




Perencanaan Pemasangan Sistem Pentanahan pada Gardu Induk 150kv Semen Grobogan

Moch Zainal Arifin¹, Izza Aula Wardah², Hadi Tasmono³

^aProdi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl. Srmolowaru 45 Surabaya, Indonesia

¹arifinuyhee296@gmail.com; ²iwardah@untag-sby.ac.id; ³haditasmono@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article History Submission 10-07-2024 Revision 12-07-2024 Accepted 12-08-2024</p> <p>Kata Kunci: Gardu Induk, Sistem Pentanahan Gardu Induk, Kisi-kisi (<i>Mesh</i>)</p>	<p>Gardu Induk merupakan suatu sistem atau rangkaian dari beberapa peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan Listrik dari pembangkit sampai ke pelanggan. Pada Gardu Induk terdapat peralatan Listrik terutama Transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan Listrik dari tegangan tinggi sampai ke tegangan menengah yang disalurkan ke penyulang penyulang gardu distribusi 20kV. Untuk megamankan atau menjaga peralatan pada gardu induk dibutuhkan sebuah sistem pembumian yang difungsikan untuk mempercepat menyalurkan tegangan dan arus lebih ke tanah atau ke bumi yang berpotensi merusak peralatan, sehingga peralatan menjadi aman karena arus serta tegangan sampai ke bumi dengan cepat dan optimal. Pada perencanaan sistem pembumian. Ada beberapa desain atau metode untuk membuat sistem yang optimal yaitu sistem pentanahan Kisi-kisi (<i>Mesh</i>), Sistem pentanahan batang konduktor (<i>Rod</i>) dan Sistem pembumian <i>grid-rod</i>. Perencanaan ini bertujuan untuk mendesain atau merencanakan desain pentanahan gardu induk yang optimal dan sesuai standar SPLN serta <i>IEEE Std. 80-2000, IEEE Guide For Safety in AC Substansion Grounding</i> dengan nilai tahanan pembumian yang rendah supaya cepat menyalurkan arus dan tegangan apabila ada gangguan. Dari hasil perencanaan dan analisis sistem pentanahan kisi kisi atau <i>mesh</i> diperoleh nilai tahanan pembumian sebesar $0,0276 \Omega$ menggunakan konfigurasi desain Kisi-kisi 5×5 meter dengan total panjang konduktor 2160 meter. Dari hasil perhitungan desain pentanahan Gardu Induk Kisi-kisi dengan konfigurasi desain 5×5 meter sudah sesuai standar sistem pentanahan gardu induk yaitu dibawah 1Ω.</p> <p style="text-align: right;">This is an open access article under license CC-BY-SA.</p> 

1. Pendahuluan

Gardu Induk merupakan sistem instalasi listrik yang terdiri dari beberapa perangkat listrik yang menghubungkan energi listrik dari generator ke jaringan transmisi. Selanjutnya, energi tersebut dialirkan ke jaringan distribusi primer dan berfungsi sebagai penyalur listrik dengan kapasitas KVA, MVA tergantung pada tegangan operasional [1]. Keberhasilan operasional sistem kelistrikan sangat bergantung pada pengoperasian gardu induk yang

handal dan efisien. Oleh karena itu, gardu induk dapat dianggap sebagai inti dari sistem tenaga listrik [2].

Sistem pentanahan merupakan sistem *konduktif* yang menghubungkan peralatan listrik dan fasilitas Gardu Induk ke tanah untuk melindungi manusia dari sengatan listrik serta melindungi peralatan dari bahaya tegangan atau arus tidak normal. Oleh karena itu, sistem pentanahan memiliki peran penting dalam menjaga keamanan gardu induk dari gangguan listrik. Saat merancang gardu induk, penting untuk memperhatikan jenis tanah karena nilai resistansi sistem pentanahan dipengaruhi oleh faktor seperti jenis tanah, suhu, kelembaban, dan karakteristik elektroda yang digunakan. Sistem pentanahan yang efektif adalah yang memiliki resistansi tanah mendekati nol atau kurang dari satu ohm [3] [4].

Salah satu jenis sistem pentanahan yang umum digunakan untuk gardu induk adalah kombinasi sistem pentanahan grid dan ground rod. Kombinasi ini mempertimbangkan nilai resistivitas tanah, kedalaman penyisipan elektroda, dan luas area tanah untuk mencapai tegangan ground yang aman sesuai dengan standar keselamatan. Desain sistem pentanahan bisa beragam, seperti persegi, persegi panjang, L, T, dan segitiga, yang bergantung pada konfigurasi grid dan batang elektroda yang digunakan [3].

Karena peran pentingnya dalam penyediaan tenaga listrik, gardu induk memerlukan keandalan dan kontinuitas operasi. Implementasi sistem pentanahan yang sesuai sangat penting untuk memastikan keselamatan peralatan dan manusia di sekitarnya sesuai dengan standar yang berlaku.

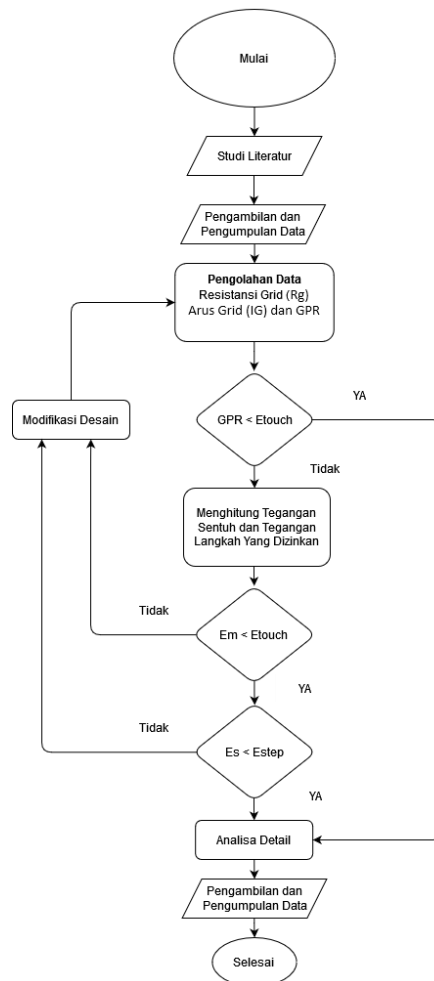
2. Metode Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan tahapan-tahapan agar penelitian yang dilakukan berjalan dengan baik serta tujuan utamanya adalah untuk menyediakan panduan yang jelas dan memastikan penggunaan metode yang tepat dalam penelitian, serta mengurangi risiko terjadinya kesalahan selama proses penulisan hasil dari penelitian [5]. Hal pertama untuk melakukan penelitian ini yaitu melakukan studi literatur tentang sistem pentanahan pada gardu induk. Lalu selanjutnya akan dilakukan pengambilan data dilapangan atau dilokasi tujuan yang akan dibangun sebuah sistem pentanahan hal ini guna menunjang untuk perhitungan sebuah sistem pentanahan kisi kisi. Untuk lebih detailnya tahapan untuk menyelesaikan rumusan masalah pada penelitian ini ditampilkan dalam bentuk diagram alir. Di bawah ini akan dijelaskan langkah prosedur dalam merancang suatu sistem pentanahan.

Saat merancang sistem pentanahan suatu gardu induk, langkah pertama yang dilakukan adalah mengukur resistansi spesifik pentanahan di lokasi gardu induk yang direncanakan. Cara mengukur resistivitas tanah adalah dengan menggunakan metode Wenner [6]. Selain hasil pengukuran resistivitas tanah, informasi lapangan yang diperlukan adalah luas gardu induk. Pada Langkah kedua yaitu menentukan ukuran konduktor pentanahan. Langkah ketiga menghitung atau menentukan tegangan sentuh dan tegangan Langkah yang diizinkan berdasarkan Standar IEEE 80-2000 [5] [7]. Pada Langkah keempat yaitu merancang rancangan awal sebuah konduktor yang mengilingi area gardu induk yang akan digunakan untuk sistem pentanahan. Pada Langkah keempat ini dilakukan rancangan peletakan konduktor *BCC* dengan jarak tertentu dan rod pentanahan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lapangan, Pada

Langkah kelima menghitung Perhitungan Tahanan Tanah (R_G) langkah kelima menghitung arus maksimal *grid*. Maka selanjutnya setelah menghitung arus maksimal *grid* menghitung nilai *GPR* (*Ground Potential Rise*) [5]. Pada langkah kedelapan, hitung tegangan mesh dan tegangan langkah sebenarnya.

Selain itu, jika tegangan mesh yang dihitung lebih rendah dari tegangan sentuh yang diizinkan, desain dapat dilanjutkan ke Langkah berikutnya dan Jika tegangan listrik yang dihitung lebih tinggi dari yang diizinkan, desain asli harus direvisi. Jika nilai sebenarnya dari tegangan langkah lebih kecil dari nilai tegangan langkah, desain memerlukan perbaikan untuk menghubungkan perangkat ke ground [8] [5]. Jika tidak, desain asli harus direvisi. Jika salah satu batas tegangan sentuh atau efek yang diijinkan melebihi batas, struktur jaringan harus diubah. Perubahan desain ini dilakukan dengan mengubah jarak antar BCC menjadi suatu nilai lebih kecil dan menambah jumlah batang tanah. Setelah mengubah desain, kembali ke langkah 5. Diperlukan lebih banyak ground rod untuk perlindungan lonjakan arus, netral transformator, dll. Desain akhir harus ditinjau untuk menghilangkan potensi bahaya kebocoran dan bahaya yang menjadi perhatian khusus. Perancangan sistem pentanahan dapat digunakan atau diterapkan pada gardu induk apabila seluruh kriteria terpenuhi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat dari Diagram Alir atau Flowchart dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian/Flowchart

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Bagian ini menjelaskan perhitungan serta perancangan sistem pentanahan pada gardu induk yang diawali dengan pemilihan konduktor pentanahan, perhitungan tegangan sentuh dan tegangan Langkah serta perhitungan tahanan pentanahan menggunakan metode perhitungan manual dengan menggunakan acuan atau referensi dari *IEEE Standart 80-2000 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding* [5]. Perhitungan ini akan menentukan design jenis pentanahan Gardu Induk serta akan melampirkan rencana anggaran biaya untuk perancangan sistem pentanahan.

3.1 Data Lapangan

Sebelum melakukan perhitungan sistem pentanahan hal yang pertama yaitu mengumpulkan data lapangan sebagai berikut :

Dimensi Gardu Induk :

Panjang : 108,00 Meter

Lebar : 45,00 Meter

A : Total area enclosed by ground grid $4860 m^2$

ρ (Soil resistivity) hasil rata rata dari 10 titik pengujian $4,141 \Omega.m$

ρ_s (Resistivitas permukaan) dikarenakan kondisi permukaan tanah Kerikil Kering, maka nilainya $5.000 \Omega.m$

I_f Maksimum arus hubung singkat sebesar $40000A$ ($40kA$)

3.2 Pemilihan Ukuran Konduktor Pentanahan

Hal pertama untuk merancang system pentanahan yaitu menentukan bahan konduktor pentanahan yang akan digunakan hal ini harus sesuai dengan persyaratan SPLN atau IEEE Standart 80-2000. Setelah itu menghitung ukuran diameter konduktor. Pada TPG SPLN bahan konduktor yang biasanya untuk sistem pentanahan pada Gardu Induk yaitu Tembaga atau *Copper Annealed* dan didapat data konstan dari *IEEE Standart 80-2000* untuk menghitung diameter konduktor pentanahan sebagai berikut [5] [7].

- | | |
|---|----------------------------|
| a. Kapasitas termal (TCAP) | = $3,42 J/Cm^3 / ^\circ C$ |
| b. Suhu Lingkungan | = $35^\circ C$ |
| c. $K_0 = 1/\alpha_0$ dengan α_0 koefisien termal | = $0,00393 ^\circ C^{-1}$ |
| d. Suhu maksimal yang diizinkan (T_m) | = $1083 ^\circ C$ |
| e. Koefisien suhu dari resistivitas pada $20^\circ C$ | = $234 ^\circ C$ |
| f. Resistivitas konduktor pentanahan pada $20^\circ C$ ρ_r | = $1,72 \mu\Omega.cm$ |
| g. Arus hubung singkat (I_f) | = $40kA$ |
| h. Durasi arus hubung singkat (t_c) | = $1 s$ |

Dari data diatas tersebut ,maka dapat dihitung ukuran diameter konduktor yang digunakan dengan menggunakan persamaan berikut,yaitu

$$A_{mm^2} = I_f \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) \ln \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

$$A_{mm^2} = 40 \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{1,0,0093,1,72}\right) \ln\left(\frac{234 + 1083}{234 + 35}\right)}}$$

Maka hasilnya $A_{mm^2} = 113.269 \text{ mm}^2$

Didapat hasil perhitungan ukuran diameter konduktor yang diperuntukkan sebagai system pentanahan yaitu sebesar 113.269 mm^2 . Hal ini menunjukkan bahwa secara perhitungan ukuran konduktor dibawah yang disarankan oleh SPLN yang berukuran 150 mm^2 maka dengan ukuran konduktor tersebut bisa mengoptimalkan sistem pentanahan pada Gardu Induk [7].

3.3 Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Yang di Izinkan

Perhitungan tegangan sentuh dan Tegangan Langkah yang diizinkan digunakan untuk mengetahui batas aman disuatu Gardu Induk. Selain itu perhitungan tegangan Langkah dan tegangan sentuh juga bertujuan untuk mengamankan manusia yang berada disekitar Gardu Induk seperti pekerja atau operator gardu induk [8], hal ini perlu diperhatikan supaya tidak terjadi kecelakaan kerja karena Gardu Induk merupakan Objek Vital milik Negara. Perhitungan E_{step} serta E_{touch} sebagai berikut :

- a. Resistivitas tanah ρ = 4,141 $\Omega \cdot m$
- b. Ketebelan permukaan material (gravel) = 0.2 m
- c. Resistivitas permukaan ρ_s = 5.000 $\Omega \cdot m$
- d. Durasi Kejut t_s = 1 s
- e. Faktor derating C_s dapat dihitung dengan rumus :

$$C_s = - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0,09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{4,141 \Omega \cdot m}{5.000 \Omega \cdot m}\right)}{2,0,2 + 0,09}$$

$$C_s = 0,8164$$

3.3.1 Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Yang di Izinkan Untuk Berat Badan 50 Kg

Maka nilai E_{touch} yang diizinkan yaitu

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1,5 \cdot 0,8164 \cdot 5000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{1s}}$$

$$E_{touch50} = 852,92 \text{ V}$$

Tegangan sentuh untuk berat badan 50kg yang diizinkan yaitu maksimal 852.92 V.

Sedangkan E_{step} yang diizinkan yaitu

$$E_{step50} = (1000 + 6C_S \cdot I\rho_S) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{step50} = (1000 + 6 \times 0,8164 \times 5000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{1s}}$$

$$E_{step50} = 2955,63 V$$

Sedangkan untuk tegangan langkah untuk berat badan 50kg yang diizinkan yaitu maksimal 2955.63 V.

3.3.2 Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Yang di Izinkan Untuk Berat Badan 70 Kg

Maka nilai E_{touch} yang diizinkan yaitu

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5C_S \cdot \rho_S) \cdot \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1,5 \cdot 0,8164 \cdot 5000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0.157}{\sqrt{1s}}$$

$$E_{touch70} = 1118,31V$$

Tegangan sentuh untuk berat badan 70kg yang diizinkan yaitu maksimal 1118,31 V.

Sedangkan E_{step} yang diizinkan yaitu

$$E_{step70} = (1000 + 6C_S \cdot I\rho_S) \cdot \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 \times 0,8164 \times 5000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0.157}{\sqrt{1s}}$$

$$E_{step70} = 4002,24 V$$

Sedangkan untuk tegangan langkah untuk berat badan 50kg yang diizinkan yaitu maksimal 4002,24 V.

3.4 Perhitungan Arus Gangguan

3.4.1 Perhitungan Arus Simetris Grid (I_g)

Untuk menghitung arus maksimal grid, terlebih dahulu menghitung (I_g) untuk mengetahui arus simetris grid [5]. Cara menghitung (I_g) sesuai dengan persamaan.

$$I_g = S_f \times I_f$$

$$I_g = 0.6 \times 40 kA$$

$$I_g = 24 kA$$

Hasil perhitungan arus gangguan simetris grid yaitu 24.000 Ampere.

3.4.2 Perhitungan Faktor Pengurangan (D_f)

Setelah nilai I_g diketahui maka selanjutnya menghitung D_f dan I_G Dengan perhitungan sebagai berikut [5] :

- a. $X/R (t_f)$ = 1 s
- b. Durasi gangguan = 10
- c. T_a = 0.032

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}}\right)}$$

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{0.032 \text{ s}}{1} \left(1 - e^{-\frac{2.1}{0.032}}\right)}$$

$$D_f = 1,031$$

Untuk factor pengurangan atau *decrement factor* didapat nilai 1,031

3.4.3 Perhitungan Arus Maksimal Grid (I_G)

Setelah mendapat nilai I_g dan nilai Factor Pengurangan D_f maka nilai arus maksimal grid I_G dapat dihitung :

$$I_G = D_f \times I_g$$

$$I_G = 1,031 \times 24000 \text{ A}$$

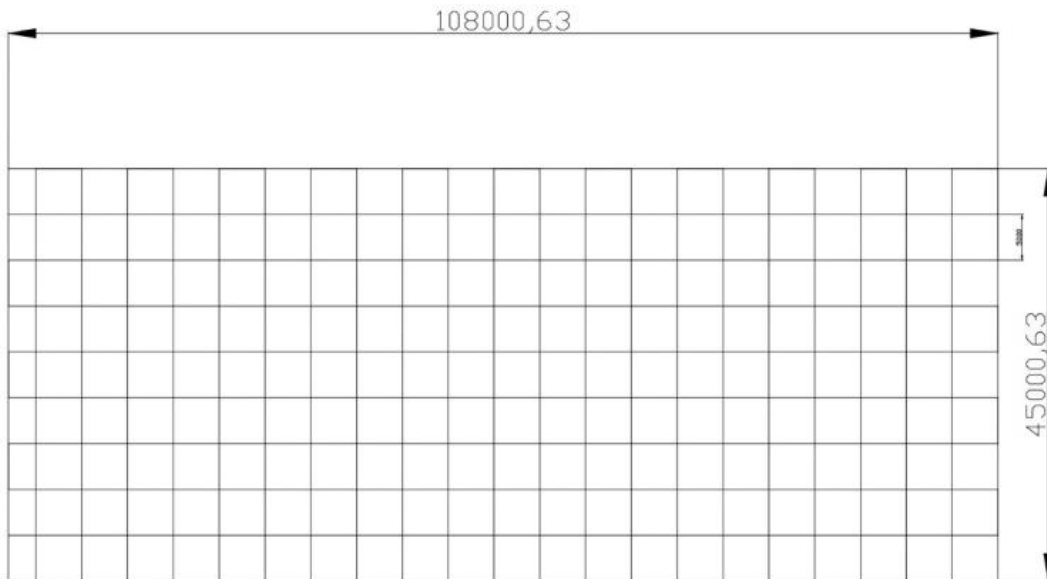
$$I_G = 24744$$

$$I_G = 24,74 \text{ kA}$$

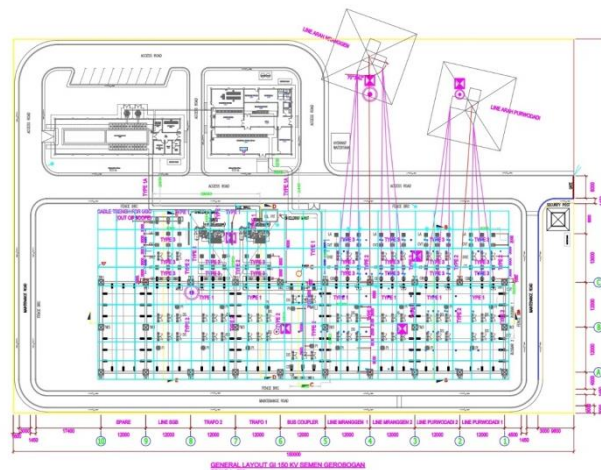
Arus maksimal gangguan grid sebesar 24.740 Ampere. Nilai ini akan digunakan untuk tambahan mencari nilai GPR.

3.5 Intitial Design Assumtion

Dibawah ini adah Desain asumsi grounding grid,hal ini bertujuan untuk mencari nilai Rg pada Grounding Sistem dengan area 108 meter X 45 meter persegi. Dengan konfigurasi 5 x 5 meter sesuai SPLN [7]. Desain asumsi perlu dibuat dikarenakan untuk mengetahui dan sebagai landasan perhitungan jumlah konduktor atau kabel tembaga pentanahan yang akan dipakai. Jadi sebelum melanjutkan perhitungan selanjutnya sesuai IEEE Std. 80-2000 maka terlebih dahulu kita membuat desain asumsi atau desain konfigurasi pentanahan [5].



Gambar 2. Konfigurasi Desain Pentanahan



Gambar 3. Mockup Desain Pentanahan di Layout Gardu Induk

Gambar diatas merupakan *mockup* atau simulasi perancangan sistem pentanahan yang diletakkan sesuai Layout Gardu Induk 150Kv Semen Grobogan. Namun desain pentanahan yang dibuat hanya di area Gardu Induk tidak termasuk desain pentanahan pada Gedung kontrol.

3.6 Perhitungan Tahanan Sistem Pentanahan (R_g)

- | | |
|---|--------------------|
| a. Resistivitas tanah ρ | = 4,141 $\Omega.m$ |
| b. Panjang konduktor yang ditanam (L_T) | = 2160 m |
| c. Luas daerah yang ditanahkan (A) | = 4860 m^2 |
| d. Kedalaman Konduktor (h) | = 0,8 |

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

$$R_g = 4,414 \left[\frac{1}{2160} + \frac{1}{\sqrt{20.4860}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,8\sqrt{\frac{20}{4860}}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,0276 \Omega$$

Dari desain asumsi pentanahan dengan konfigurasi 5 x 5 m didapat nilai tahanan sistem pentanahan sebesar 0,0276 Ω.

3.7 GPR (Ground Potential Rise)

Perbandingan I_G dan R_G atau disebut GPR dihitung dengan menggunakan persamaan Sebagai berikut [5] :

$$GPR = I_G \times R_g$$

$$GPR = 24,74 \text{ kA} \times 0,0276$$

$$GPR = 682,82 \text{ Volt}$$

3.8 Perhitungan Tegangan Mesh dan Tegangan Langkah Yang Sebenarnya

Perhitungan tegangan mesh menggunakan persamaan 2.9 sedangkan tegangan Langkah actual menggunakan persamaan 2.10 [5].

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_m}$$

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{0.75L_m}$$

Sebelum menghitung E_m terlebih dahulu mencari $K_m K_i$ menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

Dimana :

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} \text{ Dimana n nilainya 306 maka } K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 14,12)^{\frac{2}{14,12}}}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 14,12)^{\frac{2}{14,12}}}$$

$$K_{ii} = 0,623$$

$$\text{Dan } K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0,8}{1}} = 1,341$$

Maka setelah nilai K_{ii} dan K_h selesai dihitung Langkah selanjutnya bisa menghitung nilai K_m

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot h} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[\ln \left[\frac{5^2}{16 \cdot 0,8 \cdot 15,7} + \frac{(5+2+0,8)^2}{8 \cdot 5 \cdot 0,8} - \frac{0,8}{4 \cdot 15,7} \right] + \frac{0,623}{1,341} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot 14,12 - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0,699$$

Dan sekarang mencari nilai K_i Dimana Faktor K_i mempunyai persamaan $K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$.

Nilai n sendiri yaitu 14,12

Maka nilai K_i dapat dihitung yaitu $K_i = 0,644 + 0,148 \cdot 14,12$

$$K_i = 2,73$$

Setelah semua nilai yang dibutuhkan untuk menghitung Tegangan Mesh sudah didapat maka selanjutnya kita bisa menghitung Tegangan Mesh E_m dengan menggunakan persamaan 2.9

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_m}$$

$$E_m = \frac{4,141 \cdot 0,699 \cdot 2,73 \cdot 24740}{2160}$$

$$E_m = 90,51 \text{ Volt}$$

Hasil perhitungan tegangan sentuh aktual dari desain pentanahan yaitu 90,51 Volt. Nilai ini sangat kecil dan jauh dari nilai tegangan sentuh yang diizinkan maka aman untuk operator atau manusia dengan berat badan 50 kg maupun 70 kg [5].

Selanjutnya sebelum menghitung tegangan langkah aktual terlebih dahulu mencari nilai K_s atau *Spacing factor for step voltage* dengan menggunakan persamaan berikut

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot 0,8} + \frac{1}{5+0,8} + \frac{1}{5} (1 - 0,5^{14,12-2}) \right]$$

$$K_s = 0,317$$

Nilai K_s atau spacing factor for step voltage yaitu 0,317 dengan demikian Tegangan Langkah actual dapat dihitung sebagai berikut.

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_G}{0.75 L_m}$$

$$E_s = \frac{4,141.0,317.2,73.24740}{0.75 \cdot 2160}$$

$$E_s = 54,72 \text{ Volt}$$

Nilai tegangan langkah aktual yaitu 54,72 Volt. Maka nilai ini sudah sesuai karena jauh dibawah tegangan langkah yang diizinkan dan dapat dipastikan aman untuk operator gardu induk maupun manusia lainnya.

3.9 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Pentanahan Kisi Kisi

3.9.1 Kelebihan Desain Pentanahan Kisi Kisi

Sistem Pentanahan Kisi Kisi mempunyai kelebihan yaitu:

1. Desain yang sederhana sehingga memudahkan pelaksana saat proses instalasi atau Pembangunan
2. Biaya lebih murah dari desain sistem pentanahan *Grid-Rod*
3. Dengan desain yang lebih sederhana daripada desain *Grid-Rod* namun desain Kisi Kisi sudah bisa memenuhi standart sistem pentanahan sesuai IEEE Std. 80-2000
4. Saat interkoneksi grounding pentanahan untuk bay baru pada gardu induk desain kisi kisi lebih mudah dikarenakan tinggal jointing clamp
5. Apabila ada modifikasi struktur pondasi pada peralatan material utama transmisi (peralatan gardu induk) desain grounding kisi kisi sangat memudahkan pekerja apabila ada pekerjaan galian tanah.

3.9.2 Kekurangan Desain Pentanahan Kisi Kisi

Dari beberapa kelebihan desain pentanahan kisi kisi Adapun kekurangan pada desain ini yaitu :

1. Untuk mendapat/memperkecil nilai pentanahan yang sesuai standart maka harus merapatkan konfigurasi nya hal ini akan memperpanjang kebutuhan konduktor atau kabel bcc.
2. Nilai tahanan pentanahan pada desain kisi kisi tentunya lebih besar dibandingkan dengan desain pentanahan *grid-rod*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan dari optimalisasi desain Pentanahan Gardu Induk 150 kV Semen Grobogan dengan design Grouding Mesh atau Grounding Grid. Kemudian dilakukan analisa serta pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut yakni didapat ukuran konduktor *grid* dari hasil perhitungan $113,269 \text{ mm}^2$ dengan menggunakan material *Copper Annealed*. namun ukuran konduktor yang digunakan yaitu 150 mm^2 sesuai SPLN dan bisa menyalurkan arus maksimal gangguan ketanah sebesar 24740 Ampere. Sedangkan panjang kabel atau total keseluruhan konduktor grid yang ditanam sepanjang 2160 meter dengan jarak 5m di area 4860 m^2 . Standart nilai tahanan total

(R_g) sistem pentanahan gardu induk yaitu $0,5 \Omega$ dengan hasil perhitungan nilai tahanan total sistem pembumian Gardu Induk 150Kv Semen Grobogan sebesar $0,0276 \Omega$ maka hal ini sudah memenuhi standar dengan nilai tahanan tanah area gardu induk rata rata $4,141 \Omega$.

Tegangan mesh aktual (E_m) lebih rendah dari batas kriteria ambang batas atau memenuhi standar tegangan sentuh yaitu Tegangan mesh aktual $90,51$ Volt sedangkan ambang batas tegangan sentuh untuk berat badan 50kg sebesar $852,92$ Volt dan tegangan sentuh untuk berat badan 70kg yaitu $1118,31$ Volt. Nilai tegangan langkah aktual (E_s) $54,72$ Volt lebih rendah dari batas kriteria tegangan langkah untuk berat badan 50kg yaitu $2955,63$ Volt dan tegangan langkah untuk berat badan 70kg sebesar $4002,24$ Volt. Dilihat dari hasil perhitungan nilai parameter kinerja dari perencanaan sistem pentanahan telah memenuhi persyaratan desain sistem pembumian yang baik sesuai standart *IEEE Std. 80-2000, IEEE Guide For Safety in AC Substation* dan SPLN T5.012:2020 atau dapat diaplikasikan dan diterima dengan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pranoto, H. Tumaliang dan G. M. Mangindaan, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-kisi)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 1, 5-10, 2018.
- [2] R. Diamanis, H. Tumaliang dan F. Lisi, "Analisa Jarak Paralel Antara Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 Dan 6," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 3, pp. 3-5, 2018.
- [3] D. M. R. Sanjaya, C. G. i. Partha dan I. G. D. Arjana, "PERENCANAAN SISTEM PEMBUMIAN GRID-ROD PADA GARDU INDUK 150 KV NEW SANUR," *SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, pp. 1-3, 2020.
- [4] M. Suropto dan A. Kiswantonono, "Evaluasi Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Jabon Dengan Simulasi Software CYMGRD," *JTECS : Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem & Komputer*, vol. 1, no. 2, pp. 9-12, 2021.
- [5] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding "IEEE Std 80-2000"*, New York, USA, 2000.
- [6] L. S. Annisa, "Analisa Pengaruh Kelembaban Tanah Terhadap Tahanan Pentanahan Pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) Medan Denai Dengan Metode Fall-Of-Potensial," *JIMT*, vol. 4, no. 2, pp. 1-4, 2024.
- [7] PT.PLN (Persero), *SPLN T5.012: 2020 "Pembumian Pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi"*, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan: PT.PLN (Persero), 2020.
- [8] P. Sandrina dan D. Herwanto, "Penggunaan Metode HAZOP dalam Mengidentifikasi Potensi Bahaya pada Gardu Induk PT PLN (Persero) UPT Karawang," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 1-7, 2023.
- [9] F. R. Pratiwi dan A. Suryanto, "ANALISIS SISTEM GROUNDING PADA GARDU INDUK 150KV TEMANGGUNG DENGAN SIMULASI SOFTWARE ETAP," *JTE UNIBA*, vol. 5, no. 2, pp. 1-9, 2021.

- [10] M. Lamma, "Perhitungan Tegangan Sentuh Menggunakan Tahanan kontak kaki dalam Sistem Pembumian pada Gardu Induk Cikupa," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 3-5, 2012.
- [11] E. K. Yulyawan dan M. A. Baihaqi, "Evaluasi Pengetanahan Gardu Induk Dengan Adanya Perubahan Tegangan Sistem Dari 70 kV Menjadi 150 kV," *ELPOSYS : Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 1, pp. 1-6, 2022.
- [12] J. Manihuruk, S.T., M.T, T. Simorangkir dan N. L. Sitanggang, "Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 kv," *ELPOTECS Jurnal*, vol. 4, no. 1, pp. 1-7, 2021.