Volume 6 Nomor 2 Juli 2024

JJEEE

e-ISSN : 2715-0887
p-ISSN : 2654-7813

*Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*

# Rancangan Sistem Pentanahan Gardu Induk Berdasarkan Variasi Luas Area dan Jumlah Elektroda

# *Design Of A Main Substation Grounding System Based On Variations In Area and Number Of Electrodes*

Joel Panjaitan *
Program Studi Teknik Elektro
Akademi Teknik Deli Sedang
Medan, Sumatera Utara
joel.pandjaitan@gmail.com

Jhoni Hidayat
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Tjut Nyak Dhien
Medan, Sumatera Utara
hidayat.jhoni@gmail.com

Arnold Pakpahan
Program Studi Teknik Elektro
Akademi Teknik Deli Serdang
Medan, Sumatera Utara
arnoldpakpahan@gmail.com

Ayu Fitriani
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Tjut Nyak Dhien
Medan, Sumatera Utara
ayufitriani2796@gmail.com

Muhammad Muchlisin
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Tjut Nyak Dhien
Medan, Sumatera Utara
moh.muchlisiin@gmail.com

Regina Sirait
Program Studi Teknik Elektro
Politeknik Negeri Medan
Medan, Sumatera Utara
reginasirait@gmail.com

Diterima : Mei 2024
Disetujui : Juli 2024
Dipublikasi : Juli 2024

***Abstrak-*** Fungsi sistem pentanahan yaitu membatasi tegangan yang timbul antara peralatan dengan tanah dan menetralkan tegangan yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir dalam tanah. Sistem pentanahan yang tidak aman dapat mengganggu kandalan sistem dan keselamatan manusia di area gardu induk. Penelitian ini bertujuan untuk menyimulasikan rancangan sistem pentanahan gardu induk dengan pengaruh variasi luas area dan jumlah elektroda yang dipasang secara *grid* maupun *rod* pada kondisi tanah rawa dengan nilai resistivitas tanah yang berbeda. Pengaruh dari parameter tersebut yaitu pada nilai tahanan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada berat badan 70 kg dengan mengggunakan aplikasi CYMGRD sebagai media untuk melihat efektifitas dan optimasi apakah sistem pentanahan gardu induk dengan variasi luar area dan variasi jumlah batang elektroda sudah sesuai persyaratan dengan tidak melampaui batasan aman pada sistem ataupun manusia. Rancangan sistem pentanahan ini dirancang untuk dua kasus,yaitu kasus 1: nilai tegangan sentuh maksimun dan tegangan langkah maksimum melebihi daripada tegangan sentuh dan tegangan langkah maksimum yang diizikan, sehingga kondisi seperti ini termasuk kedalam kriteria kurang aman dan dapat membahaya personil di lapangan. Kasus 2: nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah lebih kecil dari nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah diizinkan, sehingga rancangan ini termasuk dalam kondisi aman dan memenuhi kriteria sistem pentanahan yang baik dan aman.

***Kata Kunci*— Tegangan Sentuh; Tegangan Langkah; CYMGRD**

***Abstract— The function of the grounding system is to limit the voltage between equipment and the ground and neutralize the voltage that arises at the ground surface due to fault currents flowing in the ground. An unsafe grounding system can disrupt system reliability and human safety in the substation area. This research aims to simulate the design of a substation grounding system with the influence of variations in location and number of electrodes installed in grids and rods in swampy soil conditions with different soil resistivity values. The impact of these parameters is on the resistance value, touch voltage, and step voltage at a weight of 70 kg by using the CYMGRD application as a medium to see the effectiveness and optimization of whether the substation grounding system with variations in the outside area and variations in the number of electrode rods meets the requirements without exceeding safe limits on systems or humans. This grounding system design is designed for two cases, namely case 1: the maximum touch voltage and maximum step voltage values exceed the permitted touch voltage and maximum step voltage, so conditions like this are included in the criteria for being unsafe and can endanger personnel in the field. Case 2: the touch voltage and step voltage values are smaller than the permitted touch voltage and step voltage values, so this design is included in safe conditions and meets the criteria for a good and safe grounding system.***

***Keywords—Touch Voltage; Step Voltage; CYMGRD***

## I. PENDAHULUAN

Terdapat beberapa standar yang digunakan pada perencanaan rancangan sistem pentanahan gardu induk, untuk mendapatkan perencanaan yang memenuhi keamanan dalam mencegah bahaya terjadinya gangguan, salah satu panduan yang digunakan yaitu mengacu pada Standar IEEE 80-2000 [1]. Konsep-konsep perancangan sistem pentanahan gardu induk yang mengacu pada Standar IEEE 80-2000 salah satunya pada tahanan jenis tanah, luas area dan jenis elektroda yang digunakan sampai langkah-langkah dalam perancangan yang dijelaskan secara terperinci [2].

Sistem pentanahan pada gardu induk bertujuan untuk mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil atau kurang dari 5 Ω. Sistem pentanahan yang umum digunakan untuk pentanahan gardu induk yaitu mengkombinasikan jenis elektroda pentanahan grid dan rod yang dipasang secara vertikal atau horizontal [3]. Kombinasi jumlah elektroda grid dan rod tidak jauh dari jarak antar elektroda dan kedalaman penanaman elektroda. Hal ini berpengaruh terhadap nilai tahanan pentanahan yang dihasilkan. Adapun pengaruh daripada nilai tahanan pentanahan yang timbul dari berbagai kondisi jenis tanah berpengaruh terhadap nilai tegangan sentuh (Em) dan tegangan langkah (Es) yang ditimbul [4].

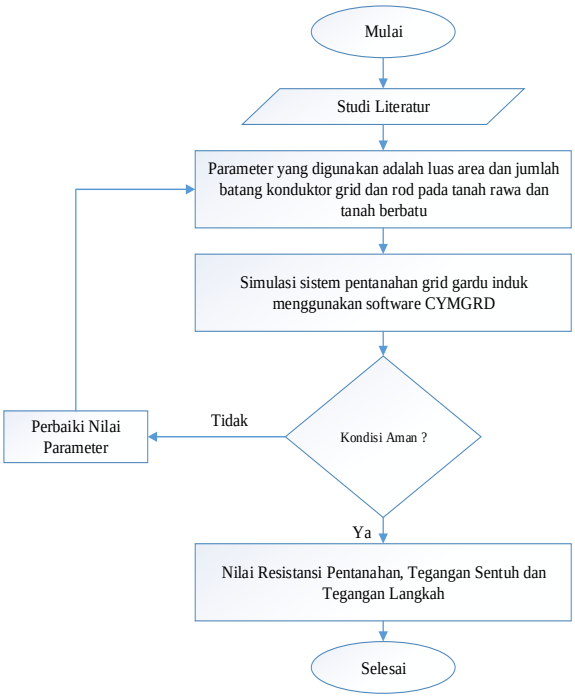
Sistem pentanahan berfungsi membatasi tegangan yang timbul diantara peralatan dengan tanah yang timbul pada permukaan tanah akibat arus gangguan yang mengalir dalam tanah. Gangguan yang timbul akibat arus gangguan yang berlebih mengakibatkan munculnya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang melebihi batasan keselamatan manusia yang diizinkan. Sistem pentanahan dipasang dengan menanamkan batang elektroda untuk membuang arus gangguan lebih ke dalam tanah[5].

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan perencanaan dan pengevaluasian sistem pentanahan pada gardu induk menggunakan aplikasi CYMGRD. Penelitian yang dilakukan oleh *Muhammad Suripto* (2021) mengevaluasi perencanaan gardu induk dipengaruh oleh ukuran konduktor terdahap nilai tahanan, kenaikan tegangan, tegangan sentuh dan tegangan langkah [6]. Penelitian lain dilakukan oleh *Md. Abdul Salam* (2017) Resistivitas tanah dan Resistansi pentanahn pada tanah kering dan tanah basah dengan pengaruh jarak antar batang konduktor [7]. Penelitian lain dilakukan *Çağrı Köksal* (2015) Analisis sistem pentanahan turbin angin pengaruhnya terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkah [8].

Penelitian ini difokuskan pada variasi luas area dan jumlah elektroda pentanahan yang digunakan, dalam hal ini menggunakan batang elektroda *Grid* dan *Rod*. Simulasi ini menggunakan jenis tanah rawa dengan nilai resistivitas tanah yang divariasikan. Hasil simulasi ini akan melihat pengaruh terhadap nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada manusia dengan berat badan 70 Kg. Penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi CYMGRD untuk mengetahui efektifitas dan optimasi sistem pentanahan gardu induk dengan tidak melebihi batasan aman pada sistem atau manusia sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan perancangan sistem pentanahan gardu induk aman untuk diaplikasikan.

## II. METODE PENELITIAN

Perencanaan perancangan sistem pentanahan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi CYMGRD sesuai dengan standar IEEE 80-2000, dengan parameter variasi luas area pentanahan dan jumlah elektroda yang dipasang secara *Grid* dan *Rod*, hal ini berpengaruh terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh dan tegangan langkah. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan optimasi hasil perancangan yang aman dan baik, dapat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian di bawah ini:




Gambar 1. Diagram alir penelitian

### A. Sistem pentanahan grid

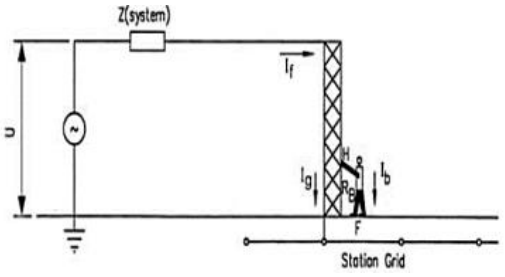
Sistem pentanahan pada dasarnya adalah menanamkan batang konduktor pentanahan secara vertikal pada setiap titik, kemudian menanamkan konduktor pentanahan secara horizontal, dan akhimya dikembangkan kembali dengan menggunakan sistem grid. Sistem grid banyak digunakan dalam sistem pentanahan gardu induk karena memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pentanahan lainnya. Kombinasi antara sistem pentanahan yang dipasang secara grid dan rod dapat menghasilkan nilai resistansi pentanahan yang relatif lebih rendah, dapat pula dibuktikan dengan menggunakan persamanan dibawah ini [9][10][12]:

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

Keterangan: $R_g$ merupakan resistansi pentanahan (Ω), $\rho$ merupakan resistivity pentanahan (Ω.m), $A$ merupakan luar area pentanahan grid ($m^2$), dan $h$ merupakan kedalaman batang elektroda.

### B. Tegangan sentuh dan Tegangan Langkah

Tegangan sentuh merupakan tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dengan titik sentuhan objek yang berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan sistem pengetanahan yang berada dibawahnya, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



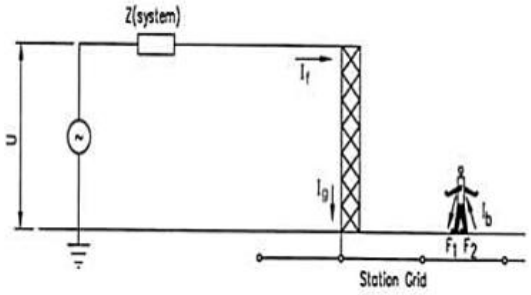
Gambar 2. Tegangan sentuh

Dengan asumsi jika seorang manusia dengan berat badan 50 Kg dan 70 Kg berada diantara satu objek dan menyentuh objek tersebut makan akan muncul tegangan sentuh dimana dapat dihitung sesuai dengan stnadar IEEE 80-2013 dibawah ini [13][14][15]:

$$E_{t50} = [1000 + 1{,}5\rho_s C_s]\frac{0{,}116}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

$$E_{t70} = [1000 + 1{,}5\rho_s C_s]\frac{0{,}157}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

Tegangan langkah merupakan beda potensial antara satu langkah kaki di atas permukaan tanah dan terdiri dari dua titik dengan jarak 1 meter, yang dialami oleh seseorang yang menghubungkan kedua titik tersebut dengan kedua kakinya tanpa menyentuh suatu peralatan apapun seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Tegangan langkah

Dengan asumsi jika seorang manusia dengan berat badan 50 Kg dan 70 Kg berada dalam posisi satu langkah kaki melangkah diatas permukaan tanah maka akan muncul tegangan langkah akibat perbedaan potensial, dimana dapat dihitung sesuai dengan standar IEEE 80-2013 dibawah ini:

$$E_{s50} = [1000 + 6\rho_s C_s]\frac{0{,}116}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

$$E_{s70} = [1000 + 6\rho_s C_s]\frac{0{,}157}{\sqrt{t}} \quad (5)$$

Nilai faktor reduksi dapat dihitung dengan parameter pada persamaan dibawah ini.

$$C_s = 1 - \frac{1-\frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s+0{,}09} \quad (6)$$

Keterangan: $C_s$ merupakan faktor reduksi nilai resistivitas, $\rho$ merupakan tahanan tanah (Ω), dan $\rho_s$ merupakan tahanan material permukaan tanah (Ω.m).

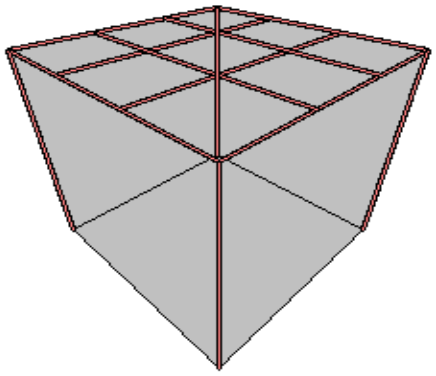
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berupa simulasi dengan parameter variasi luas area dan jumlah elektroda yang dipasang secara grid dan rod. Hasil simulasi ditampilkan menggunakan aplikasi CYMGRD. Parameter simulasi berhubungan dengan kedalaman *(h)* = 0,8 m, elektroda grid sumbu *x* = 4 dan sumbu *y* = 4, diameter 2 mm, jumlah rod di masing – masing sudut = 4, panjang rod = 10 m dan nilai resistansi pentanahan dapat ditunjukkan dalam Tabel dibawah ini:

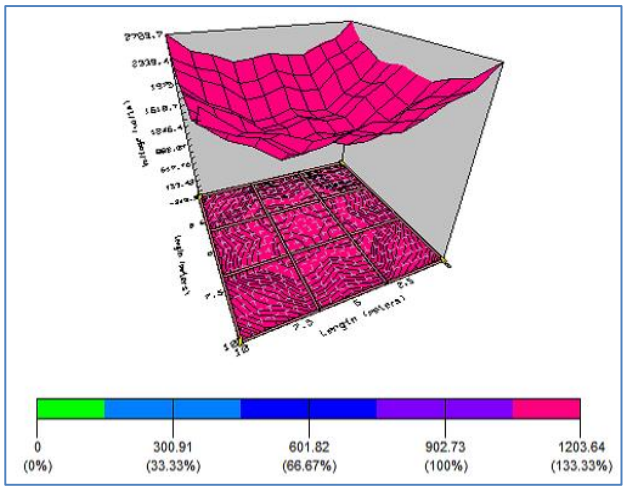
Tabel 1. Data nilai resitansi pentanahan pada kasus 1

| Tanah Rawa Luas Area 10 x 10 m² | | Resistansi Pentanahan (Ω) |
|---|---|---|
| Jarak *Probe* (m) | Resistivitas Tanah (Ω.m) | |
| 0.5 | 4 | 1.273 |
| 1 | 6 | 0.954 |
| 2 | 8 | 0.636 |
| 3 | 10 | 0.530 |
| 4 | 12 | 0.477 |
| 5 | 16 | 0.509 |
| 6 | 18 | 0.477 |
| 7 | 20 | 0.454 |
| 8 | 25 | 0.497 |
| 9 | 30 | 0.530 |

Dengan menggunakan data diatas untuk kasus 1 maka didapat kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang sudah di optimasikan pada berat badan 70 Kg dan pada kondisi tanah rawa dengan menggunakan CYMGRD, ditunjukkan dalam gambar dibawah ini:

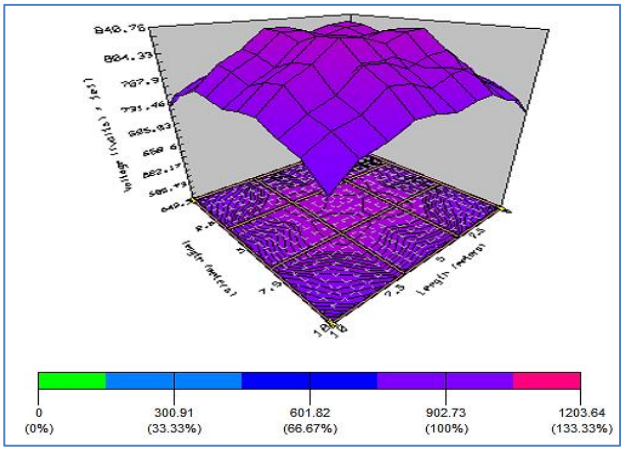

Gambar 4. Rancangan sistem pentanahan pada kasus 1

**Kasus 1:** diperoleh kondisi tegangan sentuh yang sudah dioptimasikan pada kondisi tanah rawa menggunakan CYMGRD untuk berat badan 70 kg.




Gambar 5. Tegangan sentuh untuk berat badan 70 Kg

Gambar 5 nilai tegangan sentuh maksimum (2703,73 Volt), nilai ini lebih besar dari tegangan sentuh maksimum yang disyaratkan (902,73 Volt) pada sistem pentanahan gardu induk. Kondisi ini tidak memenuhi standar yang disyaratkan dalam sistem pentanahan gardu induk. Di bawah ini ditunjukkan hasil optimasi dari tegangan langkah yang muncul pada sistem pentanahan:




Gambar 6. Tegangan langkah untuk berat badan 70 Kg

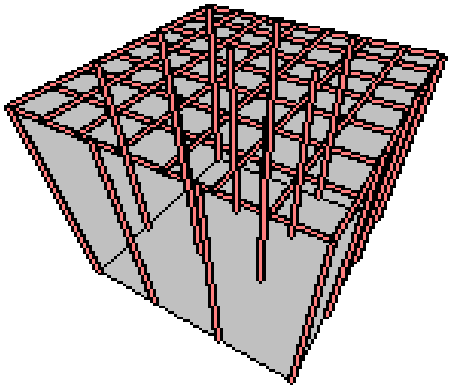
Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi tegangan langkah pada kasus 1 dengan nilai maksimum (423,08 Volt), Nilai ini lebih kecil dari nilai tegangan langkah maksimum yang disyaratkan (2944,81 Volt). Desain pada kasus 1 harus diperbaiki untuk memastikan keselamatan pada sistem serta pada makhluk hidup dengan menambah luas area gardu induk, tambahan batang elektroda *grid* dan *rod*.

Untuk itu, sistem pentanahan yang dirancang yaitu pada tanah rawa dengan Parameter kedalaman (h) = 0,8 m, elektroda grid sumbu x = 8 dan sumbu y = 8, diameter 2 mm, jumlah rod di masing – masing sudut = 16, panjang rod = 10 m dan nilai resistansi pentanahan dapat ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2. Data nilai resistansi pentanahan pada kasus 2

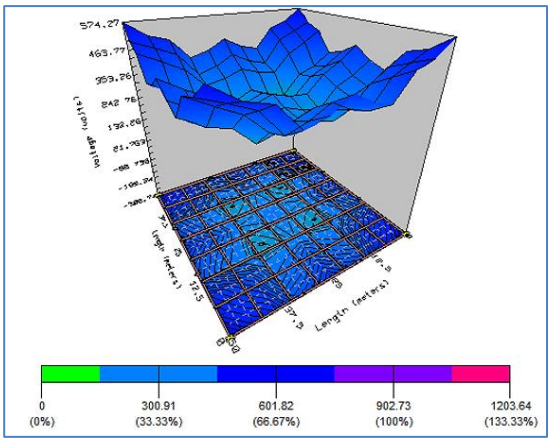
| Tanah Rawa Luas Area 50 x 50 $m^2$ | | Resistansi pentanahan (Ω) |
|---|---|---|
| Jarak *Probe* (m) | Resistivitas Tanah (Ω.m) | |
| 0.5 | 4 | 1.591 |
| 1 | 6 | 0.636 |
| 2 | 8 | 0.530 |
| 3 | 10 | 0.477 |
| 4 | 12 | 0.509 |
| 5 | 16 | 0.477 |
| 6 | 18 | 0.454 |
| 7 | 20 | 0.497 |
| 8 | 25 | 0.530 |
| 9 | 30 | 0.636 |

Dengan menggunakan data di atas diperoleh kondisi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang sudah dioptimasikan untuk berat badan 70 Kg pada kondisi tanah rawa, ditunjukkan dalam gambar di bawah ini:



Gambar 7. Rancangan sistem pentanahan pada kasus 2

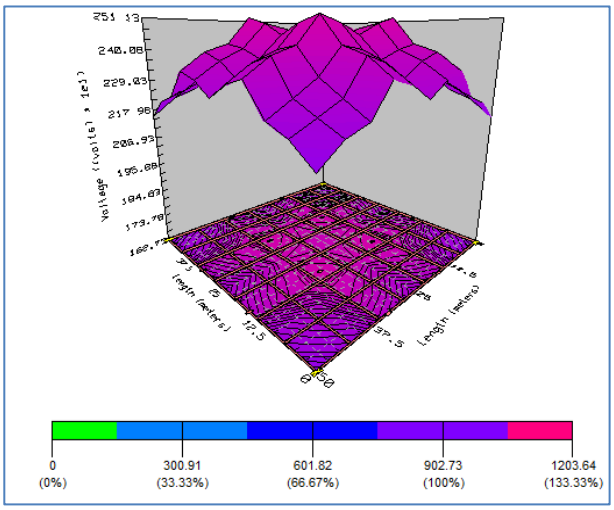
**Kasus 2:** diperoleh kondisi tegangan sentuh yang sudah di optimasikan pada kondisi tanah rawa menggunakan CYMGRD untuk berat badan 70 Kg.




Gambar 8. Tegangan sentuh untuk berat badan 70 Kg

Seperti terlihat pada Gambar 8 nilai tegangan sentuh maksimum (580,761 Volt), nilai ini lebih kecil dari tegangan sentuh maksimum yang disyaratkan (902,73 Volt). Hasil yang diperoleh dari perancangan sistem pentanahan pada gardu induk dalam kasus 2 termasuk dalam kondisi aman.

Di bawah ini ditunjukkan hasil optimasi tegangan langkah yang timbul pada sistem pentanahan gardu induk:




Gambar 9. Tegangan Langkah untuk berat badan 70 Kg

Gambar 9 diperoleh hasil tegangan langkah dengan nilai tegangan langkah maksimum (83,18 Volt), nilai ini lebih kecil dari tegangan langkah maksimum yang disyaratkan (2944,81 Volt). Rancangan sisem pentananah seperti ini termasuk dalam kriteria sistem pentanahan dengan keamanan yang baik.

## III. KESIMPULAN

Rancangan sistem pentanahan grid gardu induk dengan model persegi pada kondisi tanah rawa dalam dua kasus pada perancangan sistem pentanahan gardu induk menggunakan aplikasi CYMGRD, dapat diambil kesimpulan bahwasanya: Kasus 1 yaitu pada luas area 10 x 10 $m^2$ dengan jumlah elektroda yang dipasang secara grid pada sumbu x = 4 dan sumbu y = 4 dengan batang elektroda rod pada maisng-masing sudut = 4, maka didapat nilai tegangan sentuh maksimum sebesar (2703,73 Volt), nilai ini lebih besar dari tegangan sentuh maksimum yang disyaratkan (902,73 Volt), dan nilai tegangan langkah maksimum yaitu (423,08 Volt) yaitu lebih kecil dari tegangan langkah maksimum yang diizinkan (2944,81 Volt). Sehingga kondisi ini tidak memenuhi kriteria keamanan yang baik dan tidak memenuhi batas aman. Kasus 2 pada luas area 50 x 50 $m^2$ dengan jumlah elektroda yang dipasang secara grid pada sumbu x = 8 dan sumbu y = 8 dengan batang elektroda rod pada maisng-masing sudut = 16, maka didapat nilai tegangan sentuh maksimum sebesar (580.761 Volt) yaitu lebih kecil dari tegangan sentuh maksimum yang disyaratkan (902,73 Volt), dan nilai tegangan langkah maksimum yaitu (83,18 Volt) lebih kecil dari tegangan langkah maksimum yang disyaratkan (2944,81 Volt). Rancangan sistem pentananah seperti ini termasuk dalam keriteria sistem pentanahan dengan keamanan yang baik.


## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih untuk semua rekan-rekan dosen yang telah membantu memberikan ide dan support dalam penulisan paper ini sehingga dapat ditulis sesuai dengan standar penulisan jurnal ilmiah.


## REFFERENSI


[1] IEEE Power Engineering Society. Substations Committee. IEEE-SA Standards Board., IEEE guide for safety in AC substation grounding. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.

[2] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, An American National Standard, ANSI/IEEE Std 81-1983.

[3] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, IEEE Power and Energy Society, IEEE Std 81TM-2012.

[4] Friska Rizqi Pratiwi, Agus Suryanto, *"Analisis Sistem Grounding Pada Gardu Induk 150kv Temanggung Dengan Simulasi Software Etap"*, JTE UNIBA, Vol. 5, No. 2, April 2021.

[5] Stanislav Ilenin, Zsolt Čonka, Michal Ivančák, Michal Kolcun, *"New way in design of a power station earthing system"*, IEEE International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering • Nov. 20-21, 2018.

[6] Muhamad Suripto , Agus Kiswantono, *"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, juli 2021.

[7] Md. Abdus SALAM, Quazi Mehbubar RAHMAN, *"Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil"*, Springer, J. Mod. Power Syst. Clean Energy, 2017.

[8] Çağrı KÖKSAL, Ömer GÜL, *"Analysis Of Wind Turbine Grounding Systems In Terms Of Touch And Step Voltages"*, GÜL / IU-JEEE Vol. 15(1), 2015.

[9] Vuyani Michel Nicholas Dladla, Agha Francis Nnachi, Rembuluwani Philip Tshubwana, *"Analysis of Design Parameters on Substation Earth Grid Safety Limits"*, Science Publishing Group, 10(2): 61-72, 2022.

[10] Samuel Marco Gunawan, Julius Santosa, *"Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan"*, Jurnal Dimensi Teknik Elektro Vol. 1, No. 1, 2013.

[11] Surya Hardi, Ayu Fitriani, Emerson P. Sinulingga, *"Modeling Of Generator Neutral Grounding Through Distribution Transformator Using Lab View Graphical User Interface"*, ICOSTA 2020.

[12] Ayu Fitriani, Joel Panjaitan, and Syofyan Anwar Syahputra, *"The Effect of Soil Type on Touch Voltage and Step Voltage in the Grid Grounding System"*, Jurnal Teknik Elektro, Vol. 16 No. 1, April 2024.

[13] Ayu Fitriani, Joel Panjaitan, Syafriwel, *"Analisis Pentanahan Gardu Induk Akibat Surja Petir Menggunakan Finite Elemen Method"*, Jambura

Journal of Electrical and Electronics Engineering, Volume 5 Nomor 2 Juli 2023.
[14] ANSI/IEEE Std, 80-2013/Cor 1-2015, "IEEE` "*Guide for safety in AC substation grounding",* The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, All rights reserved, Published 15 May 2015.
[15] N. Permal, M. Osman, A. M. Ariffin, and M. Z. A. Ab Kadir, "The impact of substation grounding grid design parameters in non-homogenous soil to the grid safety threshold parameters, 2021.