil perhitungan untuk jarak pisah maksimum tiang penangkal petir dari berbagai ketinggian tiang penangkal petir dengan tinggi bus (A) = 12,5 m dan jarak sambaran (S) = 22,36 meter, dengan daerah yang ingin dilindungi pada section maksimumnya adalah 24 m maka berdasarkan tabel diatas, tinggi tiang yang optimum digunakan untuk jarak tersebut adalah 21 m.



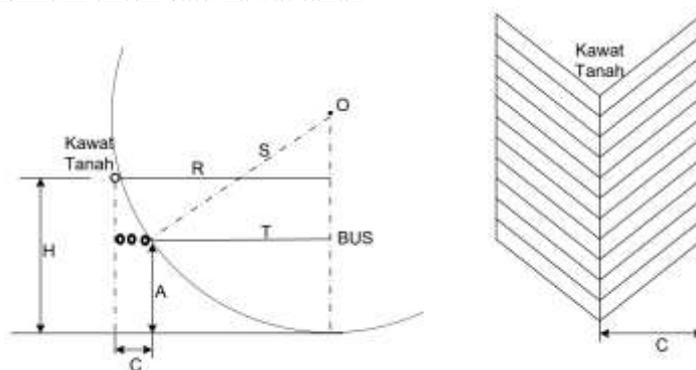
Gambar 3. Perlindungan gardu induk dengan tiang penangkal petir

Gambar diatas menunjukkan salah satu lay out section yang dilindungi dengan tiang penangkal petir setinggi 21 m dengan S = 22,36 m menggunakan metode *rolling sphere*.

C. Perlindungan Gardu Induk Menggunakan Kawat Tanah

Untuk perlindungan menggunakan kawat tanah :

- 1) Menentukan nilai impedansi surja (Z_s) dimana nilai ini dapat diambil dari perhitungan dengan persamaan (3) dengan $Z_s = 389,2$ ohm.
- 2) Menghitung arus sambaran kritis (I_s) dimana $BIL = 650$ kV
 Dengan persamaan (4) dapat dihitung arus sambaran kritisnya yang mana telah dihitung pada saat menentukan arus sambaran kritis dengan perlindungan tiang penangkal petir. Didapatkan $I_s = 3,67$ kA
- 3) Menghitung jarak sambaran (S) yang akan menjadi sphere radius, menghitung sphere radius menggunakan persamaan (5), (IEEE 998-1996)
 $S = 8 \cdot k \cdot I_s^{0,65}$
 Dimana nilai k = 1,0 untuk kawat tanah
 $S = 8 \times 1 \times 3,67^{0,65} = 18,63$ m
- 4) Jarak horisontal maksimum untuk satu kawat tanah



Gambar 4. Proteksi satu kawat tanah

Untuk menghitung jarak horisontal maksimum satu kawat tanah dengan menggunakan persamaan (11), (12) dan (13) seperti berikut:

H = 17,8 m (tinggi kuncup dari gardu induk)

A = 12,5m

$$R = \sqrt{S^2 - (S - H)^2} \tag{11}$$

$$R = \sqrt{18,63^2 - (18,63 - 17,8)^2}$$

$$R = 18,64 \text{ m}$$

$$T = \sqrt{S^2 - (S - A)^2} \tag{12}$$

$$T = \sqrt{18,63^2 - (18,63 - 12,5)^2}$$

$$T = 17,6 \text{ m}$$

$$C = R - T \tag{13}$$

$$C = 18,62 - 17,6 = 1,0 \text{ m}$$

Dimana :

Semua satuan dalam meter

S = radius bola

H = Tinggi kawat tanah

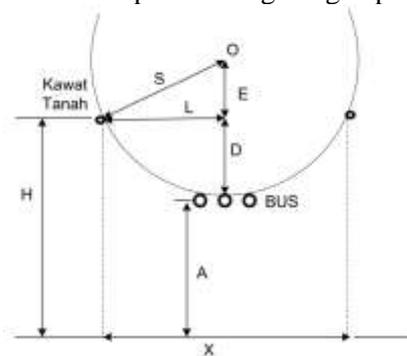
A = Tinggi bus

R = Jarak horisontal antara OOS dan kawat tanah

T = Jarak horisontal antara OOS dan bus

C = Jarak horisontal antara kawat tanah dan bus

- 5) Jarak maksimum antara dua kawat tanah dapat dihitung dengan persamaan (14), (15), (16) dan (17)



Gambar 4. Proteksi Dua Kawat Tanah

$$D = H - A \tag{14}$$

$$D = 17,8 - 12,5 = 5,3 \text{ m}$$

$$E = S - D \tag{15}$$

$$E = 18,63 - 5,3 = 13,3$$

$$L = \sqrt{S^2 - E^2} \tag{16}$$

$$L = \sqrt{18,63^2 - 13,3^2} = 13 \text{ m}$$

$$X = 2 \times L \tag{17}$$

$$X = 2 \times 13 = 26 \text{ m}$$

Dimana

Semua satuan dalam meter

D = Jarak elevasi antara kawat tanah dan bus

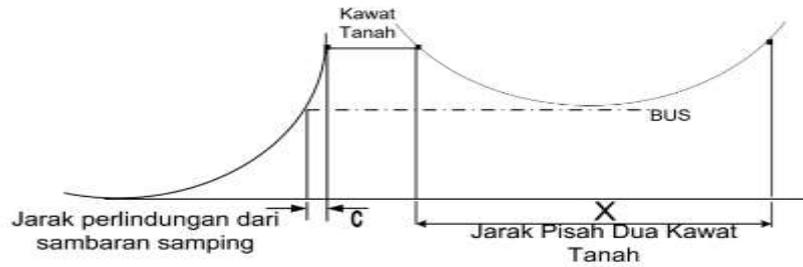
H = Tinggi kawat tanah

A = Tinggi bus S = radius bola

E = Perbedaan elevasi antara kawat tanah dan OOS

L = Setengah dari jarak antara dua kawat tanah

X = jarak maksimum antara dua kawat tanah



Gambar. 5. Jarak perlindungan dengan satu dan dua kawat tanah

Tabel 3. Jarak Kawat Tanah

Jarak Pisah Maksimum Kawat Tanah	
Jarak	Jarak Pisah Maksimum Kawat Tanah
C	1,0 m
X	26,0 m

Penempatan kawat tanah pada gardu induk terlihat bahwa:

Pada gardu induk yang di pasang kawat tanah setinggi 17,8 dengan jarak pisah antara dua kawat tanah yaitu 12 m. jarak pisah maksimum untuk dua kawat tanah pada perhitungan yaitu 26 m sehingga gardu induk terlindungi.

Dengan kondisi existing pada gardu induk 150 kV Wonosari- Pedan dimana tinggi kawat tanah adalah 17,8 m dengan jarak pisah antar dua kawat tanah adalah 12 m maka gardu induk tersebut aman dari sambaran petir langsung apabila dilakukan analisa perlindungan dengan metode *Rolling Sphere*.

IV. Kesimpulan

Bedasarkan analisa yang dilakukan di Gardu Induk 150 kV Wonosari – Pedan, hasil perhitungan dengan menggunakan metode *rolling sphere*, gardu induk memerlukan tiang penangkal petir setinggi 21 m dengan sphere radius yang menjadi jarak sambaran adalah 22,36 m dan jarak antar tiang 24,05 m mampu melindungi gardu induk dari sambaran petir langsung. Dimana pada gardu induk tersebut dipasang kawat tanah setinggi 17,8 m sehingga jarak pisah satu kawat tanah adalah 1 m dan maksimum jarak tanah adalah 26 m, untuk pemasangan kawat tanah dengan jarak pisah 24 m sudah aman dari sambaran petir langsung.

V. Daftar Pustaka

- [1] Rahmad Dwi Prima, Yul Martin, Endah Komalasari.,” Analisis Perbandingan Shielding Gardu Induk Menggunakan Model Electrogeometric”. Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Universitas Lampung, 2015.
- [2] Ugahari, Yudi. “Analisa Proteksi Sambaran Petir Eksternal Menggunakan Metode Collection Volme (Studi Kasus Gedung Fakultas Teknik Universitas Indonesia)”. Depok : Universitas Indonesia. 2008.
- [3] Mulyadi, Ujang. “Kajian Perancangan Sistem penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Pusat Komputer Universitas Riau”. Universitas Riau. Pekanbaru, 2014.
- [4] Putra P Widhya., “Evaluasi sistem proteksi petir pada base tranciver station (bts)”, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, 2009.
- [5] Pasra, N., Makulau, A., & Abriyanto, M. O. “Analisa Efek Korona Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Pada Gardu Beton”. SUTET, 8(2), 103-113. 2018

- [6] Kurniawan. Taufiq A., Sumadiyana. Achmad B., “Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal”, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta, Oktober, 2007.
- [7] Dahliana, Nina., “Pemodelan Perlindungan Gardu Induk dari Sambaran Petir Langsung di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang-Lamongan”, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.
- [8] IEEE Guide for Direct Lightning Lightning Stroke Shielding of Substations, IEEE Standard 998-1996.
- [9] Pribadi, Rendy Trias. "Analisa dan Perancangan Daerah Perlindungan Penangkal Petir Pada Gedung Islamic Center UIN Suska Riau." PhD diss., Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2017.