

Analisa Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Pada Peralatan di Switchyard Gardu Induk Angke PT. PLN (Persero) UIT – JBB Duri Kosambi

Dela Romadani¹; Ibnu Hajar^{2*}

1. Teknologi Listrik, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, DKI Jakarta, DKI Jakarta, 11750, Indonesia
2. Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, DKI Jakarta, DKI Jakarta, 11750, Indonesia

*Email: ibnu.hajar@itpln.ac.id

Received: 9 Desember 2022 | Accepted: 8 Juli 2023 | Published: 8 Juli 2023

ABSTRACT

Substation is part of the electric power system that distributes electrical energy from the generator to the load. It is necessary to ensure safety and security guarantees for the installed equipment and humans at the substation. This research discusses the results of measuring grounding resistance on equipment in the switchyard with quantitative methods based on the results of measuring equipment grounding resistance, step voltage, touch voltage. The quantitative method is based on the quality of the equipment grounding resistance at the Angke Substation switchyard. The value of the equipment grounding resistance at the substation must be able to meet the IEEE Std standard 80 – 2000 that is $< 1 \Omega$. The smaller the grounding value obtained, the better of the grounding. Based on the results of this study, the value of the grounding resistance of the Angke Substation is 0,13 Ω . The value of the touch voltage is 651.55 V for humans weighing 70 kg and 481.4 V for humans weighing 50 kg. With the value of the permissible touch voltage is 626 V. The step voltage value is 2135.2 V for a human weighing 70 kg, and 1577.6 V for a human weighing 50 kg. With a permissible step voltage value of 2216 V.

Keywords: Substation, Equipment grounding resistance, Touch voltage, Step Voltage.

ABSTRAK

Gardu Induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari pembangkit menuju ke beban. Perlu dilakukan pengaman terhadap bahaya gangguan untuk memberikan jaminan keselamatan dan keamanan bagi peralatan yang terpasang serta manusia di Gardu Induk. Penelitian ini menganalisis hasil pengukuran tahanan pentanahan pada peralatan di switchyard dengan metode kuantitatif berdasarkan dari hasil pengukuran tahanan pentanahan peralatan, tegangan langkah, tegangan sentuh. Metode kualitatif berdasarkan kualitas baik atau tidak tahanan pentanahan peralatan pada switchyard Gardu Induk Angke. Besarnya nilai tahanan pentanahan peralatan pada gardu induk harus dapat memenuhi standar IEEE Std. 80 – 2000 adalah $< 1 \Omega$. Semakin kecil nilai pentanahan yang diperoleh maka semakin baik pentanahan. Berdasarkan hasil penelitian ini, besarnya nilai tahanan pentanahan Gardu Induk Angke adalah sebesar 0,13 Ω . Nilai tegangan sentuh sebesar 651,55 V untuk manusia dengan berat 70 kg dan 481,4 V untuk berat manusia 50 kg. Dengan nilai tegangan sentuh yang diizinkan 626 V. Nilai tegangan langkah sebesar 2135,2 V untuk manusia dengan berat 70 kg, dan 1577,6 V untuk berat manusia 50 kg. Dengan nilai tegangan langkah yang diizinkan sebesar 2216 V.

Kata kunci: Gardu Induk, Tahanan Pentanahan Peralatan, Tegangan sentuh, Tegangan Langkah

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik yang berasal dari pembangkit menuju ke beban. Selama dalam pengoperasian, peralatan yang ada pada gardu induk harus dapat bekerja dalam keadaan yang normal. Namun kenyataannya, seringkali terjadi situasi yang dapat mengganggu yaitu seperti hambatan atau kondisi abnormal. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kerugian pada kelangsungan serta stabilitas sistem tenaga listrik. Gangguan ini akan terus mengalir pada peralatan dan menuju ke dalam tanah di gardu induk [1].

Upaya dalam mengatasi gangguan yang terjadi pada gardu induk ini sehingga dilakukan untuk pentanahan pada peralatan. Hal ini bertujuan dalam menghindari timbul adanya sengatan listrik apabila terdapat kebocoran arus peralatan, untuk memperkecil batas tegangan yang ditimbulkan. Dengan melakukan penelitian pada tahanan pentanahan *switchyard* di Gardu Induk, maka seluruh peralatan yang terpasang dan seluruh permukaan tanah memiliki tegangan yang merata [2] [3].

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan terkait besar pentanahan gardu induk diantaranya, penelitian yang dilakukan pada Gardu Induk Teling dengan menggunakan metode konstruksi grid dengan luasan area pentanahan 1500 m² diperoleh nilai pentanahan dengan batang pentanahan grid sebesar 0,47 Ohm, dan grid pentanahan tanpa batang pentanahan adalah 0,18 Ohm dengan mengacu pada standar 0 – 1 Ohm untuk pentanahan gardu induk [1], demikian juga penelitian yang dilakukan pada pada *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul dengan luasan area pentanahan 9000 m² menggunakan standar yang sama yaitu standar IEEE 80 – 2000 diperoleh nilai yang kurang lebih sama [4]. Kemudian penelitian yang dilakukan pada jaringan gardu induk 150 kV PT. Bekasi Power, Cikarang yang menggunakan system pentanahan elektroda batang dengan menggunakan standar PUIL 2000, SNI 04-00225-2000 dengan maksimal tahanan pentanahan yang diizinkan adalah 5 Ohm diperoleh nilai pentanahan 1,21 Ohm (maksimal) dan 1,13 Ohm (minimal) [2] [3].

Penelitian ini merupakan suatu evaluasi besarnya nilai tahanan pentanahan pada *switchyard* GI Angke yang mengacu pada standar IEEE Std. 80 – 2000, perhitungan besarnya nilai tegangan langkah dan tegangan sentuh yang ditimbulkan pada *switchyard* GI Angke, dan merupakan rekomendasi perbaikan bila diperoleh nilai tidak sesuai standar IEEE Std.80-2000.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode untuk pengumpulan data yaitu studi literatur, metode observasi, dan metode wawancara. Dalam melakukan analisis data penelitian ini menggunakan dengan metode kuantitatif berdasarkan dari hasil pengukuran dan perhitungan matematis dan metode kualitatif berdasarkan kualitas dari hasil pengukuran serta perhitungan.

Adapun tahapan – tahapan penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir Gambar 1 dibawah ini.

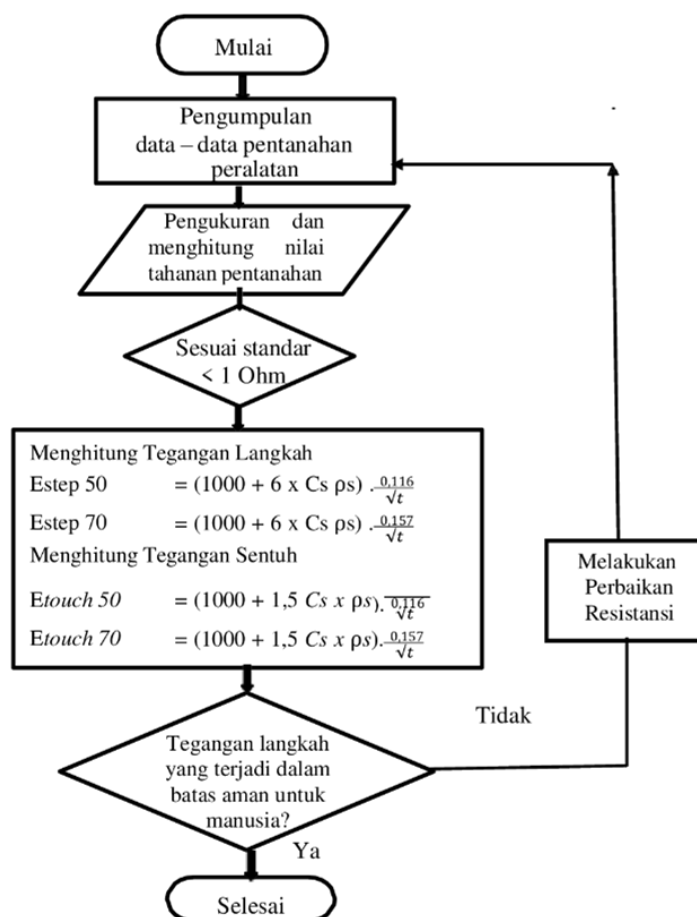
A. Sistem pentanahan

Sistem pentanahan merupakan bagian dari sistem tenaga listrik dan memiliki fungsi untuk pentanahan apabila terjadi adanya tegangan atau arus lebih untuk mengurangi besarnya gangguan yang ditimbulkan. Nilai pentanahan berdasarkan standar dengan nilai R mendekati nilai 0 atau ≤ 1 Ohm [4]. Sistem pentanahan sebagai untuk membatasi tegangan antara peralatan serta peralatan dengan tanah. Sehingga apabila mengalami kegagalan akibat dari isolasi peralatan maka nilai tahanan

pentanahan sangat besar. Oleh karena itu sangat penting dilakukan adanya sistem pentanahan yang bertujuan agar dapat memberikan pengamanan terhadap peralatan yang ada di gardu untuk terus beroperasi secara baik [5] [6].

Tujuan pentanahan peralatan

1. Memberikan batasan tegangan pada bagian peralatan yang tidak dilalui arus listrik dan bagian antar tanah agar dapat memberikan nilai yang baik guna keamanan yang tidak membahayakan pada keadaan normal maupun terjadi gangguan [7].
2. Untuk mendapatkan hasil nilai impedansi yang rendah yang berasal dari aliran arus hubung singkat ke tanah. Apabila terjadi adanya arus hubung singkat ke tanah yang mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi maka akan menyebabkan besarnya perbedaan potensial. Dengan adanya impedansi yang besar pada pentanahan dapat menyebabkan timbul busur listrik [7].



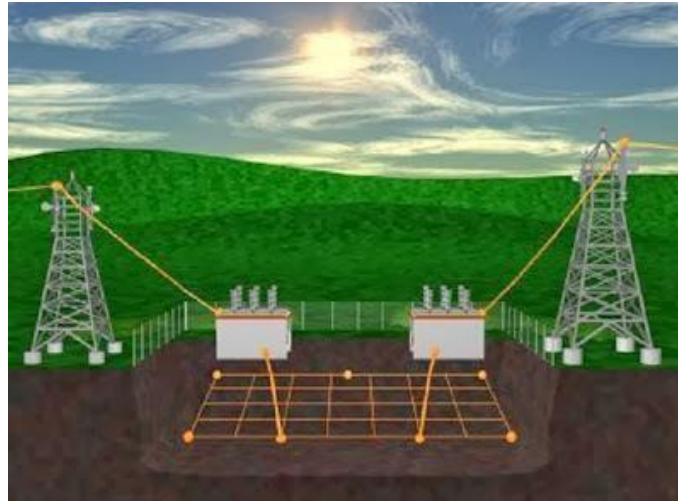
Gambar 1. Diagram alir

Sistem pentanahan pada peralatan di gardu induk memiliki dua jenis sistem pentanahan yaitu Sistem grid dan sistem rod.

1. Sistem Grid

Sistem grid menerapkan dengan cara ditanam elektroda secara sejajar pada permukaan tanah, sehingga elektroda terhubung satu sama lain. Sistem ini

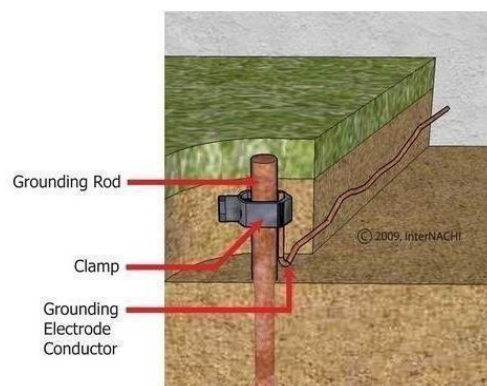
memiliki banyak konduktor yang ditanam maka diperoleh nilai tahanan yang rendah [8]. Dikarenakan banyak menggunakan konduktor yang tidak sebanding dengan nilai pentanahannya yang rendah. Maka fungsi dari konduktor ini berperan dalam mengalirkan arus ke tanah. Jarak antar elektroda yang berdekatan menyebabkan volume elektroda tidak memiliki batas kemampuan dalam menerima arus listrik [3]. Bentuk pentanahan sistem grid ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk pentanahan sistem grid

2. Sistem Rod

Sistem rod ini digunakan bertujuan untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang rendah sehingga diperlukan jumlah konduktor yang banyak [9]. Bila terjadi adanya gangguan yang mengalir ke tanah maka akan menyebabkan naiknya gradien tegangan pada permukaan tanah. Apabila terjadi adanya arus gangguan mengalir ke tanah, arus gangguan akan menyebabkan kenaikan gradien tegangan permukaan tanah [10]. Bentuk pentanahan sistem rod ini ditunjukkan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk pentanahan sistem rod

Untuk menghitung tahanan pentanahan dapat dirumuskan pada persamaan (1) berikut:

$$Rg = \rho_1 \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} \times A} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \tag{1}$$

Dimana:

- Rg = Tahanan Pentanahan grid (Ω)
- ρ1 = Tahanan jenis tanah (Ωm)
- h = kedalaman penanaman konduktor grid (m)
- A = luas lahan pentanahan grid (m²)
- L = Panjang total konduktor grid dan batang (m)

B. Macam – macam tegangan

1. Tegangan sentuh (*contact/touch voltage*)

Tegangan sentuh (*contact voltage*) adalah tegangan yang muncul karena disebabkan manusia yang menyentuh bagian yang dialiri arus listrik [11]. Manusia dengan berat 50 kg dan 70 kg berada diantara satu objek dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) sebagai berikut :

$$Etouch\ 50 = (1000 + 1,5\ Cs \times \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \tag{2}$$

$$Etouch\ 70 = (1000 + 1,5\ Cs \times \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \tag{3}$$

Dimana :

- Etouch 50 = tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (V)
- Etouch 70 = tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70 kg (V)
- ρs = Tahanan jenis lapisan permukaan tanah (Ωm)
- t = Waktu kejut atau lama gangguan tanah (detik)

Faktor reduksi (Cs) dari penggunaan koral atau pasir/kerikil kering, maka persamaan (4) berikut digunakan:

$$Cs = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_s} \right)}{2\ hs + 0,09} \tag{4}$$

Dengan :

- Cs = Faktor reduksi karena ada lapisan permukaan tanah
- hs = Ketebalan lapisan permukaan (m)
- ρ1 = Tahanan jenis tanah (Ωm)
- ρs = Tahanan jenis lapisan permukaan tanah (Ωm)

2. Tegangan Langkah

Tegangan langkah terjadi karena adanya tegangan yang berada diantara dua kaki manusia yang berdiri permukaan tanah yang dialiri oleh arus tembus ke tanah. Tegangan langkah ini terjadi disebabkan karena ada potensial pada permukaan tanah dari dua titik dengan jarak 1 meter [12].

Untuk arus yang melalui tubuh manusia dengan berat 50 kg $Ik = \frac{0,116}{\sqrt{t}}$

Sedangkan arus yang melalui tubuh manusia dengan berat 70 kg $I_k = \frac{0,157}{\sqrt{t}}$

Dengan demikian tegangan langkah pada manusia dengan berat 50 kg dan 70 kg dapat dihitung dengan persamaan (5) dan (6) sebagai berikut :

$$E_{step\ 50} = (1000 + 6\rho_s \cdot Cs) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \tag{5}$$

$$E_{step\ 70} = (1000 + 6\rho_s \cdot Cs) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \tag{6}$$

Dengan:

Estep 50 = tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (V)

Estep 70 = tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70 kg (V)

ρ_s = Tahanan jenis lapisan permukaan tanah (Ωm)

t = Waktu kejut atau lama gangguan tanah (detik)

Cs = Faktor reduksi karena ada lapisan permukaan tanah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pentanahan GI Angke ini memiliki kapasitas sebesar 150 kV dengan luas 60 x 40 = 2.400 m² menggunakan sistem pentanahan grid baik di *switchyard* dan gedung/ruang kontrol. Pentanahan dengan mesh atau grid merupakan cara pentanahan dengan memasang kawat konduktor elektroda secara membujur dan melintang dengan bertujuan untuk mendapatkan nilai pentanahan yang rendah. Data lapangan dari sistem pentanahan GI Angke ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Sistem Pentanahan

Panjang maksimum grid	60 m
lebar maksimum grid	40 m
Arus hubung singkat (If)	43,02 kA
Waktu kejut/lamanya gangguan (t)	1,0 s
Kedalaman grid (h)	0,8 m
Jarak antara konduktor grid (D)	6 m
Jumlah konduktor (nx)	11
Jumlah konduktor (ny)	8
Panjang batang elektroda (l)	3
Jumlah batang elektroda yang ditanam (nR)	22
Tahanan tubuh manusia (Rk)	1000
Tahanan jenis tanah (ρ)	12,83 Ωm
Tahanan jenis lapisan permukaan tanah (ρ_s)	3000 Ωm
Ketebalan permukaan batu koral (hs)	0,15
Faktor kesalahan arus diuji (Sf)	0,28
Faktor pengurangan menentukan IG (Df)	8,4 kA

A. Tahanan pentanahan

Tahanan pentanahan suatu gardu induk dikatakan baik apabila tahanan pentanahan memenuhi standar IEEE Std. 80 – 2000 yaitu $< 1 \Omega$. Apabila tahanan pentanahan nilainya melebihi dari 1Ω . Maka sebaiknya dilakukan perbaikan resistansi. Dengan menggunakan persamaan (1) tahanan grid dapat diperoleh sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 R_g &= \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \\
 &= 12,83 \left[\frac{1}{746,1} + \frac{1}{\sqrt{20 \times 2400}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \\
 &= 0,13 \Omega
 \end{aligned}$$

B. Tegangan Langkah

Untuk menghitung tegangan langkah maksimum dengan menggunakan rumus berdasarkan IEEE Std. 80 – 2000 maka harus mengetahui total panjang konduktor grid, keliling panjang grid pentanahan, panjang total batang elektroda, jumlah konduktor paralel, faktor koreksi geometri, panjang konduktor dan batang elektroda, faktor jarak tegangan langkah, dan arus grid.

Untuk menghitung total panjang konduktor grid dan keliling panjang grid pentanahan menggunakan rumus luas persegi panjang.

Dimana :

Jumlah Konduktor (nx)	= 11
Jumlah konduktor (ny)	= 8
Panjang maksimum grid	= 60 m
Lebar maksimum grid	= 40 m

Total Panjang konduktor grid :

$$\begin{aligned}
 L_c &= (8 \times 60 \text{ m}) + (11 \times 40 \text{ m}) \\
 &= 920 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Keliling Panjang grid pentanahan

$$\begin{aligned}
 L_p &= (2 \times 60) + (2 \times 40) \\
 &= 200 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang total batang elektroda

$$\begin{aligned}
 L_r &= \text{jumlah batang elektroda} \times \text{Panjang batang elektroda} \\
 &= (22 \times 3 \text{ m}) \\
 &= 66 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jumlah konduktor batang yang diparalelkan (nr)

$$na = \frac{2 L_c}{L_p}$$

$$= \frac{2 \times 920}{200}$$

$$= 9,2$$

$$nr = na \cdot nb \cdot nc \cdot nd$$

$$= 9,2 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$= 9,2$$

dimana $nb \cdot nc \cdot nd = 1$, untuk grid berbentuk persegi Panjang

Faktor koreksi geometri

$$Ki = 0,644 + 0,148 \cdot nr$$

$$= 0,644 + 0,148 \times 9,2$$

$$= 2$$

Total panjang konduktor grid dan batang elektroda

$$Ls = 0,75 Lc + 0,85 Lr$$

$$= 0,75 \times 920 + 0,85 \times 66$$

$$= 746,1 \text{ m}$$

Faktor jarak tegangan langkah

$$Ks = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{nr-2}) \right]$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \times 0,8} + \frac{1}{6 + 0,8} + \frac{1}{6} (1 - 0,5^{9,2-2}) \right]$$

$$= 0,29 \text{ m}^{-1}$$

Arus gris simetris

$$I_G = Df \times If \times Sf$$

$$= 8,4 \times 43,02 \text{ kA} \times 0,28$$

$$= 101,183 \text{ kA}$$

$$= 101.183 \text{ A}$$

Tegangan langkah maksimum

$$Es \text{ max} = \frac{\rho \times Ks \times Ki \times I_G}{Ls}$$

$$= \frac{12,83 \times 0,29 \times 2 \times 101.183}{746,1}$$

$$= 1009,1 \text{ V}$$

Faktor Reduksi

Menurut IEEE Std 80 – 2000, faktor koreksi (Cs) digunakan dalam perhitungan tegangan langkah dan tegangan sentuh. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan faktor koreksi (Cs).

$$Cs = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2 \cdot hs + 0,09}$$

$$= 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{12,83}{3000}\right)}{2 \cdot 0,15 + 0,09}$$

$$= 0,7$$

Tegangan langkah untuk berat manusia 50 kg

$$\begin{aligned} \text{Estep 50 kg} &= (Rk \times 6 \times Cs \times \rho s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \\ &= (1000 \times 6 \times 0,7 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{1,0}} \\ &= 1577,6 \text{ V} \end{aligned}$$

Tegangan langkah untuk berat manusia 70 kg

$$\begin{aligned} \text{Estep 70 kg} &= (Rk \times 6 \times Cs \times \rho s) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \\ &= (1000 \times 6 \times 0,7 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{1,0}} \\ &= 2135,2 \text{ V} \end{aligned}$$

C. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh untuk berat manusia 50 kg

$$\begin{aligned} \text{Etouch 50 kg} &= (Rk \times 1,5 \times Cs \times \rho s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \\ &= (1000 \times 1,5 \times 0,7 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{1,0}} \\ &= 481,4 \text{ V} \end{aligned}$$

Tegangan sentuh untuk berat manusia 70 kg

$$\begin{aligned} \text{Etouch 70 kg} &= (Rk \times 1,5 \times Cs \times \rho s) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \\ &= (1000 \times 6 \times 0,7 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{1,0}} \\ &= 651,55 \text{ V} \end{aligned}$$

D. Waktu kejut yang diizinkan

Waktu kejut yang diizinkan ini berperan untuk mengetahui besarnya keamanan pentanahan di gardu induk. apabila waktu kejut yang diizinkan pada pentanahan lebih besar nilainya dari waktu setting ketika pemutus tenaga/ pengaman membuka, maka tahanan pentanahan dinyatakan aman.

$$\begin{aligned} t_{step \text{ max } 50 \text{ kg}} &= \frac{0,116}{E_s} (6 \times Cs \times \rho s + 1000)^2 \\ &= \frac{0,116}{1009,1} (6 \times 0,7 \times 3000 + 1000)^2 \\ &= 21261,8 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{step \text{ max } 70 \text{ kg}} &= \frac{0,116}{E_s} (6 \times Cs \times \rho s + 1000)^2 \\ &= \frac{0,116}{1009,1} (6 \times 0,7 \times 3000 + 1000)^2 \\ &= 21261,8 \text{ detik} \end{aligned}$$

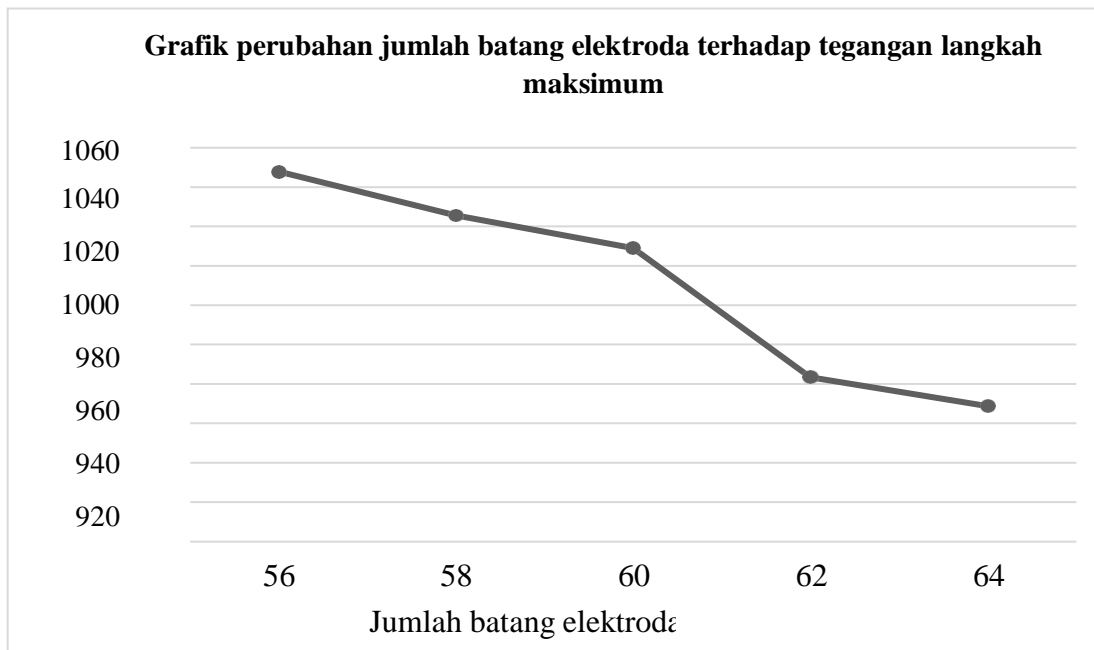
E. Arus yang melalui tubuh manusia

$$\begin{aligned}
 I_k &= \frac{E_m}{R_k} \\
 &= \frac{1009,1 V}{1000 \Omega} \\
 &= 1,0091 A
 \end{aligned}$$

F. Perhitungan Tegangan Langkah Maksimum apabila jumlah batang elektroda yang ditanam dikurangi atau ditambah

Tabel 2. Tegangan Langkah Maksimum apabila jumlah batang elektroda yang ditanam dikurangi atau ditambah

Batang Elektroda	Lc	Es Max (volt)	Estep 50 kg(volt)	Estep 70kg (volt)
56	888	1047,9	1577,6	2135,2
58	904	1025,6		
60	920	1009,1		
62	936	943,5		
64	952	928,8		



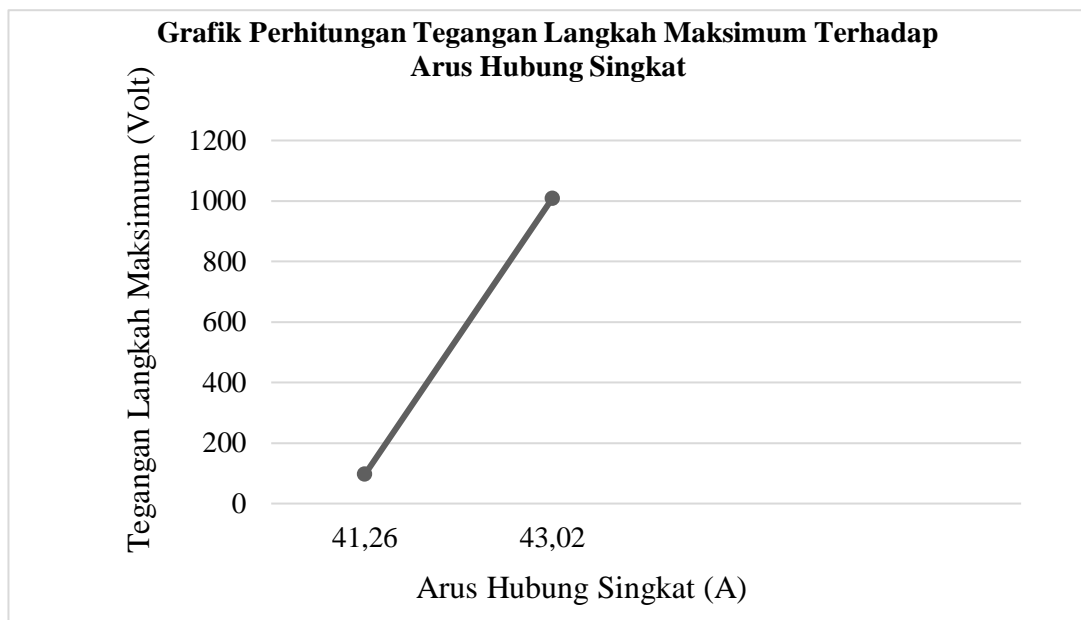
Gambar 4. Grafik Perubahan Jumlah Batang Elektroda Terhadap Tegangan Langkah Maksimum

Apabila jumlah batang elektroda yang ditanam pada gardu induk ditambah maka pada tegangan langkah maksimum semakin kecil nilainya. Sehingga untuk memperoleh hasil nilai tahanan pentanahan yang rendah perlu menambahkan jumlah elektroda yang ditanam. Dengan menambah elektroda maka nilai pentanahan aman dan baik untuk manusia dan peralatan yang terpasang.

G. Perhitungan Tegangan Langkah Maksimum Berdasarkan Besarnya Arus Hubung Singkat

Tabel 3. Tegangan Langkah Maksimum Berdasarkan Besarnya Arus Hubung Singkat

Bus	Arus Hubung Singkat (kA)	Tegangan Langkah Maksimum (Volt)
II-5	43,02 kA	1009,1 V
I-5	41,26 kA	967,88 V



Gambar 5. Grafik Perhitungan Tegangan Langkah Maksimum Terhadap Arus Hubung Singkat

Apabila nilai arus hubung singkat meningkat maka akan menyebabkan tegangan langkah maksimum semakin besar nilainya. Tegangan langkah maksimum akan menyebabkan lebih dari tegangan langkah yang diizinkan. Sehingga dilakukan modifikasi desain yang akan bertujuan untuk mengatur jumlah batang konduktor yang akan ditanam serta dapat mengatur jarak antar konduktor. Hal ini akan mempengaruhi total Panjang konduktor sebagai untuk memenuhi syarat mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang baik dan aman di gardu induk.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis hasil dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan berikut:

- (1) Sistem pentanahan pada gardu induk angke 150 kV dengan menggunakan sistem pentanahan grid. Sistem ini dengan elektroda yang ditanam secara sejajar di permukaan tanah yang saling berhubungan satu sama lain. Berdasarkan dari hasil perhitungan besarnya nilai tahanan pentanahan pada peralatan (R_g) diperoleh nilai $0,13 \Omega$. Maka tahanan pentanahan memenuhi persyaratan aman berdasarkan standar IEEE Std. 80 – 2000
- (2) Berdasarkan dari hasil analisis dan perhitungan, tegangan langkah diperoleh lebih kecil nilainya dari tegangan langkah yang diizinkan yaitu sebesar $1577,6 V \leq 2216 V$ untuk berat manusia 50 kg dan $2135,2 V \leq 2216 V$ untuk berat manusia 70 kg. nilai tegangan langkah untuk berat manusia 50 kg dan 70 kg memenuhi persyaratan aman dan bernilai baik berdasarkan standar IEEE Std. 80 – 2000.
- (3) Nilai dari hasil perhitungan pada tegangan sentuh untuk berat manusia 50 kg sebesar 481,4 V sehingga dikategorikan aman menurut standar IEEE Std. 80 – 2000 yaitu 626 V. Namun tegangan sentuh untuk berat 70 kg sebesar 651,55 V tidak memenuhi syarat standar dikarenakan nilainya lebih besar dari tegangan sentuh yang diizinkan maka dinyatakan tidak aman. Hal ini akan mempengaruhi sistem pentanahan pada gardu induk. dengan melakukan penambahan elektroda serta konduktor grid akan memperbaiki untuk memperoleh nilai tahanan pentanahan yang rendah dan aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Masaryo Gatra Nastiti dan Gardu Induk Angke PT. PLN (Persero) UIT – JBB Duri Kosambi yang telah memberi dukungan, petunjuk, saran – saran serta bimbingan yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Agus Pranoto, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)," Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi), P. 2, 2018.
- [2] J. Agus Riyanto, "Analisis Sistem Pentanahan Jaringan Gardu Induk 150 Kv PT Bekasi Power Cikarang," P. 59, 2019.
- [3] J. Agus Riyanto, "Analisis Sistem Pentanahan Jaringan Gardu Induk," Ejournal Kajian Teknik Elektro, Vol. 4 No.1, Pp. 59-61, 2019 .
- [4] I. The Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Ieee Guide For Safety In Ac Substation Grounding 80-2000, New York, Usa.
- [5] I. Hajar, "Disain Sistem Pentanahan Proteksi Petir Sistem Multiple Vertical Electrodes Pada Terminal Lawe-Lawe Pertamina Dhp," Jurnal Sutet, Vol. 7 Nomor 1, Pp. 48-53, 2017 (Januari-Mei).
- [6] A. S. Wibowo, "Evaluasi Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah," 2019.
- [7] W. D. Praktikto, "Kajian Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Pada Pembumian Gardu Induk Kemayoran," Pp. 6-21, 2018.

-
- [8] S. H. M. Takhmil Imam Rifa'i, "Analisis Sistem Pentanahan Dengan Konstruksi Berbentuk Kisi Kisi(Grid) Pada Switchyard Gardu Induk 150 Kv Bantul," Jurnal Elektrikal , Vol. 4 No.2, Pp. 73-79, 2017 (Desember).
- [9] M. F. R. Saragi, "Analisis Sistem Pembumian Gardu Induk Berisolasi Gas 150 Kv Kembangan Dengan Konstruksi Grid," 2017.
- [10] Samsurizal, S., & Nugroho, T. G. (2020). Studi Perhitungan Rele Tanah (GFR) Akibat Gangguan Simpatetik Trip Pada Penyulang Tegangan Menengah. SUTET, 10(1), 1-14.
- [11] W. Andesito, "Evaluasi Keamanan Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk150 Kv," Pp. 6-13, 2018.
- [12] B. Hary Budiman, "Evaluasi Tegangan Sentuh Tegangan Langkah Dan Tegangan Pindah Gitet 275 Kv Bengkayang," Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjung Pura, Vol. 2 No.1, 2020.
- [13] A. V. W. R. Manalu, "Analisis Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Pada Sistem Pembumian Di Gardu Induk Plumpang," 2018.