

# OPTIMASI PERENCANAAN SISTEM PEMBUMIAN PADA RENCANA PEMBANGUNAN GAS *INSULATED SUBSTATION* 150 KV PECATU

Putu Quentin MP<sup>1</sup>, Cok Gede Indra Partha<sup>2</sup>, IGN Janardana<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Denpasar – Bali  
Email : [quentinmahayana@yahoo.co.id](mailto:quentinmahayana@yahoo.co.id)<sup>1</sup>, [cokindra@unud.ac.id](mailto:cokindra@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [janardana@unud.ac.id](mailto:janardana@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## Abstrak

Pembangunan *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu direncanakan oleh PT. PLN (Persero) untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah Pecatu, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu berlokasi di kawasan perbukitan dengan tekstur tanah berbatu kapur dan didapatkan hasil tahanan jenis tanah sebesar  $\rho = 263,76$  ohm-meter. Hasil perhitungan untuk jenis sistem pembumian Pelat nilai tahanan pembumiannya sebesar 0,95 ohm dengan biaya sebesar Rp. 4.196.000.000,- (Empat Miliar Seratus Sembilan Puluh Enam Juta Rupiah), untuk jenis sistem pembumian *Mesh* tidak didapatkan hasil  $< 1$  ohm dan untuk jenis sistem pembumian *Multi Grid-Rod* nilai tahanan pembumian sebesar 0,876 ohm dengan biaya sebesar Rp 3.753.120.000,- (Tiga Miliar Tujuh Ratus Lima Puluh Tiga Juta Seratus Dua Puluh Ribu Rupiah). Jenis sistem pembumian yang direkomendasikan adalah sistem pembumian *Multi Grid-Rod* dengan jarak antar konduktor paralel (D) sebesar 1 meter, kedalaman penanaman konduktor sedalam 4 meter dari atas permukaan tanah, diameter elektroda Rod sebesar 0,015 meter, panjang elektroda Rod sebesar 4 meter dan total panjang konduktor sebesar 12500 meter.

**Kata kunci** : GIS, Sistem Pembumian, Tahanan Tanah, Optimasi, Biaya (RAB)

## Abstract

*The construction of the Gas Insulated Substation (GIS) 150 kV Pecatu is planned by PT. PLN (Persero) to get electricity needs in the area of Pecatu, Badung Regency, Bali Province. The Gas Insulated Substation (GIS) 150 kV Pecatu is located in a hilly area with a texture of limestone rocky soil and the resulting soil type resistance is  $\rho = 263.76$  ohm-meter. The results of calculations for the type of earthing system Plates earth resistance value of 0.95 ohms at a cost of Rp. 4,196,000,000, - (Four Billion One Hundred Ninety Six Million Rupiah), for the type of Mesh earthing system no results are obtained  $< 1$  ohm and for the Multi Grid-Rod earthing system type the grounding resistance value is 0.876 ohms at a cost of Rp 3,753,120,000, - (Three Billion Seven Hundred Fifty Three Million One Hundred Twenty Thousand Rupiah). The type of earthing system recommended is a Multi Grid-Rod earthing system with a distance between parallel conductors (D) of 1 meter, depth of conductor planting as deep as 4 meters above the ground surface, Rod electrode diameter of 0.015 meters, Rod electrode length of 4 meters and total conductor length of 12500 meters.*

**Keywords** : GIS, Grounding, Resistance, Optimization, Cost

## 1. PENDAHULUAN

Pemakaian kebutuhan listrik di Pulau Bali saat ini semakin meningkat yang diakibatkan oleh peningkatan jumlah penduduk, untuk memenuhi kebutuhan daya listrik yang cukup dan merata perlu dilakukan pembangunan Gardu Induk baru khususnya di daerah Kuta Selatan. Pembangunan Gardu Induk telah direncanakan oleh PT.PLN (Persero) untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Gardu Induk yang akan dibangun berjenis GIS yaitu *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu yang berlokasi di Desa Pecatu, Kuta Selatan, Kabupaten Badung,

Provinsi Bali. GIS 150 kV Pecatu direncanakan berkapasitas sebesar 2 x 60 MVA (PT.PLN (Persero) UPP Ring Jawa Bagian Timur dan Bali (JBTB) 3). Gardu Induk yang direncanakan harus memiliki keandalan yang tinggi, salah satu yang perlu di perhitungkan untuk dapat meningkatkan keandalan sistem agar terhindar dari gangguan adalah sistem pembumian. Sistem pembumian merupakan suatu metode pengamanan peralatan beserta manusianya dari arus dan tegangan lebih [1]. Perencanaan pembangunan sistem pembumian GIS 150 kV Pecatu yang sesuai untuk peralatan dan jenis tanah harus

memenuhi standar keamanan baik bagi personil dan peralatan. Sistem pembumian harus memberikan nilai tahanan sesuai standar < 1 Ohm agar mendapatkan hasil yang ideal [2]. Faktor yang mempengaruhi tahanan pembumian yaitu jenis tanah, jenis sistem pembumian, suhu dan kelembaban dan kandungan elektrolit tanah [3]. *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu berlokasi di kawasan perbukitan dengan tekstur tanah berbatu kapur, untuk tanah berbatu kapur nilai tahanan tanahnya sangat tinggi, yang mengakibatkan nilai tahanan jenis tanahnya menjadi besar [4]. Perencanaan sistem pembumian peralatan pada GIS 150 kV Pecatu sistem pembumian yang akan dianalisis adalah sistem pembumian Pelat, sistem pembumian *Mesh* dan sistem pembumian *Grid-Rod* dengan jenis tanah yang ada di daerah perbukitan adalah tanah berbatu kapur. Sistem pembumian yang mempunyai nilai tahanan pembumian sesuai standar <1 ohm dan yang memiliki nilai ekonomis akan digunakan sebagai acuan dalam perencanaan sistem pembumian.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gas Insulated Substation (GIS)

*Gas Insulated Substation* atau biasa disebut dengan GIS adalah sebuah pemutus dan penghubung jaringan listrik. GIS sebagai peralatan yang terpasang dari beberapa rangkaian dalam sebuah *metal enclosure* dan akan diisolasi oleh gas bertekanan. *Sulfur Hexafluoride* (SF6) adalah gas bertekanan yang digunakan pada GIS.

### 2.2 Sistem Pembumian Gas Insulated Substation (GIS)

Sistem pembumian dipasang untuk mengalirkan arus dan tegangan lebih ke tanah yang disebabkan oleh petir atau gangguan internal dari sistem listrik, oleh karena itu kedua sistem dan manusia di wilayah sekitarnya yang dapat dilindungi dari bahaya [5]. Saat adanya gangguan, dengan cepat sistem pembumian akan mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah dan disebarkan kesegala arah. Arus gangguan akan menimbulkan gradient dan usaha untuk memperkecil gradient tegangan permukaan tanah yaitu dengan suatu elektroda pembumian yang ditanam ke dalam tanah [6]

### 2.3 Jenis Sistem Pembumian

Jenis sistem pembumian yang biasa digunakan pada Gardu Induk terdiri dari 3 jenis sistem pembumian yaitu sistem pembumian

Pelat, sistem pembumian *Mesh* dan sistem pembumian *Grid-Rod*.

#### 2.3.1 Sistem Pembumian Pelat

Sistem pembumian Pelat dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Elektroda Pelat [6]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan sistem pembumian Pelat adalah:

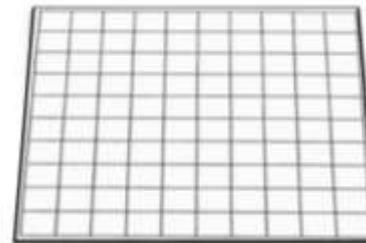
$$R_{pl} = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ 1 + 1,84 \frac{b}{t} \right] \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- $R_{pl}$  = tahanan pembumian pelat ( $\Omega$ )
- $\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega$ -m)
- $L$  = panjang elektroda pentanahan (m)
- $b$  = lebar elektroda pelat (m)
- $t$  = panjang elektroda pelat (m)

#### 2.3.2 Sistem Pembumian Mesh

Sistem pembumian *Mesh* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pembumian Mesh [2]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan sistem pembumian *Mesh* adalah:

$$R_m = \rho \left[ \frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots (2)$$

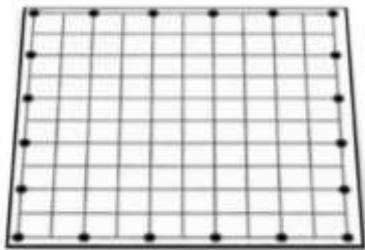
Keterangan :

- $R_m$  = tahanan pembumian *Mesh* ( $\Omega$ )
- $\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega$ -m)
- $L_c$  = total panjang konduktor *Mesh* (m)
- $A$  = luas Area *Mesh* ( $m^2$ )
- $h$  = kedalaman penanaman *Mesh* (m)

#### 2.3.3 Sistem Pembumian Grid-Rod

Sistem pembumian *Grid* akan digunakan sebagai pengganti sistem pembumian *Mesh* apabila sistem pembumian *Mesh* tidak dapat memberikan nilai tahanan

pembumian yang optimal. Jenis sistem pembumian *Mesh* dan *Rod* digabungkan agar mendapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai dengan standar. Bentuk sistem pembumian *Grid-Rod* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Pembumian *Grid* dengan *Rod* [2]

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan sistem pembumian *Grid-Rod* adalah:

$$R_G = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \dots\dots (3)$$

Untuk menghitung nilai  $R_1$  digunakan persamaan :

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ L_n \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \dots\dots (4)$$

Untuk menghitung nilai  $R_2$  digunakan persamaan :

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_r L_R} \left[ L_n \left( \frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_r}{(\sqrt{n_R} - 1)^2} \right] \dots\dots(5)$$

Untuk menghitung nilai  $R_m$  digunakan persamaan :

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ L_n \left( \frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \dots\dots(6)$$

Keterangan :

- $R_G$  = tahanan pembumian *Grid-Rod* ( $\Omega$ )
- $\rho$  = tahanan jenis tanah (m)
- $A$  = luas area pembumian ( $m^2$ )
- $h$  = kedalaman penanaman sistem pembumian dari permukaan tanah (m)
- $L_c$  = total panjang konduktor *Mesh* (m)
- $L_r$  = panjang elektroda *Rod* (m)
- $n_r$  = jumlah elektroda *Rod*
- $L_R$  = total panjang elektroda *Rod* (m)
- $a'$  =  $\sqrt{a \cdot 2h}$  konduktor yang ditanam pada kedalaman  $h$
- $a$  = diameter konduktor *Mesh* (m)
- $b$  = diameter konduktor *Rod* (m)

### 3. METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alat pengukuran

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Earth Resistivity Tester* dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Merk Chauvin Arnoux
2. Model C.A. 6472
3. Jumlah terminal 4 buah yaitu: Terminal E, Es, S dan H

Contoh gambar dari alat ukur merk Chauvin Arnoux dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



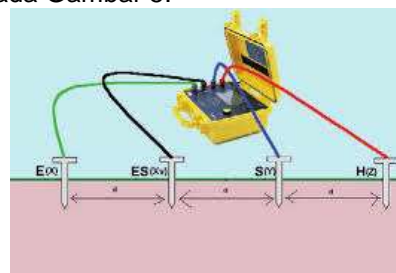
Gambar 4. *Earth Resistivity Tester* Merk Chauvin Arnoux C.A 6472

Adapun alat bantu yang digunakan adalah linggis, meteran, martil dan elektroda tembaga murni.

#### 3.2 Cara Pengukuran

Data primer tahanan tanah ( $R$ ) dalam penelitian ini dilakukan beberapa langkah pengukuran sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat pengukuran dan alat bantu yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Menggunakan alat bantu martil dengan empat buah elektroda ditancapkan ke dalam tanah di beberapa tempat yang berbeda-beda
3. Kabel disambungkan pada masing-masing ujung elektroda dari alat ukur yang terdapat pada permukaan tanah.
4. Menghubungkan kabel penghubung pada masing-masing terminal elektroda (E, Es, S, H) pada alat ukur.
5. Rangkaian pengukuran tahanan tanah ( $R$ ) dengan elektroda untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Pengukuran Tanah

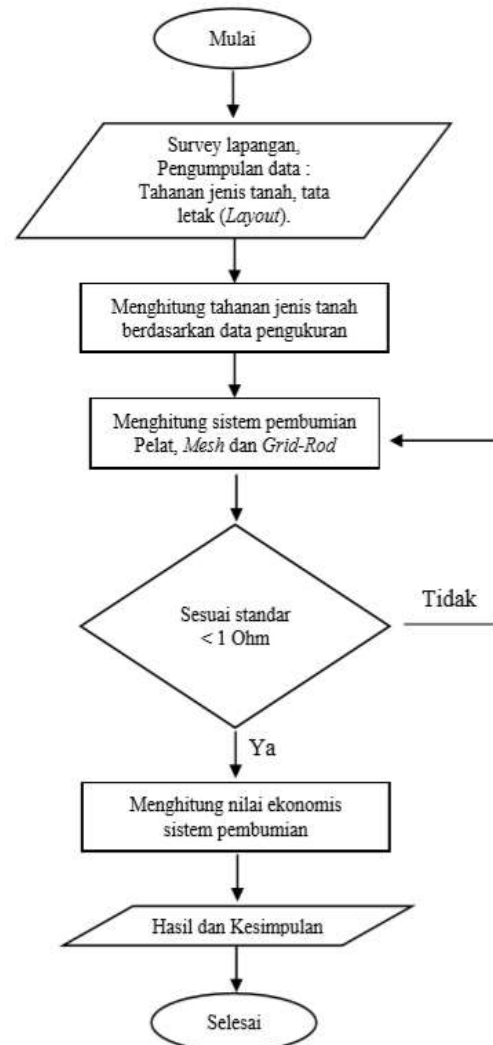
6. Apabila seluruh kabel sudah terhubung ke empat terminal pada alat ukur (Chauvin

Arnoux C.A 6472) dengan benar, maka bisa membuka switch E dengan Es untuk melakukan pengukuran tahanan tanah ( $R$ ).

7. Pengukuran bisa dimulai dengan menekan Switch Re kearah atas.
8. Pengukuran tahanan tanah ( $R$ ) akan dilakukan secara otomatis sehingga mendapatkan tahanan pembumian yang dikehendaki.
9. Pengukuran tahanan tanah ( $R$ ) dilakukan selama 5 hari dan dalam satu hari dilakukan 4 kali pengukuran pada pukul 10.00, 12.00, 14.00, dan 16.00.
10. Untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah ( $\rho$ ), maka hasil pengukuran nilai tahanan tanah ( $R$ ) dihitung sesuai dengan katalog alat ukur (Chauvin Arnoux C.A 6472) yaitu  $\rho = 2\pi .a .R$

### 3.3 Alur Analisis

Alur analisis dilakukan sesuai dengan gambar diagram alur (*Flowchart*) dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Flowchart penelitian di GIS 150 kV Pecatu

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengukuran Tahanan Tanah Gas Insulated Substation (GIS) 150 kV Pecatu

Data hasil pengukuran tahanan tanah ( $R$ ) di GIS 150 kV Pecatu dengan jenis tanah berbatu kapur telah dilaksanakan pada titik yang berbeda-beda dan diperoleh data hasil pengukuran tahanan tanah ( $R$ ) dan tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Tahanan Tanah ( $R$ ) dan Tahanan Jenis Tanah ( $\rho$ )

No	Hari/Tanggal	Pukul (WITA)	Lokasi	Tahanan Tanah (R)	Tahanan Jenis Tanah (Ω-meter) $\rho = 2. \pi. a. R$
1	Senin, 14 April 2019	10.00	GIS 150 kV Pecatu	2,1	263,76
		12.00		2,1	263,76
		14.00		2,0	251,2
		16.00		2,1	263,76
2	Selasa, 15 April 2019	10.00	GIS 150 kV Pecatu	2,0	251,2
		12.00		2,1	263,76
		14.00		2,1	263,76
		16.00		2,0	251,2
3	Rabu, 16 April 2019	10.00	GIS 150 kV Pecatu	2,0	251,2
		12.00		2,1	263,76
		14.00		2,0	251,2
		16.00		2,1	263,76
4	Kamis, 17 April 2019	10.00	GIS 150 kV Pecatu	2,0	251,2
		12.00		2,0	251,2
		14.00		2,0	251,2
		16.00		2,1	263,76
5	Jumat, 18 April 2019	10.00	GIS 150 kV Pecatu	2,1	263,76
		12.00		2,1	263,76
		14.00		2,1	263,76
		16.00		2,1	263,76
Tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) terbesar (Maksimum)					263,76 Ω-Meter

## 4.2 Perhitungan Tahanan Pbumian pada GIS 150 kV Pecatu

### 4.2.1 Perhitungan Tahanan Sistem Pbumian Pelat

Dengan menggunakan Persamaan 1, maka didapatkan hasil perhitungan sistem pbumian pelat sebagai berikut :

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

$$R_{pl} = \frac{263,76}{4,3,14,1} \left[ 1 + 1,84 \frac{1}{2,5} \right]$$

$$R_{pl} = \frac{263,76}{4,3,14,1} [1 + 1,84,0,4]$$

$$R_{pl} = \frac{263,76}{12,56} [1 + 0,736]$$

$$R_{pl} = 21 [1,736]$$

$$R_{pl} = 36,45 \text{ Ohm}$$

Dengan merubah ukuran pelat menjadi panjang 1 meter dan lebar 2 meter namun kedalaman pemasangannya (h) berbeda – beda diperoleh nilai tahanan pbumian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Optimalisasi dengan Merubah Panjang Pelat (L) pada Sistem Pbumian Pelat

No	Kedalaman (h) Meter	Lebar Pelat (b) Meter	Panjang Pelat (L) Meter	$R_{Pelat}$ (Ohm)
1	2,5	1	2	18,22
2	3	1	2	16,87
3	3,5	1	2	16,00
4	4	1	2	15,33

Dengan ukuran pelat yang memiliki panjang 1 meter dan lebar 2 meter namun kedalaman pemasangannya (h) berbeda-beda diperoleh jumlah pelat yang berbeda-beda dan dapat diketahui jumlah lembar pelat yang dibutuhkan untuk mendapat nilai tahanan pbumian sesuai standar pada Tabel 3.

Tabel 3. Optimalisasi Jumlah Elektroda Pelat dengan Merubah Panjang Pelat (L)

No	Kedalaman (h) Meter	$R_{Pelat}$ (Ohm)	Jumlah Pelat	$R_{Total}$ (Ohm)	Total Pelat
1	2,5	18,22	19	0,958	950
2	3	16,87	17	0,992	850
3	3,5	16,00	17	0,94	850
4	4	15,33	16	0,95	800

Dari hasil perhitungan dan analisis pelat dengan ukuran 1 m x 2 m akan memberikan nilai sistem pbumian yang paling optimal sebesar 0,95 ohm dengan total pelat yang akan dipergunakan untuk kedalaman penanaman 4 meter sebanyak 800 lembar pelat.

### 4.2.2 Perhitungan Tahanan Sistem Pbumian Mesh

Dengan menggunakan Persamaan 2, maka didapatkan hasil perhitungan sistem pbumian Mesh sebagai berikut :

$$R_m = \rho \left[ \frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$R_m = 263,76 \left[ 0,00033 + 0,004 \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,1624} \right) \right]$$

$$R_m = 263,76 \left[ 0,00033 + 0,004 \left( 1 + \frac{1}{1,1624} \right) \right]$$

$$R_m = 263,76 [0,00033 + 0,004 (1 + 0,8602)]$$

$$R_m = 263,76 [0,00033 + 0,004 (1,8602)]$$

$$R_m = 263,76 [0,00033 + 0,00744]$$

$$R_m = 263,76 [0,00777]$$

$$R_m = 2,049 \text{ Ohm}$$

Dengan merubah kedalaman pemasangan mesh (h) diperoleh hasil tahanan pbumian yang berbeda – beda dengan jarak antar konduktor (D) 1 meter dapat dilihat pada Tabel 4.

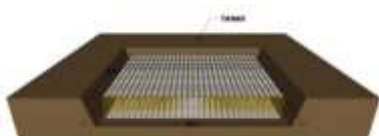
Tabel 4. Optimalisasi dengan Merubah (h) Pada Sistem Pbumian Mesh

No	Kedalaman (h) Meter	Jarak Antar Konduktor Paralel (D)	R <sub>G</sub> (Ohm)
1	2	1	2,049
2	10	1	1,805
3	100	1	1,291
4	1000	1	1,178

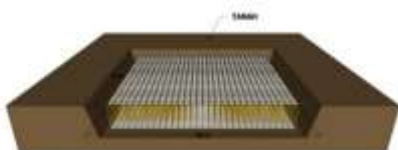
Dari hasil perhitungan dan analisis dengan kedalaman penanaman konduktor (h) yang semakin dalam dari 2 m sampai 1000 m dan jarak antar konduktor paralel D = 1 m tidak mendapatkan hasil sesuai dengan standard < 1 ohm. Maka dari itu untuk sistem pembumian mesh tidak akan dipakai dalam penentuan sistem pembumian di GIS 150 kV Pecatu dikarenakan mustahil untuk mengebor tanah sampai kedalaman 1000 m di daerah perbukitan berbatu kapur.

#### 4.2.3 Perhitungan Tahanan Sistem Pembumian Grid-Rod

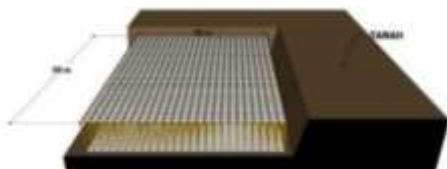
Hasil dari perhitungan sistem pembumian Grid-rod masih belum memenuhi standar < 1 Ohm dengan hasil perhitungan sebesar 1,85 ohm. Maka dari itu untuk mendapatkan nilai pembumian yang optimal pada sistem pembumian Grid-Rod akan dihitung kembali dengan perhitungan Multi Grid-Rod yang akan ditanam sampai kedalaman 5 m di bawah permukaan tanah. Gambar dari sistem pembumian Multi Grid-Rod dapat ditunjukkan pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7. Gambar Tampak Depan Sistem Pembumian Multi Grid-Rod



Gambar 8. Gambar Tampak Belakang Sistem Pembumian Multi Grid-Rod



Gambar 9. Gambar Tampak Samping Sistem Pembumian Multi Grid-Rod

Dengan menggunakan Persamaan 3, 4, 5 dan 6 dengan D = 1 m, maka didapatkan

hasil perhitungan sistem pembumian Grid-Rod sebagai berikut :

Hasil perhitungan nilai R<sub>1</sub> sebagai berikut:

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

$$R_1 = \frac{263,76}{3,14 \cdot 12500} \left[ L_n \left( \frac{2 \cdot 12500}{0,2173} \right) + \frac{1,10 \cdot 12500}{\sqrt{12500}} - 4,5 \right]$$

$$R_1 = 0,00672 [11,653 + 122,984 - 4,5]$$

$$R_1 = 0,00672 [134,637 - 4,5]$$

$$R_1 = 0,00672 [130,137]$$

$$R_1 = 0,875 \text{ Ohm}$$

Hasil perhitungan nilai R<sub>2</sub> sebagai berikut :

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

$$R_2 = \frac{263,76}{2,3 \cdot 14 \cdot 220 \cdot 880} \left[ L_n \left( \frac{4 \cdot 880}{0,015} \right) - 1 + \frac{2 \cdot 1,10 \cdot 4}{\sqrt{12500}} (\sqrt{220} - 1)^2 \right]$$

$$R_2 = 0,000216 [L_n(234666,67) - 1 + 0,0787 (13,832)^2]$$

$$R_2 = 0,000216 [11,366 + 0,0787 (191,32)]$$

$$R_2 = 0,000216 [11,4447 (191,32)]$$

$$R_2 = 0,472 \text{ Ohm}$$

Hasil perhitungan nilai R<sub>m</sub> sebagai berikut :

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

$$R_m = \frac{263,76}{3,14 \cdot 12500} \left[ L_n \left( \frac{2 \cdot 12500}{4} \right) + \frac{1,10 \cdot 12500}{\sqrt{12500}} - 4,5 + 1 \right]$$

$$R_m = \frac{263,76}{39250} \left[ L_n \left( \frac{25000}{4} \right) + \frac{13750}{111,803} - 4,5 + 1 \right]$$

$$R_m = 0,00672 [L_n(6250) + 122,984 - 5,5]$$

$$R_m = 0,00672 [8,740 + 122,984 - 5,5]$$

$$R_m = 0,00672 [131,724 - 5,5]$$

$$R_m = 0,00672 [126,224]$$

$$R_m = 0,848 \text{ Ohm}$$

Hasil perhitungan dari R<sub>1</sub>R<sub>2</sub>R<sub>m</sub> akan dihitung menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut :

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

$$R_G = \frac{(0,875 \cdot 0,472) - 0,848^2}{(0,875 + 0,472) - (2 \cdot 0,848)}$$

$$R_G = \frac{0,306}{0,349}$$

$$R_G = 0,876 \text{ Ohm}$$

Berikut ini akan dianalisis optimalisasi sistem pembumian Multi Grid-Rod dengan merubah ukuran diameter (b) dan total panjang elektroda rod (L<sub>r</sub>) terhadap nilai tahanan pembumian Multi Grid-Rod dapat ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Optimalisasi dengan Merubah (b) dan (L<sub>r</sub>) terhadap Sistem Pembumian Multi Grid-Rod, D = 1 meter

No	Luas (A) Sistem Penumian (m <sup>2</sup> )	Diameter Rod (b) (m)	Panjang Rod (L <sub>r</sub> ) (m)	R <sub>G</sub> (Ohm)
1	12500	0,015	4	0,876
			4,5	0,878
			5	0,877
2	12500	0,020	4	0,877
			4,5	0,877
			5	0,876
3	12500	0,025	4	0,872
			4,5	0,877
			5	0,876

Dari hasil perhitungan dan analisis dengan merubah diameter (b) dan panjang elektroda rod (L<sub>r</sub>) maka akan didapatkan nilai sistem penumian yang paling optimal dengan hasil sistem penumian sebesar 0,876 ohm untuk D = 1 meter.

### 4.3 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem Penumian di GIS 150 kV Pecatu

Setelah melakukan analisis jenis sistem penumian yang akan direncanakan di GIS 150 kV Pecatu selanjutnya akan dihitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang akan diperlukan untuk membangun sistem penumian tersebut.

#### 4.3.1 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem Penumian Pelat

RAB sistem penumian pelat dapat ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. RAB Sistem Penumian Pelat

No	Uraian	Vol/Sat	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.) (Volume x Harga Satuan)
1	Pelat Tembaga (1m x 2 m)	950	4.500.000,-	4.275.000.000,-
2	Penggalian dan Urugan Tanah (2,5 meter)	7500 m <sup>3</sup>	48.000,-	432.000.000,-
3	Pemasangan Pelat	950	25.000,-	23.750.000,-
<b>Total (Rp.)</b>				<b>4.658.750.000,-</b>

Tabel 7. RAB Sistem Penumian Pelat Ukuran (1m x 2m) dengan Merubah Kedalaman (h)

No	Kedalaman	Total (Rp.)
1	2,5	4.658.750.000,-
2	3	4.278.250.000,-
3	3,5	4.350.250.000,-
4	4	4.196.000.000,-

#### 4.3.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem Penumian Multi Grid-Rod

RAB sistem penumian Multi Grid-Rod dapat ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 8. RAB Sistem Penumian Multi Grid-Rod D = 1 m

No	Uraian	Vol/Sat	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.) (Vol/sat.Harga Satuan)
1	Konduktor BC 150 mm <sup>2</sup>	12500	165.000,-	2.062.500.000,-
2	Rod (0,015x4 m)	220	600.000,-	132.000.000,-
3	Pemasangan Rod	220	96.000,-	21.120.000,-
4	Penggalian dan Urugan Tanah (4 meter)	12500 m <sup>3</sup>	98.000,-	1.225.000.000,-
5	Pemasangan Mesh	12500	25.000,-	312.500.000,-
<b>Total</b>				<b>3.753.120.000,-</b>

Tabel 9. RAB Sistem Penumian Multi Grid-Rod D = 1 m

No	Diameter Rod (b) (m)	Panjang Rod (L <sub>r</sub> ) (m)	Total (Rp.)
1	0,015	4	3.753.120.000,-
		4,5	3.889.120.000,-
		5	4.025.120.000,-
	0,020	4	3.786.120.000,-
		4,5	3.922.120.000,-
		5	4.058.120.000,-
0,025	4	3.819.120.000,-	
	4,5	3.955.120.000,-	
	5	4.091.120.000,-	

#### 4.3.3 Perbandingan RAB Sistem Penumian di GIS 150 kV Pecatu

Hasil perhitungan nilai RAB penumian pada sistem penumian Pelat dan Multi Grid-Rod dapat akan dibandingkan pada tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan RAB Sistem Penumian di GIS 150 kV Pecatu

No	Jenis Sistem Penumian	Biaya Sistem Penumian (Optimal)	Keterangan
1	Pelat	Rp. 4.196.000.000,-	1. Ukuran pelat 1m x 2m 2. Jumlah Pelat 800 Lembar Pelat 3. Kedalaman Penanaman 4 Meter
2	Multi Grid-Rod D = 1 Meter	Rp 3.753.120.000,-	1. Jarak Antar Konduktor (D = 1 m) 2. Panjang Konduktor 12500 meter 3. Ukuran Rod (0,015, 4 meter) 4. Kedalaman Penanaman 4 Meter

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Simpulan berdasarkan hasil yang telah dilakukan pada rencana pembangunan GIS 150 kV Pecatu yaitu :

Sistem penumian Multi Grid-Rod dengan tahanan jenis tanah sebesar 0,876 ohm, jarak antar konduktor paralel (D) 1 meter, kedalaman penanaman konduktor 4 meter dari atas permukaan tanah, diameter elektroda rod sebesar 0,015 meter, panjang elektroda rod sebesar 4 meter dan total panjang konduktor 12.500 meter dengan biaya sebesar Rp. 3.753.120.000,- (Tiga Miliar Tujuh Ratus Lima Puluh Tiga Juta Seratus Dua Puluh Ribu Rupiah) adalah sistem penumian yang

optimal dan ekonomis untuk perencanaan pembangunan *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu dengan jenis tanah berbatu kapur.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan disarankan untuk perencanaan sistem pembumian di *Gas Insulated Substation* (GIS) 150 kV Pecatu menggunakan sistem pembumian *Multi Grid-Rod* untuk mendapatkan hasil yang optimal dan ekonomis.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Janardana, IGN. 2005. Perbedaan Penambahan Garam Dengan Penambahan Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan Pada Sistem Pentanahan. *Jurnal Teknologi Elektro*, Volume 4 (1). Denpasar : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- [2] IEEE Standard 80-2000. *IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding*. New York.
- [3] Hutauruk, TS. 1999. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.
- [4] Hutauruk, TS. 1987. Pentanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pentanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.
- [5] Janardana, IGN. 2017. *Analysis Grounding System as Building Equipment Security Udayana University*. *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, Volume 1. Denpasar : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- [6] Zulfikar Limolang. 2012. Studi Pengaruh Jenis Tanah Dan Kedalaman Pembumian Driven Rod Terhadap Resistansi Jenis Tanah. Vol 7, Nomor 14.
- [7] Mukmin, M. Kali, A. Mukhlis, B. 2014. Perbandingan Nilai Pentanahan Pada Area Reklamasi Pantai (Citriland). ISSN 2356-4792 *Jurnal MEKTRIK*, volume 1 (1). Palu: Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako.