

ANALISIS TEGANGAN LANGKAH DAN TEGANGAN SENTUH SERTA PERENCANAAN SISTEM PEMBUMIAN PADA PEMBANGUNAN *SUBSTATION* VVIP DI BANDAR UDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI BALI

Kadek Mirah Mahadewi¹, I Gusti Ngurah Janardana², I Wayan Arta Wijaya³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : mirahmahadewi398@gmail.com¹, janardana@unud.ac.id²

, artawijaya@ee.unud.ac.id³

Abstrak

Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali sebelumnya memiliki *Substation* (SS) D berfungsi melayani sistem kelistrikan untuk pengoperasian pompa limbah dan *airline*, namun saat ini *substation* tersebut sedang dilakukan pengembangan dengan dibangunnya SS VVIP yang melayani sistem kelistrikan untuk pengoperasian gedung VVIP serta pompa limbah dan *airline*. Untuk menjaga keamanan peralatan dan manusia yang berada di sekitar gedung SS VVIP dibutuhkan sistem pembumian yang baik dengan nilai tahanan pembumian < 1 Ohm. Karena tanah di Bandara Ngurah Rai merupakan tanah berpasir, sistem pembumian yang cocok yaitu sistem pembumian Pelat, *Mesh*, *Grid-Rod* [1]. Untuk mendapatkan nilai R < 1 Ohm, dibutuhkan sebuah analisis dari masing – masing sistem pembumian yaitu Pelat, *Mesh*, *Grid-Rod*.

Hasil analisis didapatkan bahwa sistem yang paling aman adalah sistem pembumian *Grid-Rod* dengan nilai tahanan pembumian 0,3718 Ohm, nilai tegangan sentuh 223,51 Volt, nilai tegangan langkah 1188,69 Volt dan biaya perencanaan Rp 7.712.500,-. Berdasarkan data perencanaan pembangunan SS VVIP Bandara Ngurah Rai sistem pembumian yang digunakan sama dengan hasil analisis yaitu sistem pembumian *Grid – Rod*.

Kata kunci : *Substation*, Sistem Pembumian, Tegangan Langkah, Tegangan Sentuh

Abstract

I Gusti Ngurah Rai International Airport Bali previously had a Substation (SS) D which serves the electrical system for the operation of modified Sewage Treatment Plant, however that substation currently under development with the construction of SS VVIP which serves the electrical system for the operation of VVIP buildings and Sewage Treatment Plant. To maintain the security of equipment and humans around the SS VVIP building a good grounding system is needed with a grounding resistance value of <1 Ohm. Because the land at Ngurah Rai Airport is sandy land, the suitable grounding systems are Pelat, Mesh, Grid-Rod groundinh systems [1]. To get an R value <1 Ohm, an analysis of each grounding system is needed, namely Pelat, Mesh, Grid-Rod.

The results of the analysis showed that the safest system was the Grid-Rod grounding system with a grounding resistance value of 0.3718 Ohm, a touch voltage value of 223.51 Volt, a step voltage value of 1188.69 Volt and a planning cost of Rp7,712,500. Based on the construction planning data of the SS VVIP Ngurah Rai Airport, the grounding system used is the same as the result of the analysis of the Grid - Rod grounding system.

Keywords: *Substation, Grounding System, Step voltage, Touch voltage*

1. PENDAHULUAN

Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali sedang mengembangkan paket pekerjaan Konstruksi Apron Timur dan Pemindahan *Sewage Treatment Plant* (STP). Dengan adanya pekerjaan ini, maka dibangun SS VVIP dengan suplai listrik utama bersumber dari *Main Power House* (MPH) 1 Tegangan Menengah 20 kV.

Lokasi Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai berada di pinggir pantai dengan tanah berpasir yang memiliki tahanan jenis tanah (ρ tanah) cukup tinggi akan mempengaruhi besarnya gradien tegangan pada permukaan tanah yang akan menyebabkan tegangan sentuh dan tegangan langkah yang melewati batas aman bagi manusia [2]. Sehingga

mempunyai jenis sistem pembumian yang tepat dengan nilai tahanan pembumian mendekati nilai nol atau < 1 Ohm [3]. Sistem pembumian akan mengalirkan arus gangguan ke tanah dengan menciptakan jalur resistansi pembumian dengan cara penanaman elektroda pembumian.

Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini membahas tentang Analisis Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh serta Perencanaan Sistem Pembumian pada Pembangunan Substation VVIP di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali.

2. SISTEM PEMBUMIAN

2.1 Definisi

Sistem pembumian merupakan suatu metode pengamanan gedung beserta peralatan apabila terjadi arus lebih akan dialirkan ke tanah melalui elektroda pembumian sehingga dapat mengamankan komponen-komponen peralatan dan manusia dari gangguan baik itu gangguan surja petir dan hubung singkat. Sistem pembumian yang ideal dengan nilai tahanan pembumian mendekati nol atau < 1 Ohm [3][4].

2.2 Jenis – jenis Sistem Pembumian

2.2.1 Elektroda Pita

Elektroda yang ditanam secara dangkal dan mendatar (horizontal) di dalam tanah ini merupakan elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal dan secara mendatar (horizontal) di dalam tanah [5].

$$R_{pt} = \frac{\rho}{\pi L_w} \left[\ln \left(\frac{2L_w}{\sqrt{d_w z_w}} \right) + \frac{1.4 L_w}{\sqrt{A_w}} - 5,6 \right] \dots\dots(1)$$

2.2.2 Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang merupakan elektroda dari pipa atau besi baja yang dilapisi tembaga yang penanamannya ditancapkan ke dalam tanah secara tegak lurus atau mendatar [5].

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

2.2.3 Elektroda Pelat

Elektroda pelat adalah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa yang dipasang tegak lurus didalam tanah. Jika diperlukan

beberapa pelat logam untuk memperoleh tahanan pembumian yang lebih rendah, maka jarak antara pelat logam jika dipasang paralel dianjurkan minimum 3 meter [5][6].

$$R_{Pl} = \frac{\rho}{4\pi L} \left[1 + 1,84 \frac{b}{t} \right] \dots\dots\dots(3)$$

2.2.4 Sistem Pembumian Mesh

Sistem pembumian Mesh merupakan sistem pembumian dengan konduktor yang ditanam secara sejajar (horizontal) yang terhubung satu sama lainnya sehingga berbentuk jaring-jaring yang ditanam sejajar pada permukaan tanah [7].

$$R_m = \rho \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \dots\dots\dots(4)$$

2.2.5 Sistem Pembumian Grid

Pada sistem pembumian grid, batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang ini terhubung satu dengan yang lain. Penggabungan sistem pembumian Mesh dan Rod sering disebut dengan sistem pembumian Grid [7].

$$R_G = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \dots\dots\dots(5)$$

2.3 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter pada permukaan tanah, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan sistem pembumian [7].

$$E_{s50} = [1000 + 1,5 C_s \cdot \rho_s] \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \dots\dots\dots(6)$$

2.4 Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara kedua kaki manusia yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri arus gangguan ketanah tanpa menyentuh peralatan [7].

$$E_{l50} = [1000 + 6 C_s \cdot \rho_s] \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \dots\dots\dots(7)$$

2.5 Tegangan Mesh

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh, yang didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang dibumikan terhadap titik tengah daerah yang dibentuk konduktor grid atau kisi-kisi (center of mesh) selama terjadinya gangguan tanah [8].

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_R} \dots\dots\dots(8)$$

2.6 Tegangan Langkah Maksimum

Tegangan langkah maksimum adalah perbedaan tegangan yang terdapat diantara kedua kaki manusia bila berjalan diatas permukaan sistem pembumian pada saat terjadi gangguan [8].

$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_S K_i}{0,75.L_c + 0,85.L_R} \dots\dots\dots(9)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di sekitar Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali yang dimulai dari bulan Oktober 2018. Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengumpulkan data tahanan tanah dan menghitung data tahanan jenis tanah di sekitar *Substation* VVIP di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali sesuai dengan katalog alat ukur (Elohm Z (42/35-86-2XP) $\rho = 2 \pi . a . R$).
2. Menghitung sistem pembumian Pelat.
3. Menghitung sistem pembumian *Mesh*.
4. Menghitung sistem pembumian *Grid-Rod*.
5. Menghitung kriteria tegangan sentuh yang diizinkan.
6. Menghitung kriteria tegangan langkah yang diizinkan.
7. Menghitung tegangan *Mesh* (*Mesh Voltage*).
8. Menghitung tegangan langkah maksimum.
9. Menghitung (RAB) sistem pembumian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Tahanan Tanah di SS VVIP

Sebelum melakukan analisis dilakukan pengukuran tahanan tanah (R) untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah (ρ).

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Tahanan Tanah (R) dan Tahanan Jenis Tanah (ρ)

No	Hari/Tanggal	Pukul (WITA)	Tahanan Tanah (R)	Tahanan Jenis Tanah (Ω -meter) $\rho = 2 . \pi . a . R$
1	Jumat, 5 Oktober 2018	10.00	0,28	35,168
		12.00	0,30	37,68
		14.00	0,30	37,68
		16.00	0,28	35,168
		10.00	0,29	36,424
2	Sabtu, 6 Oktober 2018	12.00	0,30	37,68
		14.00	0,30	37,68
		16.00	0,28	35,168
		10.00	0,29	36,424
		12.00	0,30	37,68
3	Minggu, 7 Oktober 2018	14.00	0,30	37,68
		16.00	0,29	36,424
		10.00	0,28	35,168
		12.00	0,30	37,68
		14.00	0,30	37,68
4	Jumat, 12 Oktober 2018	16.00	0,29	36,424
		10.00	0,29	36,424
		12.00	0,30	37,68
		14.00	0,30	37,68
		16.00	0,28	35,168
5	Sabtu, 13 Oktober 2018	10.00	0,29	36,424
		12.00	0,30	37,68
		14.00	0,30	37,68
		16.00	0,28	35,168
		Tahanan Jenis Tanah (ρ) Terbesar (Maksimal)		

Berdasarkan data hasil pengukuran pada tabel 1 didapat nilai tahanan jenis tanah (ρ) terbesar yaitu 37,68 Ohm-meter.

4.2 Perhitungan Sistem Pembumian Pelat

Tahanan pembumian untuk sistem pelat dengan kedalaman penanaman konduktor 1,5 meter :

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

$$R_{Pl} = \frac{37,68}{4 \times 3,14 \times 1} \left[1 + 1,84 \frac{1}{1,5} \right] = 6,68 \text{ Ohm}$$

Pada sistem pembumian pelat dilakukan perubahan kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter dan panjang pelat (L). Karena penanaman pelat kedalaman 1,5 meter dengan ukuran pelat 1 m x 1 m didapatkan $R_{pelat} = 6,68 \text{ Ohm}$ belum memenuhi standar $R_{pelat} < 1 \text{ Ohm}$, diperlukan memparalelkan pelat.

$$R_{total} \left(\frac{1}{R_t} \right) = \frac{1}{6,68} + \frac{1}{6,68} + \frac{1}{6,68} + \dots + \frac{1}{R_7}$$

$$R_{total} (R_t) = \frac{6,68}{7} = 0,95 \text{ Ohm}$$

$$N_{Pelat} = \frac{6,68}{0,95} = 7 \text{ lembar pelat / titik lokasi}$$

Setelah memparalel pelat dengan merubah – ubah kedalaman dari 1,5 meter – 3 meter dan panjang pelat (L) maka didapatkan nilai tahanan pembumian yang paling minimum sebesar 0,80 Ohm adalah kedalaman penanaman 3 meter sebanyak 9 lembar pelat.

4.3 Perhitungan Sistem Pembumian Mesh

Sistem pembumian *Mesh* merupakan sistem pembumian *Grid* tanpa elektroda *Rod*.

1. Untuk D = 3 meter ; $L_c = 42$ meter dengan h = 1,5 meter :

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

$$R_m = 37,68 \left[\frac{1}{42} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 54}} \left(1 + \frac{1}{1 + 1,5\sqrt{\frac{20}{54}}} \right) \right]$$

$$R_m = 0,3063 \text{ Ohm}$$

2. Untuk D = 4,5 meter ; $L_c = 36$ meter dengan h = 1,5 meter :

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

$$R_m = 37,68 \left[\frac{1}{36} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 54}} \left(1 + \frac{1}{1 + 1,5 \sqrt{\frac{20}{54}}} \right) \right]$$

$$R_m = 0,3293 \text{ Ohm}$$

Pada sistem pembumian *mesh*, setelah melakukan perhitungan dengan merubah – ubah kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter, didapatkan nilai tahanan pembumian yang paling minimum sebesar 0,2602 Ohm untuk D = 3 meter dan 0,2797 Ohm untuk D = 4,5 meter.

4.4 Perhitungan Sistem Pembumian Grid – Rod

Sistem pembumian *Grid-Rod* merupakan penggabungan dari dua jenis sistem pembumian yaitu *Mesh* dan *Rod*.

1. Untuk D = 3 meter ; $L_c = 42$ meter dengan h = 1,5 meter :

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

$$R_G = \frac{(0,5795 \times 0,6780) - 0,07134^2}{(0,5795 + 0,6780) - (2 \times 0,0713)}$$

$$R_G = 0,3478 \text{ Ohm}$$

2. Untuk D = 4,5 meter ; $L_c = 36$ meter dengan h = 1,5 meter :

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

$$R_G = \frac{(0,5975 \times 0,8136) - 0,0559^2}{(0,5975 + 0,8136) - (2 \times 0,0559)}$$

$$R_G = 0,3718 \text{ Ohm}$$

Pada sistem pembumian *Grid-Rod* dilakukan perubahan ukuran diameter (b) dan total panjang elektroda *rod* (L_r) terhadap nilai tahanan pembumian *Grid-Rod* yang akan digunakan. Ukuran diameter elektroda *rod* yang digunakan adalah diameter yang ada dipasaran yaitu sebesar 1,2 cm, 1,5 cm, 2 cm dan 2,5 cm. Maka akan didapatkan nilai sistem pembumian yang paling minimum sebesar 0,2561 Ohm untuk D = 3 meter dan 0,2618 Ohm untuk D = 4,5 meter.

4.5 Kriteria Tegangan Sentuh yang Diizinkan

Kriteria tegangan sentuh untuk berat badan petugas 50 kg dengan waktu 1 detik:

$$E_{s50} = [1000 + 1,5 \times C_s \times \rho_s] \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{s50} = [1000 + 1,5 \times 0,644 \times 3000] \frac{0,116}{\sqrt{1}} = 452,44 \text{ Volt}$$

Kriteria tegangan sentuh untuk berat badan petugas 70 kg dengan waktu 1 detik:

$$E_{s70} = [1000 + 1,5 \times C_s \times \rho_s] \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{s70} = [1000 + 1,5 \times 0,644 \times 3000] \frac{0,157}{\sqrt{1}} = 612,35 \text{ Volt}$$

Hasil kriteria tegangan sentuh yang diizinkan untuk waktu 0,1 sampai 3 detik untuk berat badan petugas 50 kg dan 70 kg seperti tabel 2 berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kriteria Tegangan Sentuh

No	Lama Gangguan t (detik)	\sqrt{t}	Tegangan Sentuh (Volt) (IEEE std 80-2000)	Perhitungan Tegangan Sentuh 50 Kg (Volt)	Perhitungan Tegangan Sentuh 70 Kg (Volt)
1	0,1	0,3162	1980	1430,74	1936,43
2	0,2	0,4472	1400	1011,68	1369,26
3	0,3	0,5477	1140	826,03	1118,00
4	0,4	0,6324	990	715,37	968,21
5	0,5	0,7071	890	639,84	866,00
6	1,0	1	626	452,44	612,35
7	2,0	1,4142	443	319,92	433
8	3,0	1,7320	362	261,21	353,54

4.6 Kriteria Tegangan Langkah yang Diizinkan

Kriteria tegangan langkah untuk berat badan petugas 50 kg dengan waktu 1 detik:

$$E_{l50} = [1000 + 6 \times C_s \times \rho_s] \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{l50} = [1000 + 6 \times 0,644 \times 3000] \frac{0,116}{\sqrt{1}} = 1461,76 \text{ Volt}$$

Kriteria tegangan langkah untuk berat badan petugas 70 kg dengan waktu 1 detik:

$$E_{l70} = [1000 + 6 \times C_s \times \rho_s] \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{l70} = [1000 + 6 \times 0,644 \times 3000] \frac{0,157}{\sqrt{1}} = 1461,76 \text{ Volt}$$

Hasil kriteria tegangan langkah yang diizinkan untuk waktu 0,1 sampai 3 detik untuk berat badan petugas 50 kg dan 70 kg seperti tabel 3 berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kriteria Tegangan Langkah

No	Lama Gangguan t (detik)	\sqrt{t}	Tegangan langkah (Volt) (IEEE std 80-2000)	Perhitungan Tegangan Langkah 50 Kg (Volt)	Perhitungan Tegangan Langkah 70 Kg (Volt)
1	0,1	0,3162	7000	4622,49	6256,30
2	0,2	0,4472	4950	3268,59	4423,87
3	0,3	0,5477	4040	2668,79	3612,08
4	0,4	0,6324	3500	2311,24	3128,15
5	0,5	0,7071	3140	2067,24	2797,90
6	1,0	1	2216	1461,76	1978,41
7	2,0	1,4142	1560	1033,62	1398,95
8	3,0	1,7320	1280	843,94	1142,24

4.7 Tegangan Mesh

Tegangan *Mesh* dapat dihitung sebagai berikut.

1. Untuk D = 3 meter.
 - a. Pada sistem pembumian *mesh* maka (E_m) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_R}$$

$$E_m = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,0634 \times 1,23}{42 + 0} = 497,22 \text{ Volt}$$

- b. Pada sistem pembumian *grid rod* maka (E_m) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_R}$$

$$E_m = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,0634 \times 1,08}{42 + 35} = 257,33 \text{ Volt}$$

Pada sistem pembumian *Mesh* dengan merubah kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter didapatkan nilai $E_m > E_{s50}$ yang paling minimum yaitu sebesar 461,76 Volt > 452,44 Volt, artinya sistem pembumian *Mesh* belum memenuhi kriteria tegangan sentuh yang diizinkan. Sedangkan, pada sistem pembumian *grid rod* dengan merubah diameter (b) dan panjang elektroda rod (L_r) didapatkan nilai $E_m < E_{s50}$ yang paling minimum yaitu sebesar 196,94 Volt < 452,44 Volt dengan kedalaman penanaman konduktor 3 meter dari atas permukaan tanah dan panjang elektroda rod 5 meter, artinya sistem pembumian *grid rod* sudah memenuhi kriteria tegangan sentuh yang diizinkan.

2. Untuk D = 4,5 meter.
 - a. Pada sistem pembumian *mesh* maka (E_m) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_R}$$

$$E_m = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,0627 \times 1,088}{36 + 0} = 491,22 \text{ Volt}$$

- b. Pada sistem pembumian *grid rod* maka (E_m) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_c + L_R}$$

$$E_m = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,0627 \times 1,088}{36 + 35} = 331,4081 \text{ Volt}$$

Pada sistem pembumian *Mesh* dengan merubah kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter didapatkan nilai $E_m > E_{s50}$ yang paling minimum yaitu sebesar 455,95 Volt > 452,44 Volt artinya sistem pembumian *Mesh* belum memenuhi kriteria tegangan sentuh yang diizinkan. Sedangkan, pada sistem pembumian *grid rod* dengan merubah diameter (b) dan panjang elektroda rod (L_r) didapatkan nilai $E_m < E_{s50}$ yang paling minimum yaitu

sebesar 170,23 Volt < 452,44 Volt dengan kedalaman penanaman konduktor 3 meter dari atas permukaan tanah dan panjang elektroda rod 5 meter, artinya sistem pembumian *grid rod* sudah memenuhi kriteria tegangan sentuh yang diizinkan.

4.8 Tegangan Langkah

Tegangan Langkah dapat dihitung sebagai berikut.

1. Untuk D = 3 meter.
 - a. Pada sistem pembumian *mesh* maka (E_{lm}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_s K_i}{0,75 \times L_c + 0,85 \times L_R}$$

$$E_{lm} = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,2123 \times 1,23}{0,75 \times 42 + 0,85 \times 0} = 1420,52 \text{ Volt}$$

- b. Pada sistem pembumian *grid rod* maka (E_{lm}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_s K_i}{0,75 \times L_c + 0,85 \times L_R}$$

$$E_{lm} = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,2123 \times 1,23}{0,75 \times 42 + 0,85 \times 35} = 1297,94 \text{ Volt}$$

Pada sistem pembumian *Mesh* dengan merubah kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter didapatkan nilai $E_{lm} < E_{l50}$ yang paling minimum yaitu sebesar 1065,39 Volt < 1461,76 Volt. Sedangkan, pada sistem pembumian *grid rod* dengan merubah diameter (b) dan panjang elektroda rod (L_r) nilai $E_{lm} < E_{l50}$ dengan nilai tegangan langkah yang paling minimum sebesar 938,74 Volt < 1461,76 Volt dengan kedalaman penanaman konduktor 3 meter dari atas permukaan tanah dan panjang elektroda rod 5 meter. Maka, sistem pembumian *mesh* dan *grid rod* sudah memenuhi kriteria tegangan langkah yang diizinkan.

2. Untuk D = 3 meter.
 - a. Pada sistem pembumian *mesh* maka (E_{lm}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_s K_i}{0,75 \times L_c + 0,85 \times L_R}$$

$$E_{lm} = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,083 \times 1,08}{0,75 \times 42 + 0,85 \times 0} = 1057,02 \text{ Volt}$$

- b. Pada sistem pembumian *grid rod* maka (E_{lm}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_s K_i}{0,75 \times L_c + 0,85 \times L_R}$$

$$E_{lm} = \frac{37,68 \times 7062,29 \times 0,083 \times 1,08}{0,75 \times 42 + 0,85 \times 35} = 1188,69 \text{ Volt}$$

Pada sistem pembumian *Mesh* dengan merubah kedalaman penanaman konduktor (h) dari 1,5 meter – 3 meter didapatkan nilai $E_{lm} < E_{l50}$ yang paling minimum yaitu sebesar 764,31 Volt < 1461,76 Volt.

Sedangkan, pada sistem pembumian *grid rod* dengan merubah diameter (*b*) dan panjang elektroda *rod* (L_r) didapatkan nilai $E_{lm} < E_{l50}$ dengan nilai tegangan langkah yang paling minimum sebesar 859,72 Volt < 1461,76 Volt, dengan kedalaman penanaman konduktor 3 meter dari atas permukaan tanah dan panjang elektroda *rod* 5 meter. Maka, sistem pembumian *mesh* dan *grid rod* sudah memenuhi kriteria tegangan langkah yang diizinkan.

4.9 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Sistem Pembumian

Jenis sistem pembumian yang akan direncanakan di SS VVIP Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai berdasarkan analisis akan RAB yang akan diperlukan untuk membangun sistem pembumian tersebut.

Tabel 4. Perbandingan RAB Sistem Pembumian di SS VVIP Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai

No	Jenis Sistem Pembumian	Biaya Sistem Pembumian (Optimal)	Keterangan
1	Pelat	44.001.000,-	1. Ukuran pelat 1m x 2m 2. Jumlah Pelat 9 Lembar Pelat 3. Kedalaman Penanaman 2 Meter
2	Mesh D = 3 Meter	5.376.000,-	1. Jarak Antar Konduktor (D = 3 m) 2. Panjang Konduktor 42 meter 3. Kedalaman Penanaman 1,5 Meter
	Mesh D = 4,5 Meter	4.608.000,-	1. Jarak Antar Konduktor (D = 4,5 m) 2. Panjang Konduktor 36 meter 3. Kedalaman Penanaman 1,5 Meter
3	Grid-Rod D = 3 Meter	11.585.000,-	1. Jarak Antar Konduktor (D = 3 m) 2. Panjang Konduktor 42 meter 3. Ukuran Rod (0,012, 3,5 meter) 4. Kedalaman Penanaman 1,5 Meter
	Grid-Rod D = 4,5 Meter	7.712.500,-	1. Jarak Antar Konduktor (D = 4,5 m) 2. Panjang Konduktor 36 meter 3. Ukuran Rod (0,012, 3,5 meter) 4. Kedalaman Penanaman 1,5 Meter

4.10 Pemilihan Sistem Pembumian Berdasarkan Hasil Perhitungan

Berdasarkan tabel 5, sistem pembumian yang paling aman ditunjukkan pada sistem pembumian *Grid-Rod D = 4,5* meter.

Tabel 5. Pemilihan Sistem Pembumian di SS VVIP Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai

No	Jenis Sistem Pembumian	Tahanan Pembumian (Ohm)	Biaya Sistem Pembumian (Optimal)	Em	Elm	Keterangan
1	Pelat	0,96	44.001.000,-	-	-	-
2	Mesh D = 3 Meter	0,3063	5.376.000,-	TM	M	Tidak Aman
	Mesh D = 4,5 Meter	0,3293	4.608.000,-	TM	M	Tidak Aman
3	Grid-Rod D = 3 Meter	0,3478	11.585.000,-	M	M	Aman
	Grid-Rod D = 4,5 Meter	0,3718	7.712.500,-	M	M	Aman

Keterangan :

1. (M) Memenuhi Standar (< Es 50) dan (< El 50)
2. (TM) Tidak Memenuhi Standar (> Es 50)(< El 50) dan (< Es 50)(> El 50)

V. SIMPULAN

Berdasarkan lokasi perencanaan pembangunan SS VVIP Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai berada pada jenis tanah berpasir dengan nilai tahanan jenis tanah (ρ_{tanah}) sebesar 37,68 Ohm – meter sehingga dari hasil analisis didapatkan sistem pembumian *grid-rod*, dengan jarak antar konduktor *grid* = 4,5 meter dan jumlah *rod* = 5 dengan nilai tahanan pembumian 0,3718 Ohm, nilai tegangan sentuh 223,51 Volt, nilai tegangan langkah 1188,69 Volt dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dari hasil perhitungan adalah sebesar Rp 7.712.500.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutaeruk, TS. 1987. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Jakarta : Erlangga.
- [2] Dewi, N.A. 2013. “Optimalisasi Rancangan Sistem Pentanahan *Grid-Rod* Pada Gardu Induk PLTP Ulubelu” (Tugas Akhir). Jakarta : Universitas Indonesia.
- [3] IEEE Std 80 (2000). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, IEEE Society, New York.
- [4] Janardana, IGN. 2005. Perbedaan Penambahan Garam dengan Penambahan Bentonit Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan pada Sistem Pentanahan. Jurnal Teknologi Elektro. 4(1). 24-28.
- [5] Sumardjati, P., dkk. 2008. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik (Jilid 1). Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional.
- [6] Kantona, E. 2016. “Perencanaan Pemasangan *Grounding* Penangkal Petir pada Bangunan *CF Silo* di Proyek Indarung VI PT. Semen Padang” (Tugas Akhir). Padang : Politeknik Negeri Padang.
- [7] Kusuma, M.A. 2013. “Studi Analisis Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk (GI) Bandara Ngurah Rai” (Tugas Akhir). Bali : Universitas Udayana.
- [8] Kamal, J., Abduh, S. 2018. Perancangan Sistem Pentanahan Gas *Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV Pulogadung dengan *Finite Element Method*. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Tri Sakti. 15(2). 187- 200.