

Threshold Potential Simulation on Grounding System using CYMGround Substation Program

Article History:

Received
20 December 2024
Revised
30 December 2024
Accepted
28 January 2025

AYU FITRIANI¹, JOEL PANJAITAN², SOFYAN ANWAR SYAHPUTRA³, ARNOLD PAKPAHAN⁴, REGINA SIRAIT⁵, ELFRIDA HUTAJULU⁶

¹Teknik Elektro Universitas Tjut Nyak Dhien, Sumatera Utara, Indonesia
^{2,3,4}Teknik Elektro Akademi Teknik Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia
^{5,6}Teknik Elektro Politeknik Negeri Medan, Sumatera Utara, Indonesia
Email: ayufitriani2796@gmail.com

ABSTRAK

Pengaruh arus gangguan berlebih pada sistem pentanahan yang tidak bagus dapat menimbulkan beberapa gejala seperti munculnya tegangan sentuh dan tegangan langkah serta berpengaruh pada nilai resistansi pentanahannya. Penelitian ini bertujuan mendesain sistem pentanahan dengan variasi Jumlah Konduktor dan Batang Rod tertanam dimana hal ini dapat memberikan dampak terhadap sistem pentanahan, yang mana dapat membantu mengurangi timbulnya arus gangguan berlebih serta mengurangi nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang muncul. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Wenner (metode empat titik) dimana metode ini digunakan dalam Mensimulasikan sistem pentanahan yang berpengaruh terhadap variasi jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam menggunakan software CYMGRD (CYMGround Substation Program). Hasil pengujian menampilkan nilai maksimum tegangan sentuh sebesar 729,01 Volt dan nilai maksimum tegangan langkah sebesar 2423,88 Volt. Hasil simulasi menyatakan bahwa kondisi sistem pentanahan dengan variasi jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam dinyatakan dalam kondisi aman.

Kata kunci: CYMGRD, Konduktor, Rod, Tegangan Sentuh, Tegangan Langkah.

ABSTRACT

Excessive fault current on a poor grounding system can cause several symptoms such as the appearance of touch and step voltage and affect the grounding resistance value. This study aims to design a grounding system with variations in the number of conductors and embedded rods where that can have a good impact on the grounding system, which can help reduce the occurrence of excessive fault currents and reduce the value of touch voltage and step voltage that appears. The research method used in this study is the Wenner Method (four-point method) where which method is used in simulating a grounding system that affects the variation in the number of conductors and embedded rods using CYMGRD (CYMGround Substation Program) software. The test results show that the maximum touch voltage value is 729.01 Volts and the maximum step voltage value is 2423.88 Volts. The simulation results state that the condition of the grounding system with variations in the number of conductors and embedded rods is stated in a safe condition.

Keywords: CYMGRD, Conductor, Rod, Touch Voltage, Step Voltage.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



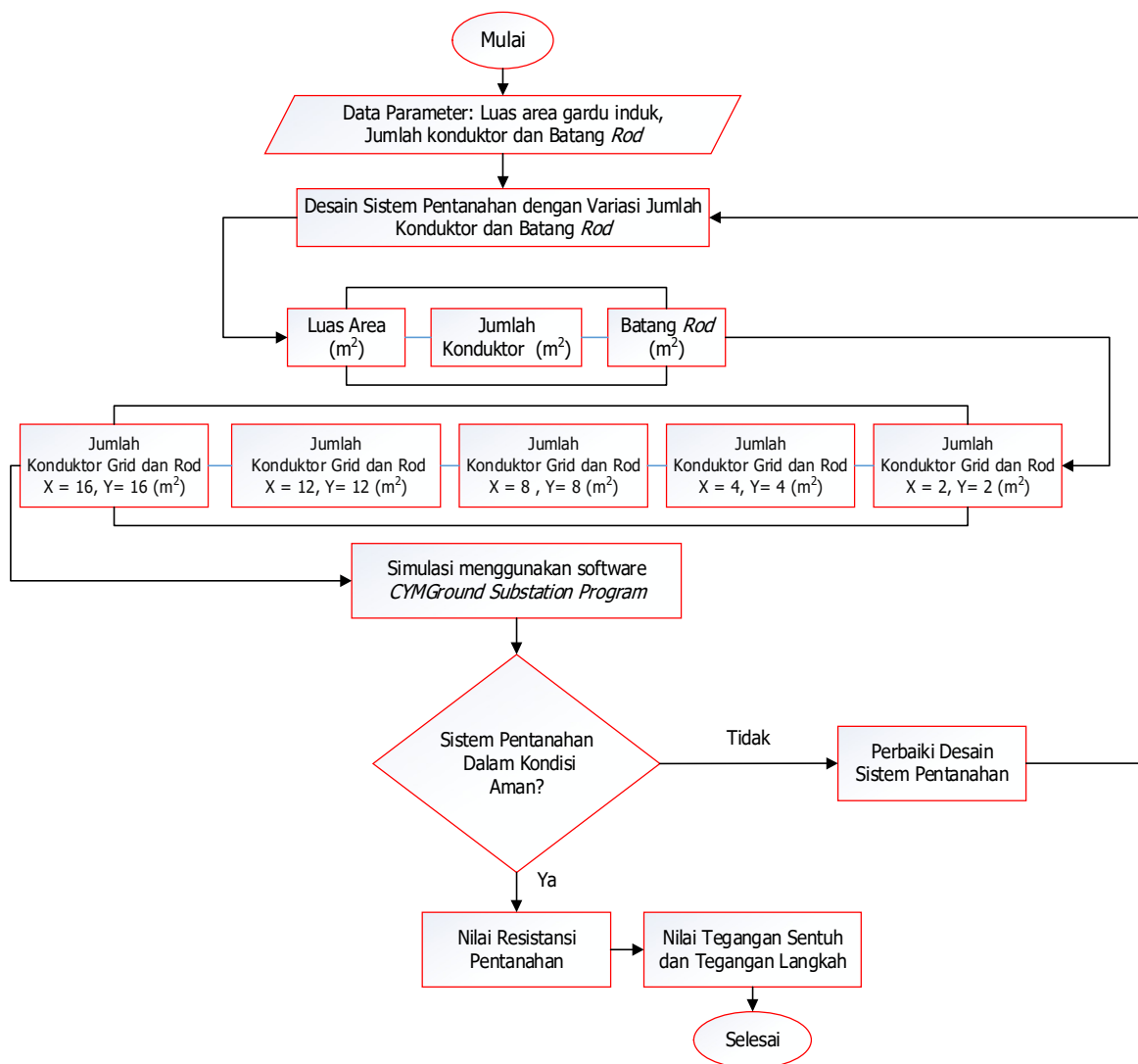
1. PENDAHULUAN

Dalam hal desain sistem pentanahan, biasanya cenderung akrab disebut dengan istilah jaringan tanah di mana penghantarnya diletakkan dengan jarak yang sama, sementara kurang memperhatikan jarak yang tidak sama (**Phayomhom, dkk, 2014**). Salah satu alasannya mungkin karena banyak standar sistem pentanahan yang berfokus pada desain jaringan tanah dengan penghantar yang berjarak teratur dan kurang menekankan pada pilihan desain alternatif berdasarkan Jumlah Konduktor yang tidak sama (**Salam, dkk, 2015**)(**Salam, 2012**)(**Salam, 2013**). Sistem pentanahan berfungsi untuk mengalirkan arus ketanah (bumi) jika terjadi gangguan arus lebih. Sesuai dengan standar PUIL, sistem pentanahan akan semakin baik jika mempunyai nilai tahanan (resistance) yang sangat kecil dengan nilai maksimum sebesar 5 ohm (**Neamt, dkk, 2022**)(**Gouda, dkk, 2016**). Namun, nilai sistem pentanahan akan berubah jika terdapat perubahan iklim atau suhu dan gangguan alam lainnya (**Pratiwi, dkk, 2021**). Dengan adanya sistem pentanahan yang baik, maka jika terjadi gangguan tidak membahayakan bagi pekerja ataupun peralatan-peralatan listrik Alasan yang paling mungkin adalah kurangnya informasi yang memadai mengenai konfigurasi sistem pentanahan yang paling menjanjikan dan efisien sebagai langkah awal untuk menghindari uji coba yang panjang dalam proses desain jaringan tanah (**Sengar, dkk, 2019**) (**Panjaitan, 2024**) (**Saputra, dkk, 2018**). Keterbatasan dari alat ukur resistansi jenis tanah dalam menyelidiki kondisi spesifik tanah pada keadaan lebih dalam dapat digantikan, karena pada metode perkiraan resistansi jenis tanah hanya dilakukan pengukuran pada kedalaman beberapa meter sebagai titik acuan atau referensi dalam memperkirakan nilai resistansi jenis tanah pada keadaan lebih dalam. Oleh karena itu untuk menghindari gangguan dan mencegah rusaknya peralatan pada gardu induk tersebut diperlukan suatu pengaman berupa pentanahan (**Malek, dkk, 2020**)(**Permal, dkk, 2021**). Sistem pentanahan tidak hanya dipengaruhi oleh jenis tanah dan nilai resistivitas pentanahan saja. tetapi dipengaruhi juga oleh Jumlah Konduktor dan Batang Rod tertanam yang dapat menimbulkan nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah diluar batasan yang sudah ditentukan (**Suripto, dkk, 2021**). Dengan kata lain, diperlukan referensi yang sesuai yang berisi pedoman yang diperlukan sehingga perancang sistem pentanahan dapat segera berfokus pada desain yang paling efisien Untuk menyeimbangkan tegangan distribusi pada permukaan gardu induk, pengaturan jarak yang sama dari konduktor jaringan tanah bukanlah solusi yang ekonomis Maka dari itu, Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan sistem pentanahan dengan pengaruh variasi Jumlah Konduktor dan Batang Rod tertanam yang berpengaruh terhadap munculnya potensial Threshold yaitu tegangan sentuh dan tegangan langkah serta nilai resistansi pentanahan. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan sistem pentanahan menggunakan software CYMGRD dengan menvariasikan Jumlah Konduktor dan Batang Rod yang tertanam pada sistem pentanahan gardu induk. Perangkat lunak CYMGRD adalah program analisis dan desain jaringan pentanahan yang dikembangkan secara khusus untuk membantu teknisi mengoptimalkan desain jaringan baru dan memperkuat jaringan yang sudah ada, dalam bentuk apapun, berdasarkan fasilitas evaluasi titik bahaya yang mudah digunakan. Penulis mencoba untuk menvariasikan jarak antar konduktor dan Batang Rod yang tertanam pada desain sistem pentanahan gardu induk untuk menjamin pengurangan nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Dengan adanya pegujian sistem pentanahan ini dapat diketahui nilai resistansi pentanahan harus dibawah 5 Ω sesuai dengan Peraturan umum instalasi listrik (**PUILL, 2013**), dan dapat segera diperbaiki serta dapat mengoptimalkan sistem pentanahan yang sudah ada menjadi lebih aman dan handal, terutama untuk menjaga keseimbangan dan kestabilan kinerja sistem dan dapat menjaga keamanan personil dilapangan, dengan mengurangi nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada batas

aman yang sudah ditentukan sesuai dengan *Standar IEEE Guide For Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, And Earth Surface Potentials Of A Grounding System IEEE Std.81 – 2012 (ANSI/IEEE Std 81-1983, 2012)*.

2. METODE

Metode penelitian menggunakan *Metode Wenner* (Metode Empat Titik) sesuai dengan pengaplikasian dalam software yang digunakan yaitu *CYMGround Substation Program*. Adapun untuk Tahapan penelitian yang dipengaruhi oleh Jumlah konduktor dan Batang *rod* tertanam yang yang divariasikan ditunjukkan dalam Gambar 1 di bawah ini.



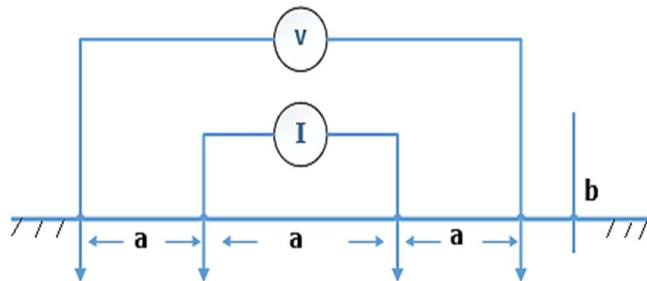
Gambar 1. Tahapan Simulasi dengan pengaruh jumlah konduktor dan Batang Rod menggunakan *CYMGround Substation Program*

Gambar 1 Merupakan diagram alir penelitian pada sistem pentanahan yang di pengaruhi oleh Jumlah konduktor dan Batang *Rod* tertanam menggunakan CYMGRD, sebagai berikut.

1. Mulai melakukan penelitian.
2. Menyiapkan parameter simulasi seperti Luas area gardu induk, Jumlah Konduktor dan Batang *Rod*.
3. Mendesign sistem pentanahan menggunakan software *CYMGround Substation Program*.

- a) Menyiapkan software *CYMGround Substation Program* sebagai media design dan analisis sistem pentanahan.
 - b) Memasukkan nilai parameter sistem pentanahan.
 - c) Memasukkan nilai parameter simulasi diantaranya: Luar area (m²), Jumlah Konduktor (m²) dan Batang Rod (m²) Tertanam.
 - d) Lakukan hal yang sama pada variasi Jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam lainnya.
4. Menguji sistem pentanahan yang dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan batang rod tertanam apakah dalam kondisi aman atau tidak, jika tidak maka perlu perbaikan *design* sistem pentanahannya.
 5. Menguji pengaruh jumlah konduktor dan batang rod terhadap nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah.
 6. Pengujian Selesai.

Metode penelitian ini yaitu metode empat titik (*Metode Wenner*) yang sudah teraplikasikan dalam software CYMGRD, dapat ditunjukkan dalam Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Rangkaian Pentanahan dengan Metode Empat Titik

Gambar 2 merupakan metode pengukuran empat titik yang diaplikasikan dalam software CYMGRD dengan menyusun 4 buah konduktor dengan kedalaman 10 cm. terdapat beberapa kabel penghubung dengan jarak a sepanjang garis lurus yang sama dan dihubungkan dengan alat ukur.

Penanaman konduktor dan batang rod yang sama dan kedalaman yang ditentukan maka didapat nilai resistansi pentanahan seperti pada Persamaan (1) dan (2).

$$\rho = 2\pi ar \quad (1)$$

di mana ρ menjadi,

$$\rho = \frac{4\pi ar}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4\ell^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + \ell^2}}} \quad (2)$$

dimana ; a : jarak atau interval antar konduktor pentanahan (m), ℓ : kedalaman penanaman konduktor pentanahan (m), r : resistansi semu, ρ : resistansi jenis tanah (ohm/m).

Dalam sistem pentanahan terdapat Jumlah total panjang konduktor (L) kemudian jumlah batang konduktor *Grid* (L_c) dan panjang konduktor *Rod* (L_r), sesuai dengan Persamaan (3).

$$L = L_c + L_r \quad (3)$$

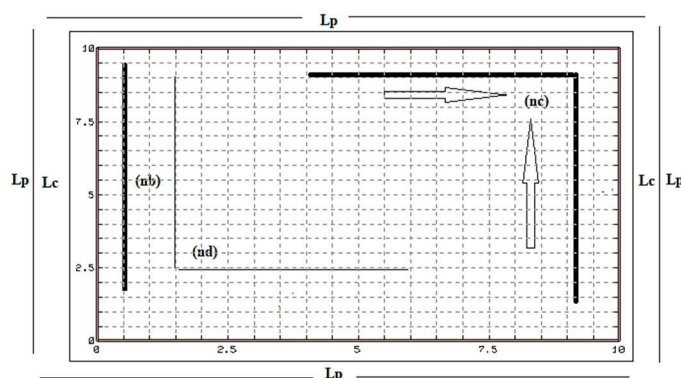
Dengan dipengaruhi oleh konduktor *Grid* (L_1) dan lebarnya (L_2) serta jumlah konduktor parallel sisi panjang (n) dan sisi lebar (m), dapat ditunjukkan dalam Persamaan (4).

$$L = L_1 n + L_2 m \tag{4}$$

Panjang konduktor Rod dipengaruhi oleh jumlah konduktor Rod (Q) dan panjang konduktor Rod (P), seperti pada Persamaan (5).

$$L_r = Q \times P \tag{5}$$

Jumlah konduktor pada sistem pentanahan dengan bentuk persegi panjang seperti pada Gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Model Sistem pentanahan Grid

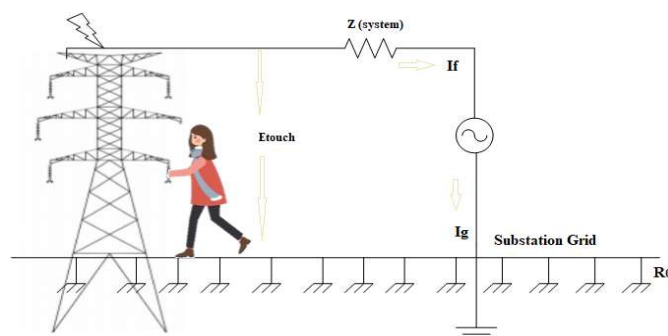
Panjang konduktor meliputi 1 konduktor persegi (nb), 1 konduktor persegi dan persegi panjang (nc), 1 konduktor persegi, persegi panjang berbentuk L (nd), sesuai dengan Persamaan (6).

$$n = n_a + n_b + n_c + n_d \tag{6}$$

untuk menentukan nilai n_a meliputi panjang konduktor dalam konduktor horizontal (L_c) (m), dan panjang keliling dari konduktor (L_p) seperti pada Persamaan (7).

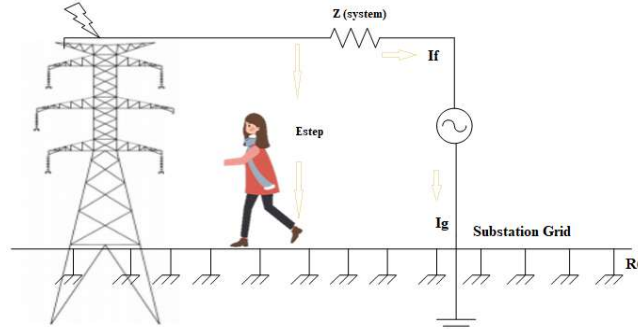
$$n_a = 2 \times L_c L_p \tag{7}$$

Tegangan sentuh sebenarnya merupakan tegangan pada peralatan yang diketanahkan ke dalam daerah yang membentuk konduktor kisi-kisi selama gangguan tanah, seperti pada Gambar 4 di bawah ini yaitu ilustrasi tegangan sentuh sebenarnya.



Gambar 4. Rangkaian Tegangan Sentuh Sebenarnya

Gambar 5 di bawah ini merupakan ilustrasi dari tegangan langkah sebenarnya yang terjadi pada sistem pentanahan gardu induk.



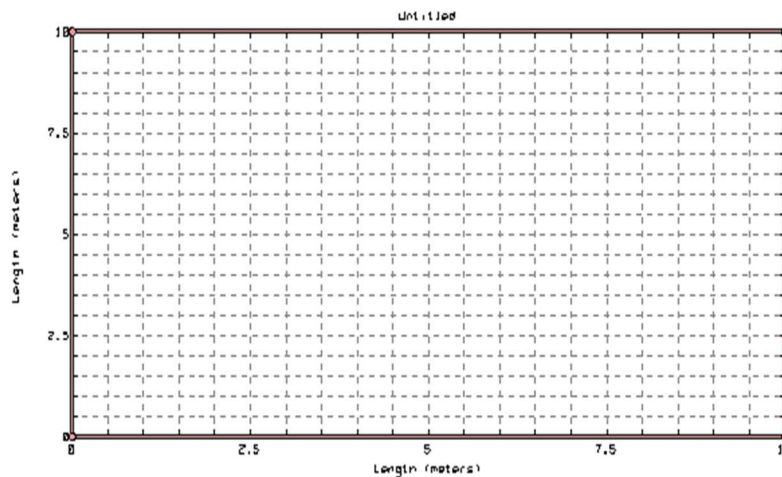
Gambar 5. Rangkaian Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah sebenarnya merupakan tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah yang sedang dialiri oleh arus gangguan ke tanah.

3. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

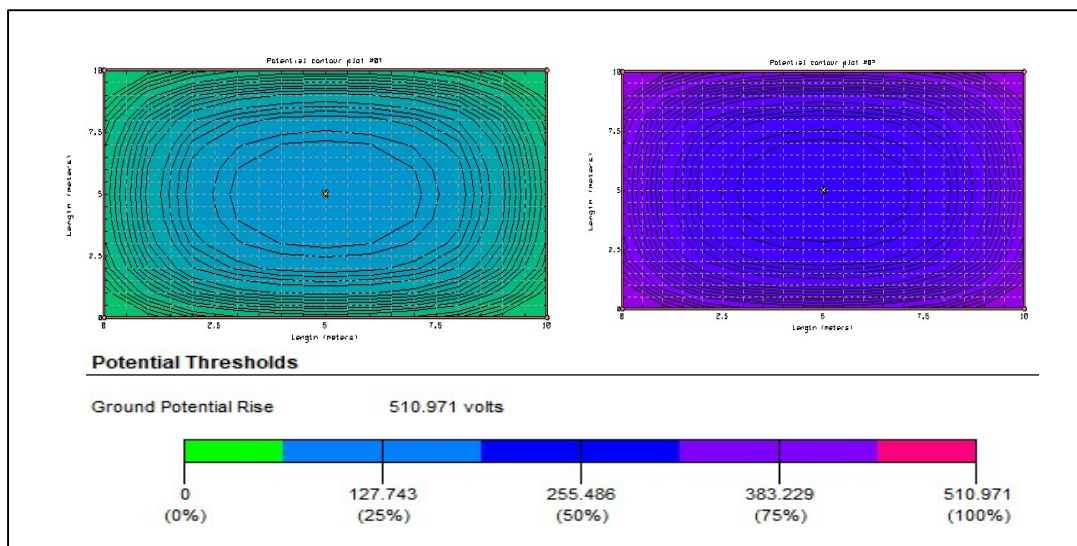
Hasil pengujian sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam menggunakan software *CYMGround Substation Program* dengan parameter pengukuran yang berbeda-beda. Parameter yang digunakan dalam simulasi antara lain luas area (A) yaitu sebesar $A = 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, semua konduktor berukuran 10 mm ($0,375 \text{ cm in radius}$), dengan kedalaman batang elektroda di dalam tanah 0.5 m dan nilai *resistivitas* tanah sebesar $300 \Omega \cdot \text{m}$.

Pengujian pertama: model sistem pentanahannya yaitu = 2×2 jumlah konduktor dan Batang Rod = 4 dengan konfigurasi persegi panjang, seperti pada Gambar 6 di bawah.



Gambar 6. Model Sistem pentanahan (XY = 2 x 2)

Gambar 5 merupakan model sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor, yaitu: sisi $X = 2$, sisi $Y = 2$, dan Batang Rod yaitu: (X dan $Y = 2 \times 2$). Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 7 di bawah.



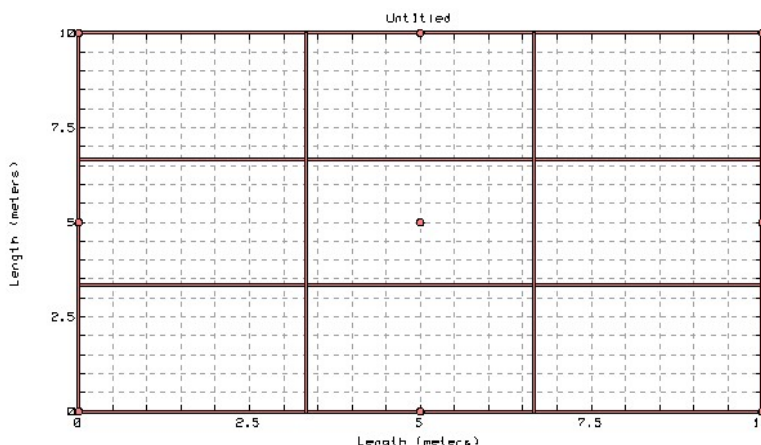
Gambar 7. Countor Touch potensial dan step Potential pentanahan Grid

Dari Gambar 7 menunjukkan hasil dari model sistem pentanahan 2 x 2 jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam. kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah ditampilkan dalam bentuk countor 3D, di mana dari hasil yang ditunjukkan kondisi pentanahan masih dalam kondisi aman. Hasil simulasi dapat ditunjukkan dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Simulasi model sistem pentanahan (XY = 2 x 2)

Jarak Probe (m)	Batang Rod	Resistansi (Ω)	Tegangan Sentuh (Volt)	Tegangan Langkah (Volt)
0,5	4	0,48	36,52	202,2

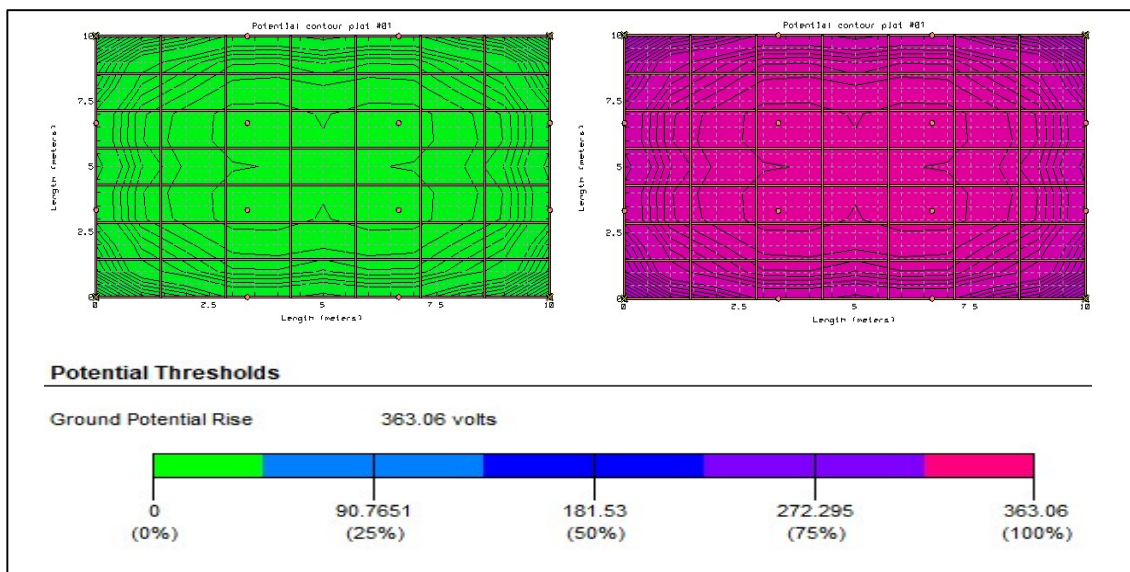
Dalam Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan Batang Rod terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar $(R) = 0,48 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya $(Es) = 36,52$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya $(Em) = 202,2$ Volt. Pengujian Kedua : model sistem pentanahannya yaitu = 4 x 4 jumlah konduktor dan Batang Rod = 9 dengan konfigurasi persegi panjang, seperti pada Gambar 8 di bawah.



Gambar 8. Model Sistem pentanahan (XY = 4 x 4)

Gambar 8 merupakan model sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor, yaitu: sisi X = 4, sisi Y = 4, dan Batang Rod yaitu: (X dan Y = 3 x 3). Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 9 di bawah.

Gambar 10 merupakan model sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor, yaitu: sisi X = 8, sisi Y = 8, dan Batang Rod yaitu: (X dan Y = 4 x 4). Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 11 di bawah.



Gambar 11. Plot Contour Touch potensial dan Step Potensial

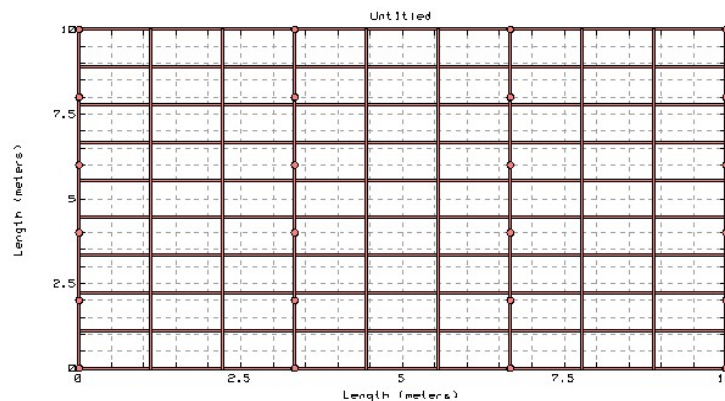
Dari Gambar 11 menunjukkan hasil dari model sistem pentanahan 8 x 8 jumlah konduktor dan Batang Rod = 16 tertanam. Kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah ditampilkan dalam bentuk contour 3D, di mana dari hasil yang ditunjukkan kondisi pentanahan masih dalam kondisi aman. Hasil simulasi dapat ditunjukkan dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Simulasi model sistem pentanahan (XY = 8 x 8)

Jarak Probe (m)	Batang Rod	Resistansi (Ω)	Tegangan Sentuh (Volt)	Tegangan Langkah (Volt)
0,5	16	0,345	19,2	55,19

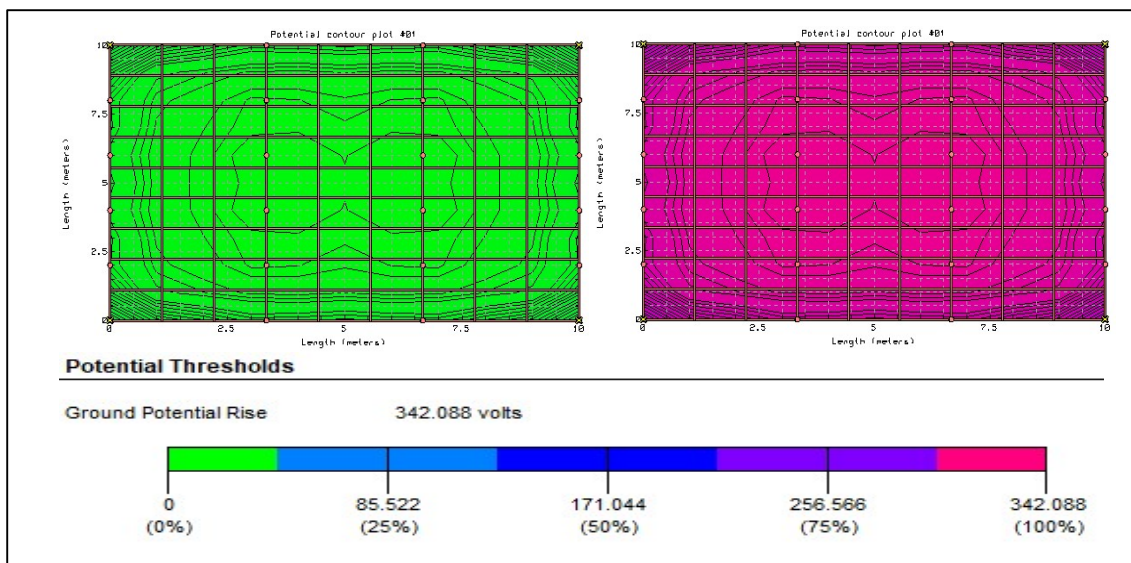
Tabel 3 menunjukkan hasil simulasi sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan Batang Rod terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar $(R) = 0,345 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya $(Es) = 19,2$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya $(Em) = 55,19$ Volt.

Pengujian Keempat : model sistem pentanahannya yaitu = 10 x 10 jumlah konduktor dan Batang Rod = 24 dengan konfigurasi persegi panjang, seperti pada Gambar 12 di bawah.



Gambar 12. Model Sistem pentanahan (XY = 10 x 10)

Gambar 12 merupakan model sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor, yaitu: sisi X = 10, sisi Y = 10, dan Batang Rod yaitu: (X dan Y = 6 x 4). Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 13 di bawah.



Gambar 13. Potensial Threshold Touch potensial dan Step Potential

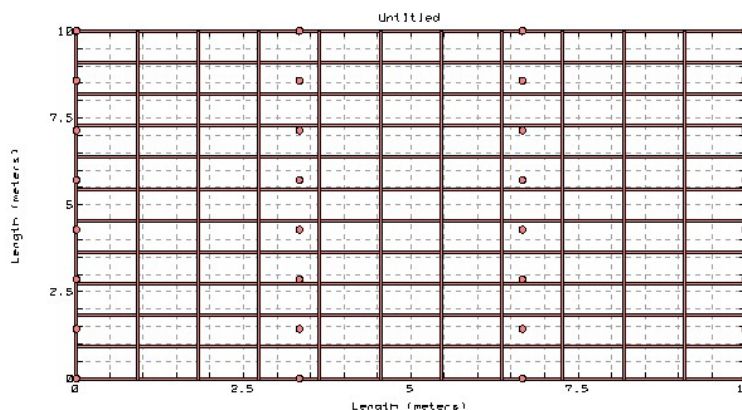
Dari Gambar 13 menunjukkan hasil dari model sistem pentanahan 10 x 10 jumlah konduktor dan Batang Rod = 24 tertanam. Kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah ditampilkan dalam bentuk countor 3D, di mana dari hasil yang ditunjukkan kondisi pentanahan masih dalam kondisi aman. Hasil simulasi dapat ditunjukkan dalam Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Simulasi model sistem pentanahan (XY = 10 x 10)

Jarak Probe (m)	Batang Rod	Resistansi (Ω)	Tegangan Sentuh (Volt)	Tegangan Langkah (Volt)
0,5	24	0,325	20,83	46,00

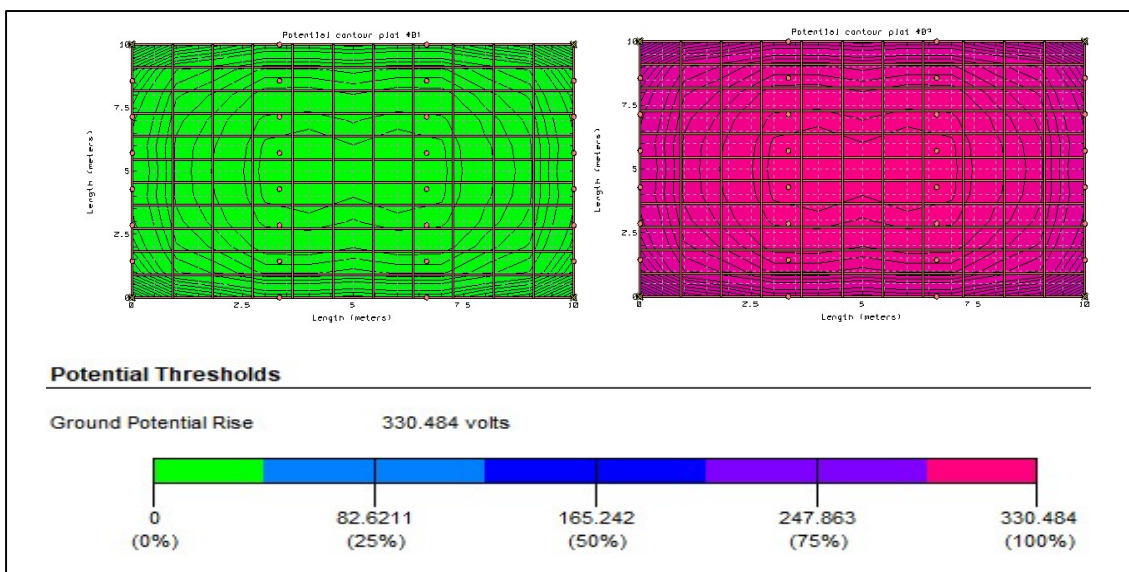
Tabel 4 menunjukkan hasil simulasi sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan Batang Rod terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = 0,325 Ω , tegangan sentuh sebenarnya (E_s) = 20,83 Volt dan tegangan langkah sebenarnya (E_m) = 46,00 Volt.

Pengujian Kelima : model sistem pentanahannya yaitu = 12 x 12 jumlah konduktor dan Batang Rod = 32 dengan konfigurasi persegi panjang, seperti pada Gambar 14 di bawah.



Gambar 14. Model Sistem pentanahan (XY = 12 x 12)

Gambar 13 merupakan model sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor, yaitu: sisi X = 12, sisi Y = 12, dan Batang Rod yaitu: (X dan Y = 8 x 4). Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 15 di bawah.



Gambar 15. Touch potensial dan Step Potensial dalam Plot Counter 3D

Dari Gambar 15 menunjukkan hasil dari model sistem pentanahan 12 x 12 jumlah konduktor dan Batang Rod = 32 tertanam. Kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah ditampilkan dalam bentuk counter 3D, di mana dari hasil yang ditunjukkan kondisi pentanahan masih dalam kondisi aman. Hasil simulasi dapat ditunjukkan dalam Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Simulasi model sistem pentanahan (XY = 12 x 12)

Jarak Probe (m)	Batang Rod	Resistansi (Ω)	Tegangan Sentuh (Volt)	Tegangan Langkah (Volt)
0,5	32	0,314	20,87	39,35

Tabel 5 menunjukkan hasil simulasi sistem pentanahan dipengaruhi oleh jumlah konduktor dan Batang Rod terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar $(R) = 0,314 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya $(Es) = 20,87$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya $(Em) = 39,35$ Volt.

Hasil pengujian dalam bentuk simulasi sistem pentanahan dengan variasi Jumlah Konduktor dan variasi Batang Rod tertanam menggunakan Software CYMGRD (*CYMGround Substation Program*) dapat ditunjukkan dalam Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Simulasi Sistem Pentanahan Menggunakan CYMGRD

Batang Rod	Resistansi (Ω)	Tegangan Sentuh (Volt)	Tegangan Langkah (Volt)
4	0,48	36,52	202,2
9	0,386	17,13	72,71
16	0,345	19,2	55,19
24	0,325	20,83	46,00
32	0,314	20,87	39,35

Tabel 6 menyatakan bahwa semakin banyak jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam yang terpasang semakin berkurang nilai resistansi pentanahannya, serta pengaruh timbulnya tegangan sentuh dan tegangan langkah semakin menurun. Adapun nilai tertinggi yaitu pada jumlah konduktor ($XY = 2 \times 2$) dan Batang Rod (X dan $Y = 4$) dengan nilai resistansi (R) = $0,48 \Omega$, tegangan sentuh (Es) = $36,52$ Volt dan tegangan langkah (Em) = $202,2$ Volt.

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi dari pengujian sistem pentanahan yang dipengaruhi oleh variasi Jumlah Konduktor dan Batang Rod tertanam menggunakan aplikasi CYMGRD (*CYMGround Substation Program*). Model sistem pentanahan ($XY = 2 \times 2$) dan Batang Rod ($XY = 4$), Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = $0,386 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya (Es) = $17,13$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya (Em) = $72,71$ Volt. Model sistem pentanahan = 4×4 jumlah konduktor dan Batang Rod = 9 , Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = $0,386 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya (Es) = $17,13$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya (Em) = $72,71$ Volt. Model sistem pentanahan = 8×8 jumlah konduktor dan Batang Rod = 16 , Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = $0,345 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya (Es) = $19,2$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya (Em) = $55,19$ Volt. Model sistem pentanahan = 10×10 jumlah konduktor dan Batang Rod = 24 , Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = $0,325 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya (Es) = $20,83$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya (Em) = $46,00$ Volt. Model sistem pentanahan = 12×12 jumlah konduktor dan Batang Rod = 32 , Nilai resistansi pentanahan yang ditampilkan yaitu sebesar (R) = $0,314 \Omega$, tegangan sentuh sebenarnya (Es) = $20,87$ Volt dan tegangan langkah sebenarnya (Em) = $39,35$ Volt. Hasil pengujian menyatakan bahwa semakin banyak jumlah konduktor dan Batang Rod tertanam yang dipasang semakin berkurang nilai resistansi pentanahannya, serta pengaruh timbulnya tegangan sentuh dan tegangan langkah semakin menurun, kondisi ini termasuk kedalam kondisi aman untuk keamanan sistem, peralatan dan personil yang berada dilapangan.

DAFTAR RUJUKAN

- ANSI/IEEE Std 81-1983 (2012). IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. *Power System Instrumentation and Measurements Committee of the IEEE Power Engineering Society*. <https://standards.ieee.org/ieee/81/4889>.
- Gouda, O. E., El Dein, A. Z. (2017). Ground potential rise of faulty substations having equal and unequal spacing grounding grids conductors. *IET Generation, Transmission & Distribution*. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.0263>.
- IEEE Std 80-2013 (2013). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", *IEEE Power Engineering Society*. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7109078>.
- Malek, Z. A., Yaman, M. S. A., Adna, M. (2020). Effects of soil profile on the transient performance of substation grounding system. *Indonesian Journal of Electrical*

- Engineering and Computer Science* 20(2).
2. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i2.pp870-877>.
- Muhsinin, S., Haddin, M., Widiastuti, I. (2022). Evaluasi Pengaruh Perubahan Konduktor Rod Terhadap Resistansi Pentanahan GITET 500 KV Ungaran. *Jurnal Teknik Elektro*. 5(1). Halaman 21 -28. <https://journal.um-surabaya.ac.id/cyclotron/article/view/10699/4625>.
- Neamt, L. Chiver, O. (2021). A Simple Design Method of Unequal Spacing Arrangement for Substation Grounding Grid. *IEEE Access* Volume: 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119941>.
- Panjaitan, J. (2024). Design Of A Main Substation Grounding System Based On Variations In Area and Number Of Electrodes. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 6(2). <https://doi.org/10.37905/jjeeee.v6i2.25224>.
- Permal, N., Osman, M. (2021). The Impact of Substation Grounding Grid Design Parameters in Non-Homogenous Soil to the Grid Safety Threshold Parameters. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3063018>.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik (2011). Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/d8197-buku-puil.
- Phayomhom, S. Sirisumrannuku, T. Kasirawat, A. Puttarach (2014). Optimum Compression Ratio on Ground Grid Design in MEA's Power Distribution Substation. *International Electrical Engineering Congress*. <https://doi.org/10.1109/ieecon.2014.6925843>.
- Pratiwi, F. R., Suryanto, A. (2021). Analisis Sistem Grounding Pada Gardu Induk 150kv Temanggung Dengan Simulasi Software Etap. *Jurnal Teknik Elektro Uniba*, 5(2). <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v5i2.91>.
- Salam, Md. A. Rahman, Q. M., Ang, S. P., Wen, F. (2015). Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 5(2), 290–297. <https://doi.org/10.1007/s40565-015-0153-8>.
- Salam, Md. A. (2012). Grounding resistance measurement by grid electrode in Brunei Darussalam. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 8(2), 196 – 208. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2012.046568>.
- Salam, Md. A. (2013). Grounding resistance measurement using vertically driven rods near residential areas, *International Journal of Power and Energy Conversion*, 4(3), 238 – 250. <https://doi.org/10.1504/IJPEC.2013.054852>.
- Saputra, A. R., Haddin, M., Nugroho, A. d. (2018). Pengaruh Konfigurasi Dan Kedalaman Penanaman Konduktor Terhadap Resistans Pentanahan Gardu Induk Tegangan Ekstra

Tinggi (Gitet) 500 kV Ungaran. *Media Elekrika*. 11(1).
<https://doi.org/10.26714/me.v11i1.4499>.

Sengar, K. P., Chandrasekaran. (2019). Comparative Analysis of Grounding Grid Configurations with Equal and Unequal Spaced Design. *International Conference on Energy, Systems and Information Processing*. <https://doi.org/10.1109/ICESIP46348.2019.8938216>.

Suripto, M., Kiswantono, A. (2021). Evaluasi Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Jabon Dengan Simulasi Software CYMGRD. *Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem & Komputer*, 1(2). <https://doi.org/10.32503/jtecs.v1i2.1624>.