

# STUDI PERBAIKAN SISTEM PEMBUMIAN UNTUK MENCEGAH KEGAGALAN *LIGHTNING ARRESTER* PADA PENYULANG SULAHAN BANGLI

I Nyoman Julyantara<sup>1</sup>, I Gusti Ngurah Janardana<sup>2</sup>, I Gede Dyana Arjana<sup>3</sup>  
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Email : [julyantara95@gmail.com](mailto:julyantara95@gmail.com)<sup>1</sup>, [janardana@unud.ac.id](mailto:janardana@unud.ac.id)<sup>2</sup>,  
[dyanaarjana@unud.ac.id](mailto:dyanaarjana@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Penyulang Sulahan Bangli berada di dataran tinggi yang sering terkena fenomena alam berupa petir, sehingga Penyulang Sulahan Bangli sering mengalami gangguan tegangan lebih. *Lightning Arrester* pada Penyulang Sulahan Bangli sering mengalami kegagalan akibat tegangan lebih saat terjadi surja petir. Pada tahun 2016 terjadi 4 kali kegagalan tegangan lebih pada *Lightning Arrester* konvensional di Penyulang Sulahan (PT. PLN (Pesero) UP3 Bali Timur, 2016). Kegagalan *Lightning Arrester* pada Penyulang Sulahan Bangli disebabkan oleh gangguan berupa *back-flashover*, ini disebabkan oleh nilai tahanan pembumian pada *Lightning Arrester* melebihi nilai standar  $<1 \Omega$  yaitu rata – rata  $8 \Omega$  sehingga perlu dilakukan perbaikan sistem pembumian. Pada penelitian ini dilakukan analisis luas titik pemasangan sistem pembumian, menganalisis berbagai sistem pembumian yang sesuai di Penyulang Sulahan, serta menghitung biaya dari masing – masing sistem pembumian. Hasil perhitungan dan analisis dari beberapa sistem pembumian yang digunakan sistem pembumian *Grid-Rod* pada tanah basah dan tanah lempung merupakan jenis sistem pembumian yang paling optimal yang dapat digunakan sebagai acuan perbaikan sistem pembumian di Penyulang Sulahan Bangli dengan nilai tahanan pembumian pada tanah basah sebesar  $0,4543 \Omega$  dengan biaya Rp. 5.416.625,- per unit dan pada tanah lempung sebesar  $0,4461 \Omega$  dengan biaya Rp. 8.728.125,- per unit.

**Kata Kunci** : *Back-flashover*, *Lightning Arrester*, Sistem Pembumian, Petir

## Abstract

The Feeder of Sulahan Bangli is located in the highlands which are often exposed to natural phenomena in the form of lightning, so the Feeder of Sulahan Bangli often experience interference with over voltage. *Lightning Arrester* in The Feeder of Sulahan Bangli often experience failure due to overvoltages during lightning surges. In 2016 there were 4 times the overvoltage failure in conventional *Lightning Arrester* in The Feeder of Sulahan (PT. PLN (Pesero) UP3 East Bali, 2016). The failure of *Lightning Arrester* in The Feeder of Sulahan Bangli is caused by the interference of backback-flashover, this is caused by the earth resistance value in *Lightning Arrester* exceeds the standard value  $<1 \Omega$  which is an average of  $8 \Omega$  so that it needs to be repaired grounding system. In this study an analysis of the area of the grounding system is installed, analyzing the various grounding systems that are suitable in the Feeder of Sulahan, and calculating the cost of each grounding system. The results of calculations and analysis of several grounding systems used by the *Grid-Rod* grounding system in wet and clay soils are the most optimal type of grounding system that can be used as a reference for improving the grounding system in The Feeder of Sulahan Bangli with an earth resistance value of  $0,4543 \Omega$  at a cost of Rp. 5,416,625, - per unit and on a  $0.4461 \Omega$  thick clay soil at a cost of Rp. 8,728,125, - per unit.

**Keywords** : *Back-flashover*, *Lightning Arrester*, *Grounding Systems*, *Lightning*

**1. PENDAHULUAN**

Penyulang Sulahan memiliki panjang 85,568 kilometer sirkuit (kms) dan berada di dataran tinggi yang sering terkena fenomena alam berupa petir. Sehingga Penyulang Sulahan sering mengalami gangguan tegangan lebih. Pada tahun 2016 terjadi 4 kali kegagalan *Lightning Arrester* Konvensional [1].

Hasil pengukuran pembumian *Lightning Arrester* Penyulang Sulahan yang mengalami gangguan rata – rata adalah 8 Ω. Berdasarkan hal tersebut pada Penyulang Sulahan sering terjadi gangguan berupa *back-flashover*. Dengan demikian timbul permasalahan cara memperbaiki sistem pembumian untuk mencegah kegagalan *Lightning Arrester* pada Penyulang Sulahan Bangli.

**2. KAJIAN PUSTAKA**

**2.1 Gangguan Petir**

Petir merupakan kejadian alam di mana terjadi loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan mengumpulnya uap air di dalam awan. Petir terjadi akibat awan dengan muatan tertentu menginduksi muatan yang ada di bumi. Bila muatan di dalam awan bertambah besar, maka muatan induksi pun makin besar pula sehingga beda potensial antara awan dengan bumi juga makin besar [2]. Gangguan yang disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) pada kawat tanah saluran udara tegangan tinggi adalah fenomena *back-flashover*. Fenomena *back-flashover* terjadi bila tegangan pada isolator saluran lebih besar atau sama dengan tegangan kritis lompatan api (*critical flashover*) isolator sehingga lompatan api terjadi pada isolator tersebut

**2.2 Sistem Pembumian Batang (Rod)**

- Sistem Pembumian Satu Batang Elektroda

Sistem pembumian ini menggunakan satu batang elektroda yang dipasang secara vertikal [3] :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{A} - 1 \right) \dots (1)$$

- Sistem Pembumian Dua Batang Elektroda S>L

Sistem pembumian ini menggunakan dua batang elektroda yang dipasang secara vertikal tegak lurus di dalam tanah dimana S>L [3] :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi S} \left( 1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} + \dots \right) (2)$$

- Sistem Pembumian Dua Batang Elektroda S<L

Sistem pembumian ini menggunakan dua batang elektroda yang dipasang secara vertikal dimana S<L [3] :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \dots \right) \dots (3)$$

- Sistem Pembumian Satu Batang Elektroda secara Horizontal

Sistem pembumian ini menggunakan satu batang elektroda yang dipasang secara horizontal di dalam tanah :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} + \ln \frac{4L}{\alpha} - 2 + \frac{d}{2L} - \frac{d^2}{16L^2} + \frac{d^4}{512L^4} + \dots \right) \dots (4)$$

Dengan keterangan :

R = Tahanan dua batang elektroda (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω-meter)

S = Jarak kedua elektroda batang

L = Panjang elektroda batang

A = Diameter elektroda batang

α = Jari – jari elektroda batang

**2.3 Sistem Pembumian Pelat**

Sistem pembumian ini menggunakan elektroda pelat logam atau kawat kasa yang dipasang lurus di dalam tanah [4] :

$$R_p = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ 1 + 1,84 \frac{b}{t} \right] \dots (5)$$

Dengan Keterangan :

R<sub>p</sub> = Tahanan pembumian pelat (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω-meter)

t = Tahanan kedalaman pelat

b = Lebar elektroda pelat

L = Panjang elektroda pelat

**2.4 Sistem Pembumian Grid-Rod**

Sistem pembumian ini adalah gabungan dari sistem pembumian antara *Mesh* dan *Rod* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [4] :

$$R_G = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \dots (6)$$

Untuk menghitung nilai R<sub>1</sub>

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ L_n \left( \frac{2L_c}{\alpha'} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \dots (7)$$

Untuk menghitung nilai R<sub>2</sub>

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \left[ L_n \left( \frac{4L_r}{b} \right) - 1 + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \dots (8)$$

Dan untuk menghitung nilai dari  $R_m$ :

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[ L_n \left( \frac{2L_C}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \dots \dots \dots (9)$$

Dengan keterangan :

- $R_G$  = Tahanan pembumian *Grid-Rod* ( $\Omega$ )
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega$ -meter)
- A = Luas area pembumian ( $m^2$ )
- H = Kedalaman sistem pembumian (m)
- $L_C$  = Total panjang konduktor *Mesh* (m)
- $L_r$  = Panjang elektroda *Rod* (m)
- $n_r$  = Jumlah elektroda *Rod* (m)
- $L_R$  = Total panjang elektroda *Rod* (m)
- $\alpha'$  =  $\sqrt{\alpha \cdot 2h}$  Konduktor yang ditanam pada kedalaman h
- $\alpha$  = Diameter konduktor *Mesh* (m)
- b = Diameter konduktor *Rod* (m)
- $K_1 = K_1 K_2 =$  Koefisien  $K_1 = (-0,04(L_x/L_y)) + 1,41$  dan  $K_2 = (0,15(L_x/L_y)) + 5,5$
- $L_p$  = Panjang perifer konduktor *Mesh* pada tepi sistem pembumian (m)
- $L_x$  = Panjang konduktor *Mesh* x (m)
- $L_y$  = Panjang konduktor *Mesh* y (m)

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan di Penyulang Sulahan dimulai pada bulan Oktober 2018 sampai bulan Agustus 2019. Sumber data yang digunakan berupa data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan pengukuran tahanan pembumian *Lightning Arrester* dan tahanan tanah (R) secara langsung di area penelitian dan sumber data sekunder diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP3 Bali Timur. Pada proses pengukuran, alat yang digunakan adalah *Digital Earth Tester* digunakan untuk memperoleh data tahanan pembumian *Lightning Arrester* dan *Ground Resistance Meter* (GMR) digunakan untuk memperoleh data pengukuran tahanan tanah (R). Pengukuran tahanan tanah (R) untuk mendapatkan data tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) menggunakan rumus  $\rho = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot R$ . Pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali dalam sehari selama 5 hari. Setiap kali pengukuran nilai tahanan tanah (R) yang diambil adalah nilai tahanan tanah (R) terbesar. Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengumpulkan data pengukuran tahanan pembumian *Lightning Arrester*

dan tahanan tanah (R) di Penyulang Sulahan.

2. Menghitung tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) berdasarkan data hasil pengukur tahanan tanah (R).
3. Menganalisis sistem pembumian dengan metode satu batang elektroda, dua batang elektroda  $S > L$ , dua batang elektroda  $S < L$ , satu batang elektroda secara horizontal, plat dan *grid-rod* dan kesimpulan.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Pengukuran Tahanan Tanah**

Pengukuran tahanan tanah untuk tanah basah dan tanah lempung untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah dilakukan sebanyak 4 kali dalam sehari selama 5 hari pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Tahanan Tanah dan Tahanan Jenis Tanah pada Tanah Basah

No	Hari/Tanggal	Pukul (WITA)	Lokasi	Tahanan Tanah (R)	Tahanan Jenis Tanah ( $\Omega$ -meter) $\rho = 2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot R$
1	Senin, 6 Mei 2019	10.00	Bangli	0,27	33,912
		12.00		0,28	35,168
		14.00		0,28	35,168
		16.00		0,28	35,168
2	Selasa, 7 Mei 2019	10.00	Bangli	0,29	36,424
		12.00		0,28	35,168
		14.00		0,29	36,424
		16.00		0,30	37,680
3	Rabu, 8 Mei 2019	10.00	Bangli	0,30	37,680
		12.00		0,28	35,168
		14.00		0,28	35,168
		16.00		0,29	36,424
4	Jumat, 17 Mei 2019	10.00	Bangli	0,29	36,424
		12.00		0,29	36,424
		14.00		0,29	36,424
		16.00		0,31	38,936
5	Sabtu, 18 Mei 2019	10.00	Bangli	0,29	36,424
		12.00		0,30	37,680
		14.00		0,31	38,936
		16.00		0,31	38,936
Tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) terbesar (Maksimal)					38,936 $\Omega$ -Meter

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Tahanan Tanah dan Tahanan Jenis Tanah pada Tanah Lempung

No	Hari/Tanggal	Pukul (WITA)	Lokasi	Tahanan Tanah (R)	Tahanan Jenis Tanah (Ω-meter) ρ = 2. π. α. R
1	Senin, 19 Mei 2019	10.00	Bangli	0,64	80,384
		12.00		0,64	80,384
		14.00		0,66	82,896
		16.00		0,68	85,408
2	Selasa, 20 Mei 2019	10.00	Bangli	0,66	82,896
		12.00		0,68	85,408
		14.00		0,70	87,920
		16.00		0,69	86,664
3	Rabu, 21 Mei 2019	10.00	Bangli	0,66	82,896
		12.00		0,69	86,664
		14.00		0,70	87,920
		16.00		0,70	87,920
4	Jumat, 22 Mei 2019	10.00	Bangli	0,68	85,408
		12.00		0,70	87,920
		14.00		0,70	87,920
		16.00		0,70	87,920
5	Sabtu, 23 Mei 2019	10.00	Bangli	0,68	85,408
		12.00		0,68	85,408
		14.00		0,69	86,664
		16.00		0,70	87,920
Tahanan jenis tanah (ρ) terbesar (Maksimal)					87,920 Ω-Meter

Berdasarkan data hasil pengukuran dan perhitungan pada tabel 1 dan 2 di atas dapat diketahui nilai tahanan jenis tanah (ρ) terbesar didapatkan sebesar 38,936 Ohm-meter pada tanah basah dan 87,920 Ohm-meter pada tanah lempung.

#### 4.2 Analisis Sistem Pembumian Satu Batang Elektroda

Pada sistem pembumian satu batang elektroda dengan kedalaman L = 5 meter didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{A} - 1 \right)$$

$$R = \frac{38,936}{2,3,14,5} \left[ \ln \left( \frac{4,5}{0,012} \right) - 1 \right]$$

$$R = 1,24 [\ln(1.666,7) - 1] = 7,8887 \Omega$$

Dengan pemasangan sistem pembumian satu batang elektroda seperti yang telah dihitung diatas didapat nilai tahanan pembumian sebesar 7,8887 Ω pada kedalaman 5 meter belum memenuhi standar yang ditetapkan yaitu sebesar <1 Ω. Dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan yang sama dengan merubah diameter (A) dan panjang elektroda rod ( L) didapatkan nilai pembumian yang paling optimal pada tanah basah dengan kedalaman 50 meter dan diameter 25 mm sebesar 0,9904 Ohm, sedangkan pada tanah lempung dengan kedalaman 125 meter dan diameter 25 mm sebesar 0,9971 Ohm.

#### 4.3 Analisis Sistem Pembumian Dua Batang Elektroda S>L

Pada sistem pembumian Dua batang elektroda S>L (S = 2 meter dan L = 1 meter) didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_{R2} = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right) + \frac{\rho}{2\pi S} \left( 1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} + \dots \right)$$

$$R_{R2} = \frac{38,936}{4,3,14,1} \left( \ln \frac{4,1}{0,0127} - 1 \right) + \frac{38,936}{2,3,14,2} \left( 1 - \frac{1^2}{3,2^2} + \frac{2 \cdot 1^4}{5 \cdot 2^4} \right)$$

$$R_{R2} = 3,1 (4,7524) + 3,1 (1 - 0,0833 + 0,025)$$

$$R_{R2} = 14,73259 + 2,919167$$

$$R_{R2} = 17,6517 \text{ Ohm}$$

Sistem pembumian dua batang elektroda S>L dengan kedalaman 1 meter dan jarak antar elektroda 2 meter didapat nilai tahanan pembumian sebesar 17,6517 Ω, untuk mendapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai dengan standar yang ditetapkan, menambah panjang elektroda Rod (S) dan jarak antar kedua elektroda Rod (L) serta merubah jari - jari Rod. Pada tanah basah dengan panjang elektroda Rod (S) sebesar 33 meter dan jarak antar kedua elektroda Rod (L) sebesar 32 meter dengan jari - jari Rod 12,7 mm memberikan nilai tahanan pembumian sebesar 0,9915 Ohm, sedangkan pada tanah lempung dengan panjang Rod (S) sebesar 80 meter dan jarak antar Rod (L) sebesar 79 meter dengan jari jari Rod 12,7 mm memberikan nilai tahanan pembumian yang paling optimal sebesar 0,9929 Ohm

#### 4.4 Analisis Sistem Pembumian Dua Batang Elektroda S<L

Pada sistem pembumian Dua batang elektroda S<L (S = 1 meter dan L = 2 meter) didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_{R2} = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \dots \right)$$

$$R_{R2} = \frac{38,936}{4,3,14,2} \left( \ln \frac{4,2}{0,0127} + \ln \frac{4,2}{1} - 2 + \frac{1}{2,2} - \frac{1^2}{16,2^2} + \frac{1^4}{512,2^4} \right)$$

$$R_{R2} = \frac{38,936}{25,12} \left( \ln \frac{8}{0,0127} + \ln \frac{8}{1} - 2 + \frac{1}{4} - \frac{1}{64} + \frac{1}{8,192} \right)$$

$$R_{R2} = 1,55 (6,446093)$$

$$R_{R2} = 9,9914 \text{ Ohm}$$

Pembumian dua batang elektroda S<L dengan kedalaman 2 meter dan jarak antar elektroda 1 meter didapat nilai tahanan pembumian sebesar 9,9914 Ω, Dengan rumus yang sama untuk mendapatkan nilai tahanan paling optimal dengan menambah panjang elektroda Rod (S) dan jarak antar kedua elektroda Rod (L) serta merubah jari - jari Rod. Pada tanah basah dengan menambah panjang Rod (S) sebesar 3 m dan jarak antar Rod (L)

sebesar 29 m dengan jari – jari Rod 12,7 mm mendapatkan nilai pembumian sebesar 0,9748, sedangkan pada tanah lempung dengan panjang elektroda Rod (S) sebesar 3 meter dan jarak antar kedua elektroda Rod (L) sebesar 71 meter dengan jari – jari elektroda Rod 12,7 mm akan memberikan nilai tahanan pembumian yang paling optimal sebesar 0,9874 Ohm.

4.5 Analisis Sistem Pembumian Satu Batang Elektroda secara Horizontal

Pada sistem pembumian satu batang elektroda secara horizontal dengan panjang L = 2 dan kedalaman d = 1 meter didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_{R2} = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{\alpha} + \ln \frac{4L}{d} - 2 + \frac{d}{2L} - \frac{d^2}{16L^2} + \frac{d^4}{512L^4} + \dots \right)$$

$$R_{R2} = \frac{87,920}{25,12} \left( \ln \frac{4,2}{0,0127} + \ln \frac{4,2}{1} - 2 + \frac{1}{2,2} - \frac{1^2}{16,2^2} + \frac{1^4}{512,2^4} \right)$$

$$R_{R2} = 3,5 (6,446093)$$

$$R_{R2} = 22,5613 \text{ Ohm}$$

Sistem pembumian satu batang elektroda secara horizontal dengan Panjang L = 2 meter dan kedalaman d = 1 meter didapat nilai tahanan pembumian sebesar 22,5613 Ω. Dengan persamaan yang sama untuk mendapatkan nilai tahanan sesuai dengan menambah panjang elektroda Rod (S) dan jarak antar kedua elektroda Rod (L) serta merubah jari - jari Rod. Pada tanah basah dengan panjang Rod (L) sebesar 28 m, jarak penanaman Rod (L) sebesar 29 m dan jari – jari Rod 12,7 mm akan memberikan nilai tahanan pembumian yang paling optimal sebesar 0,9748 Ohm, sedangkan pada tanah lempung dengan panjang Rod (L) sebesar 70 m, jarak penanaman Rod (L) sebesar 71 m dan jari – jari Rod 12,7 mm mendapatkan nilai tahanan pembumian yang paling optimal sebesar 0,9874 Ohm.

4.6 Analisis Sistem Pembumian Pelat

Pada sistem pembumian pelat dengan t = 1 meter, b = 1 meter, L = 1 meter didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_{pt} = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ 1 + 1,84 \frac{b}{t} \right]$$

$$R_{pt} = \frac{38,936}{4,3,14,1} \left[ 1 + 1,84 \frac{1}{1} \right]$$

$$R_{pt} = \frac{38,936}{4,3,14,1} [1 + 1,84]$$

$$R_{pt} = 8,804 \text{ Ohm}$$

Maka untuk nilai tahanan pembumian R pelat = 8,804 Ohm, maka jumlah plat yang diperlukan untuk diparelel adalah

$$R_{total} \left( \frac{1}{R_t} \right) = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ Ohm}$$

$$R_{total} \left( \frac{1}{R_t} \right) = \frac{1}{8,804} + \frac{1}{8,804} + \frac{1}{8,804} + \dots + \frac{1}{R_{10}}$$

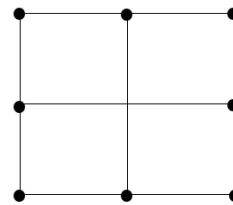
$$R_{total} (R_t) = \frac{8,804}{10} = 0,8804 \text{ ohm}$$

$$N_{Pelat} = \frac{8,804}{0,8804} = 10 \text{ lembar pelat}$$

Dengan cara dan persamaan yang sama untuk mendapatkan nilai tahanan pembumian pelat yang sesuai dengan standar pada tanah basah dan tanah lempung digunakan 3 elektroda pelat paralel dengan ukuran 1 m x 2 m akan memberikan tahanan pembumian sebesar 0,78 Ω dan 6 elektroda pelat paralel dengan ukuran 1 m x 2 m pada lempung akan memberikan tahanan pembumian sebesar 0,89 Ω.

4.7 Sistem Pembumian Grid-Rod

Pada tanah basah di Penyulang Sulahan memiliki rata – rata luas area pembumian 6 m<sup>2</sup>. Berikut merupakan desain sistem pembumian Grid-Rod di tanah basah dari segi nilai pembumian, luas area pembumian serta biaya pembuatan sistem pembumian :



Gambar 1. Sistem Pembumian Grid-Rod D = 0,5 meter pada Tanah Basah

Pada tanah basah D = 0,5 meter ; h = 0,5 meter dan Lc = 6 meter didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_G = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \text{ Ohm}$$

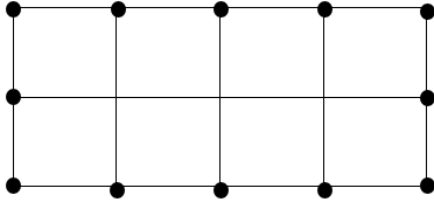
$$R_G = \frac{(5,6399 \cdot 0,6787) - (1,0279)^2}{(5,6399 + 0,6787) - (2 \cdot 1,0279)}$$

$$R_G = \frac{6,3186 - 2,0558}{3,8278 - 1,0566}$$

$$R_G = \frac{2,7712}{4,2628}$$

$$R_G = 0,6501 \text{ Ohm}$$

Pada tanah lempung di Penyulang Sulahan memiliki rata – rata luas area pembumian 20 m<sup>2</sup>. Berikut merupakan desain sistem pembumian *Grid-Rod* di tanah lempung dari segi nilai pembumian, luas area pembumian serta biaya pembuatan sistem pembumian :



Gambar 1. Sistem Pembumian *Grid-Rod* D = 0,5 meter pada Tanah Lempung

Pada tanah lempung  $D = 0,5$  meter ;  $h = 0,5$  meter dan  $L_c = 11$  meter didapatkan hasil sebagai berikut :

$$R_G = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \text{ Ohm}$$

$$R_G = \frac{(7,8925 \cdot 0,8013) - (2,9448)^2}{(7,8925 + 0,8013) - (2,2,9448)}$$

$$R_G = \frac{8,6938 - 5,8896}{2,3475}$$

$$R_G = 2,8042$$

$$R_G = 0,8371 \text{ Ohm}$$

Setelah melakukan perhitungan dengan merubah diameter ( $b$ ) dan perubahan panjang elektroda *Rod* ( $L_r$ ) yang semakin panjang serta menambah kedalaman penanaman maka didapatkan nilai tahanan pembumian yang paling optimal pada tanah basah dengan kedalaman penanaman sistem pembumian 1 meter dari atas permukaan tanah dan  $D = 0,5$  meter, diameter ( $b$ ) = 25 mm dan panjang *Rod* ( $L_r$ ) 3 meter didapatkan hasil tahanan pembumian sebesar 0,4543 Ohm, sedangkan pada tanah lempung dengan kedalaman penanaman pembumian 1 meter dari permukaan tanah dan  $D = 0,5$  meter diameter ( $b$ ) = 25 mm dan panjang *Rod* ( $L_r$ ) 3 meter didapatkan hasil tahanan pembumian sebesar 0,4461 Ohm.

4.8 Analisis Pemilihan Sistem Pembumian  
 Pemilihan sistem pembumian berdasarkan nilai tahanan pembumian, luas area pembumian karena lokasi titik

pemasangan pembumian di Penyulang Sulahan rata – rata tidak lebih dari 20 meter persegi serta Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang digunakan untuk membangun sistem pembumian tersebut. Berikut merupakan tabel spesifikasi sistem pembumian yang akan digunakan sebagai acuan perbaikan pembumian *Lightning Arrester* di Penyulang Sulahan Bangli.

Tabel 3. Pemilihan Sistem Pembumian di Penyulang Sulahan pada tanah Basah

No	Jenis Sistem Pembumian	Tahanan Pembumian (Ohm)	Biaya Sistem Pembumian (Rp)	Spesifikasi
1	Satu Batang Elektroda Secara Vertikal	0,9904	13.937.500,-	1. Panjang Elektroda <i>Rod</i> 50 Meter 2. Diameter <i>Rod</i> 12,7 mm
2	Dua Batang Elektroda Secara Vertikal S>L	0,9929	7.889.750,-	1. Panjang Elektroda <i>Rod</i> 33 Meter 2. Jarak Antar Elektroda 32 Meter 3. Jari – jari <i>Rod</i> 12,7 mm
3	Dua Batang Elektroda Secara Vertikal S<L	0,9748	6.757.000,-	1. Panjang Elektroda <i>Rod</i> 3 Meter 2. Jarak Antar Elektroda 29 Meter 3. Jari – jari <i>Rod</i> 12,7 mm
4	Satu Batang Elektroda Secara Horizontal	0,9748	6.557.000,-	1. Panjang Elektroda <i>Rod</i> 28 Meter 2. Jarak Penanaman 29 Meter 3. Jari – jari <i>Rod</i> 12,7 mm
5	Pelat	0,78	6.929.000,-	1. Ukuran Pelat a. Panjang sebesar 1 meter b. Lebar sebesar 2 meter 2. Jumlah Pelat 3 Lembar Pelat 3. Kedalaman Penanaman 3,5 Meter
6	<i>Grid-Rod</i>	0,4543	5.416.625,-	1. Jarak Antar Konduktor ( $D = 0,5$ m) 2. Panjang dan Lebar Konduktor <i>Grid</i> 1 x 1 meter 3. Panjang Konduktor ( $L_c$ ) 6 meter 4. Ukuran <i>Rod</i> a. Diameter <i>Rod</i> 25 mm b. Panjang <i>Rod</i> 3 meter c. Penanaman 1 Meter

**Tabel 4.** Pemilihan Sistem Pembumian di Penyulang Sulahan pada tanah Lempung

No	Jenis Sistem Pembumian	Tahanan Pembumian (Ohm)	Biaya Sistem Pembumian (Rp)	Spesifikasi
1	Satu Batang Elektroda Secara Vertikal	0,9971	<u>23.767.500,-</u>	1. Panjang Elektroda Rod 125 Meter 2. Diameter Rod 12,7 mm
2	Dua Batang Elektroda Secara Vertikal S>L	0,9929	<u>13.804.625,-</u>	1. Panjang Elektroda Rod 80 Meter 2. Jarak Antar Elektroda 79 Meter 3. Jari – jari Rod 12,7 mm
3	Dua Batang Elektroda Secara Vertikal S<L	0,9874	<u>14.033.500,-</u>	1. Panjang Elektroda Rod 3 Meter 2. Jarak Antar Elektroda 71 Meter 3. Jari – jari Rod 12,7 mm
4	Satu Batang Elektroda Secara Horizontal	0,9874	<u>13.527.000,-</u>	1. Panjang Elektroda Rod 70 Meter 2. Jarak Penanaman 71 Meter 3. Jari – jari Rod 12,7 mm
5	Pelat	0,89	<u>8.286.000,-</u>	1. Ukuran Pelat a. Panjang sebesar 1 meter b. Lebar sebesar 2 meter 2. Jumlah Pelat 3 Lembar Pelat 3. Kedalaman Penanaman 3,5 Meter
6	Grid-Rod	0,4461	<u>8.728.125,-</u>	1. Jarak Antar Konduktor (D) = 0,5 m) 2. Panjang dan Lebar Konduktor Grid 2 x 1 meter 3. Panjang Konduktor (Lc) 11 meter 4. Ukuran Rod d. Diameter Rod 25 mm e. Panjang Rod 3 meter f. Penanaman 1 Meter

Berdasarkan tabel 3 dan tabel 4 sistem pembumian yang sesuai digunakan berdasarkan segi teknis, ekonomis dan lokasi penyulang tersebut adalah sistem pembumian *Grid-Rod*.

**5. SIMPULAN**

Berdasarkan hasil Analisa yang telah dilakukan di Penyulang Sulahan, maka dapat disimpulkan bahwa kegagalan *Lightning Arrester* pada Penyulang Sulahan Bangli disebabkan oleh gangguan berupa *back-flashover*, ini disebabkan oleh nilai tahanan pembumian pada *Lightning Arrester* melebihi nilai standar <1 Ω yaitu rata – rata 8 Ω sehingga perlu dilakukan perbaikan sistem pembumian.

Sistem Pembumia *Grid-Rod* pada tanah basah dengan jarak antar konduktor paralel (D) 0,5 meter, penanaman sedalam 1 meter dari atas permukaan tanah, diameter Rod 25 mm, total panjang konduktor (Lc) sebesar 6 meter, serta panjang Rod (Lr) 3 meter dan pada tanah

lempung sistem pembumian *Grid-Rod* dengan jarak antar konduktor paralel (D) 0,5 meter, penanaman konduktor (h) sedalam 1 meter dari atas permukaan tanah, diameter Rod 25 mm panjang Rod (Lr) 3 dan total panjang konduktor (Lc) sebesar 11 meter merupakan jenis sistem pembumian yang paling optimal yang dapat digunakan sebagai acuan perbaikan sistem pembumian di Penyulang Sulahan Bangli dengan nilai tahanan pembumian sebesar 0,4543 Ohm dengan biaya Rp. 5.416.625,- dan 0,4461 Ohm dengan biaya Rp. 8.728.125,-.

**6. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] PT.PLN, 2016 . Laporan Gangguan Penyulang Padam Tahun 2016.: PT PLN (Persero) Area Bali Timur.
- [2] Hutahuruk, T.S. 1988. Perhitungan Gangguan Kilat pada Saluran Udara Tegangan Menengah. Bandung : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung.
- [3] Janardana, IGN. 2005. Pengaruh Umur Pada Beberapa Volume Zat Aditif Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan. Jurnal Teknologi Elektro vol.4 (2) 2005. Denpasar: Universitas Udayana
- [4] Mahadewi, K.M. 2019. Analisis Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh serta Perencanaan Sistem Pembumian pada Pembangunan *Substation* VVIP di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali. Jurnal Spektrum Vol 6 (1) 2018. Denpasar : Universitas Udayana.
- [5] Buku Pedoman Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011) SNI 04-0225-2011.
- [6] IEEE Std 80 - 1986. IEEE *Guid Safety in AC Substation Grounding*. New York
- [7] IEEE Std. 80.2000. IEEE *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. USA.
- [8] IEEE Std 142TM – 2007. IEEE *recommended practice for grounding of industrial and commercial power system*. New York.NN. 2007.

- [9] Suswanto, D. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.