E-ISSN : 3025-1311
https://journal.cib.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 5 Tahun 2026

EVALUASI TAHANAN PENTANAHAN MENARA SUTT 150 KV KILIRANJAO – TELUK KUANTAN TOWER 85 DENGAN MENGGUNAKAN MESH GRID GROUNDING SYSTEM

Reka Ivan Tirta Tama[1], Agus Adhi Nugroho[2]

[1,2] **Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung**
E-mail: rekaivan6@gmail.com[1], agusadhi@unissula.ac.id[2]

ABSTRACT

The grounding system for electric power transmission towers plays a crucial role in maintaining system reliability and protecting equipment from lightning-related disturbances. Grounding resistance values that exceed established standards increase the risk of flashovers on insulators and faults along transmission lines. This study aims to analyze the improvement of the grounding resistance value for Tower 85 on the 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan transmission line using the Mesh Grid Grounding System (MGGS) method, ensuring compliance with the standards set by PT PLN (Persero). The research was conducted in collaboration with PT PLN (Persero) UPT Padang, with the improvement work carried out in Bukit Batabuah/Kasang, Riau, between December 2023 until May 2024. A quantitative research approach was employed, comparing primary field measurement data obtained using a Kyoritsu 4105A Earth Tester before and after the improvementswith mathematical calculations based on the Schwarz equations. The results indicate that the implementation of the MGGS Design C method significantly reduced the grounding resistance of Tower 85, bringing it within the range required for reliable operational standards at PT PLN (Persero).

Keywords: Grounding System, Grounding Resistance, Mesh Grid Grounding System, Earth Tester

ABSTRAK

Sistem pentanahan pada tower transmisi tenaga listrik berperan penting dalam menjaga keandalan sistem serta melindungi peralatan dari gangguan petir. Nilai tahanan pentanahan yang melebihi standar dapat meningkatkan risiko terjadinya *flashover* pada isolator dan gangguan pada saluran transmisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbaikan nilai tahanan pentanahan Tower 85 Penghantar 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan menggunakan metode Mesh Grid Grounding System (MGGS) sehingga memenuhi standar yang ditetapkan PT PLN (Persero).

Article History
Received: Oktober 2026
Reviewed:Oktober 2026
Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Penelitian dilaksanakan di PT PLN (Persero) UPT Padang dengan lokasi perbaikan di Bukit Batabuah/Kasang, Riau Desember 2023 – Mei 2024. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan membandingkan data primer pengukuran lapangan langsung menggunakan *Earth Tester* Kyoritsu 4105A sebelum dan sesudah perbaikan, serta analisis perhitungan matematis persamaan Schwarz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode MGGS Desain C mampu menurunkan nilai tahanan pentanahan Tower 85 secara signifikan sehingga memenuhi standar operasional yang andal di PT PLN (Persero)

Kata Kunci: Sistem Pentanahan, Tahanan Pentanahan, Mesh grid grounding system, Earth Tester

PENDAHULUAN

Sistem transmisi energi listrik dituntut memiliki keandalan yang tinggi untuk menyalurkan daya dari pembangkit hingga ke pusat beban. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh PT PLN (Persero) UPT Padang adalah tingginya intensitas gangguan akibat faktor alam, terutama sambaran petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Ketika petir menyambar kawat tanah transmisi (*Ground Shield Wire*), sistem pentanahan kaki tower harus mampu menyalurkan arus surja tersebut langsung ke bumi. Namun, apabila nilai tahanan kaki tower terlalu tinggi, maka tegangan surja tersebut akan balik melompati isolator (*back flashover*) menuju kawat fasa dan memicu trip Pemutus Tenaga (PMT).

Berdasarkan identifikasi operasional pada jalur penghantar 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan yang mencakup 164 tower, ditemukan bahwa Tower 85 mengalami kenaikan nilai resistansi pentanahan di atas ambang batas aman standar regulasi PLN. Oleh karena itu, diperlukan tindakan evaluasi serta rekayasa sistem pentanahan. Metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah Mesh Grid Grounding System (MGGS), yaitu sistem kombinasi jaringan kawat kisi (grid) dan batang konduktor vertikal (rod) terintegrasi yang ditanam secara paralel untuk memperluas area pelepasan arus ke tanah.

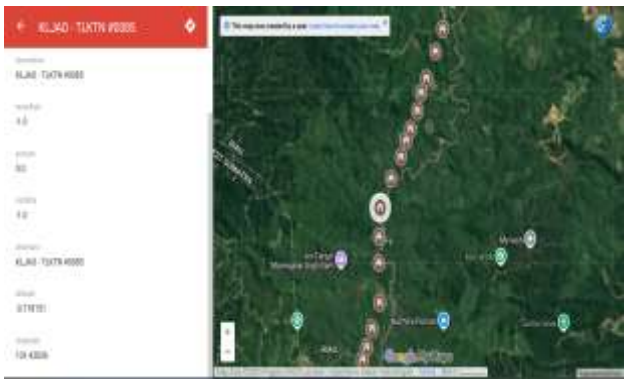
Sistem pengaman petir pada Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan salah satunya adalah sistem pembumian atau pentanahan. Sistem pentanahan atau biasa disebut grounding merupakan sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga. Sistem pentanahan sangat mempunyai peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi. Sistem pentanahan Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan sebelumnya dilakukan dengan cara menanamkan 2 (dua) batang elektroda pentanahan tegak lurus di kaki A dan C atau B dan D, kemudian batang elektroda pentanahan itu ditanam kedalam tanah. Resistansi pentanahan yang terpasang dalam tanah semakin lama akan semakin mengalami penurunan kadar pada batang elektroda, sehingga aliran arus yang melalui elektroda yang seharusnya disalurkan ke tanah menjadi kurang sempurna.

Di wilayah kerja PT PLN (Persero) UIP3B Sumatera khususnya di UPT Padang, terdapat standar metode perbaikan nilai pentanahan yang digunakan yaitu metode mesh grid grounding system (MGGS). Penggunaan metode MGGS untuk memperbaiki nilai tanahanan pentanahan tower memiliki tingkat efisiensi yang tinggi (High).

METODE PENELITIAN

1. Lokasi Penelitian

Tempat dilaksanakannya penelitian dan pengumpulan data yaitu di PT PLN (Persero) UPT Padang. Adapun pekerjaan perbaikan tahanan pentanahan tower dilaksanakan di Bukit Batabuah / Kasang, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, Riau pada tanggal 29 Mei 2024 terletak di koordinat lat. -0.718151, long. 101.42836.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 8 bulan yaitu pada bulan Desember Tahun 2023 sampai bulan Mei 2024. Identifikasi awal nilai tahanan pentanahan tower 85 Penghantar 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan dibawah standar dikarenakan tower ini terdampak gangguan petir dimana ditemukan Isolator gantung DGS flash over T.85 line 1 dan Arching horn flash over T.85 line 2 fasa T sisi hot dan cold. Kemudian dilakukan perbaikan tahanan pentanahan tower dengan menggunakan metode mesh grid grounding system.

3. Sumber Data Penelitian

Dalam penelitian kuantitatif, penulis mengumpulkan sumber data primer dan sekunder sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer berupa data hasil pengukuran langsung terhadap tahanan pentanahan tower 85 Penghantar 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan sebelum dan setelah dilakukan perbaikan.

b. Data Sekunder

Dalam tugas akhir ini, data sekunder diperoleh melalui buku pedoman dari PT PLN (Persero) dan jurnal maupun penelitian yang sudah ada sebelumnya.

4. Jenis Data Penelitian

Jenis data penelitian berupa data kuantitatif yaitu data hasil pengukuran pentanahan tower 85 Penghantar 150 kV Kilirajao – Teluk Kuantan sebelum dan sesudah perbaikan menggunakan metode mesh. Dalam penelitian tugas akhir ini penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif, yaitu salah satu jenis metode penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur, serta menggunakan angka mulai dari data penelitian, analisis terhadap data tersebut, serta kesimpulan dari hasil penelitian tersebut.

5. Prosedur Penelitian



Gambar 2 Tahapan Penelitian

Adapun persamaan Schwarz untuk mencari nilai pentanahan kombinasi antara Grid Grounding (pentanahan kisi) dan Rod Grounding (pentanahan batang konduktor) yaitu sebagai berikut.

a. Menghitung tehanan pentanahan

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L}\right) \ln\left(\frac{2L}{D}\right)$$

R = tahanan pentanahan tower, Ohm
ρ = tahanan jenis tanah
L = panjang ground rod (m)
D = diameter ground rod (m)

b. Untuk menghitung besarnya nilai tahanan pada system pembumian Grid dan Rod dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$Rg = \frac{R_1 R_2 - R^2 m}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

c. Menghitung Tahanan pembumian grid (R_1)

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2.L_C}{a'}\right) + \frac{K_1.L_C}{\sqrt{A}} - k2 \right]$$

d. Menghitung Tahanan pembumian grid (R_2)

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R}\left[\ln\left(\frac{4L_R}{\mathrm{b}}\right) - 1 + \frac{2K_1.L_R}{\sqrt{A}}(\sqrt{n_R} - 1)^2\right]$$

e. Menghitung Tahanan bersama antara grid dan batang (R_m)

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2.L_C}{L_R} + \frac{K_1.L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1\right)\right]$$

Dimana :
Rg = Tahanan grid rod atau tahanan gabungan (Ω)
R_1 =Tahanan pembumian grid
R_2 = Tahanan pembumian rod
ρ = Tahanan jenis tanah (Ω-m)
π = 3,14
L_C = Panjang total konduktor mesh (m)
a’ = $\sqrt{a\ x\ 2h}$
a = Diameter pembumian mesh (m)

h = kedalaman penanaman konduktor (m)
A = Luas area system pembumian (m^2)
K_1= koefisien yang tergantung dari perbandingan panjang dan lebar
K_2 = koefisien yang tergantung dari perbandingan panjang dan lebar
n_R = Jumlah konduktor batang rod
L_R = Panjang batang konduktor rod (m)
b = Diameter konduktor pembumian mesh (m)

f. Hukum Ohm menghubungkan tegangan (V), arus (I)), dan hambatan (R) dengan rumus V = I x R. Untuk rangkaian paralel, hambatan total dihitung dengan rumus kebalikan

$$\frac{1}{Rp} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \cdots + \frac{1}{Rn}$$

g. Adapun untuk mencari hambatan jenis sebuah logam/benda adalah

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode pengukuran dan perhitungan yang telah dipilih, maka data dan analisis evaluasi tahanan pentanahan menara sutt 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan Tower 85 dengan menggunakan mesh grid grounding system desain C adalah sebagai berikut.

1. Data Tower

Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan merupakan salah satu penghantar di wilayah kerja ULTG Kiliranjao UPT Padang. Berikut merupakan data Tower 85 Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan.

- Tipe tower : Tension
- Jenis tower : CC-6
- Posisi tower : Perbukitan
- Sistem Pentanahan Awal :Pentanahan langsung
- Nilai tahanan pentanahan : 16,91 Ω
- Diameter Rod : 16 mm (0,016 m)
- Panjang Rod : 5 m

2. Tahanan Jenis Pentanahan

Berikut merupakan perhitungan tahanan jenis pentanahan pada tower 85 penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan menggunakan rumus. Nilai tahanan pentanahan tower 85 sebelum dilakukan perbaikan menggunakan pentanahan metode langsung didapatkan hasil pengukuran dengan data sebagai berikut.



Gambar 3 Nilai Tahanan Pentanahan Tower 85

Untuk mendapatkan perhitungan tahanan jenis tanah tower 85 dimana berdasarkan data tower, maka digunakan rumus 1 yaitu sebagai berikut.

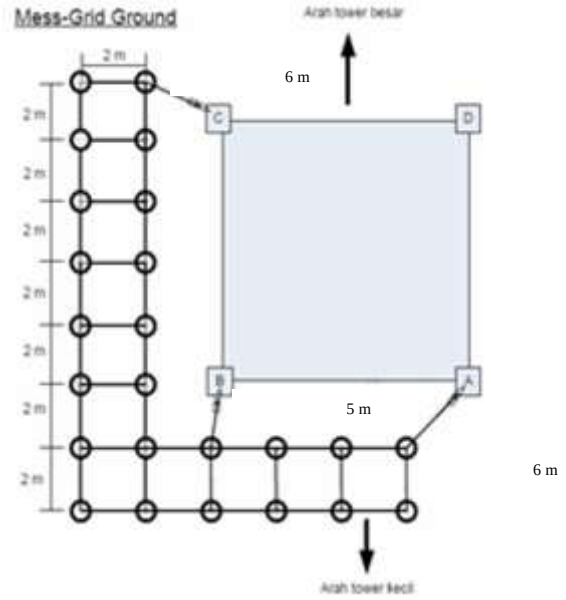
$$\rho = \frac{R\ 2\pi L}{(In\frac{2L}{d})}$$

$$\rho = \frac{16{,}91\ x\ \ 2\ x\ 3{,}14\ x\ 5}{(In\frac{2\ x\ 5}{0{,}016})}$$

$$\rho = \frac{530{,}974}{6{,}43775} = 82{,}47817\ \Omega\ /\ m$$

3. Perhitungan Nilai Pentanahan

Berdasarkan desain pemasangan MGGS pada tower 85 berikut merupakan perhitungan nilai tahanan pentanahan pada tower 85 menggunakan rumus.



I	Material
1	Kawat GSW 55 mm2
2	Skun untuk GSW 55 mm2
3	Baut, mur, ring Galvanis / Baja uk. 12 / 14 mm untuk skun GSW
4	Rod Grounding Lapis Tembaga 5/8" panjang 1.5 - 2.5 meter
5	Clamp U/Kuku Macan Galvanis 16 - 17 mm

Dimana :

Rg = Tahanan grid rod atau tahanan gabungan (dicari)

R_1 = Tahanan pembumian grid (dicari)

R_2 = Tahanan pembumian rod (dicari)

ρ = Tahanan jenis tanah (82,47817 Ω / m)

π = 3,14

L_C = Panjang total konduktor mesh (2x38+2x6+5 = 85 m)

$a' = \sqrt{a\ x\ 2h}$

a = Diameter pembumian mesh (0,55 m)

h = kedalaman penanaman konduktor (1 m)

A = Luas area system pembumian ($44\ m^2$)

K_1 = koefisien yang tergantung dari perbandingan panjang dan lebar (1,37)

K_2 = koefisien yang tergantung dari perbandingan panjang dan lebar (6,5)

n_R = Jumlah konduktor batang rod (24 btg)

L_R = Panjang batang konduktor rod (1,5 m)

b = Diameter konduktor pembumian mesh (5/8" = 0.015875 m)

a. Menghitung Tahanan pembumian grid (R_1) menggunakan rumus 3

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2.L_C}{a'}\right) + \frac{K_1.L_C}{\sqrt{A}} - k2\right]$$
$$R_1 = \frac{82{,}47817}{3{,}14\ x\ 85}\left[\ln\left(\frac{2\ x\ 85}{\sqrt{0{,}55\ x\ 2.1}}\right) + \frac{1{,}37\ x\ 85}{\sqrt{44}} - 6{,}5\right]$$
$$R_1 = 4{,}986\ Ohm$$

b. Menghitung Tahanan pembumian rod (R_2) menggunakan rumus 4

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R}\left[\ln\left(\frac{4L_R}{b}\right) - 1 + \frac{2K_1.L_R}{\sqrt{A}}(\sqrt{n_R} - 1)^2\right]$$
$$R_2 = \frac{82{,}47817}{2\ x\ 3{,}14\ x\ 24\ x\ 1{,}5}\left[\ln\left(\frac{4\ x\ 1{,}5}{0{,}0159}\right) - 1 + \frac{2\ x\ 1{,}37\ x\ 1{,}5}{\sqrt{44}}(\sqrt{24} - 1)^2\right]$$
$$R_2 = 5{,}487\ Ohm$$

c. Menghitung Tahanan bersama antara grid dan batang (R_m) menggunakan rumus 5

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C}\left[\ln\left(\frac{2.L_C}{L_R} + \frac{K_1.L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1\right)\right.$$
$$R_m = \frac{82{,}47817}{3{,}14\ x\ 85}\left[\ln\left(\frac{2\ x\ 85}{1{,}5} + \frac{1{,}37\ x\ 85}{\sqrt{44}} - 6{,}5 + 1\right)\right.$$
$$R_m = 5{,}185\ Ohm$$

d. Untuk menghitung besarnya nilai tahanan total pada system pembumian Grid dan Rod dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2.

$$Rg = \frac{R_1 R_2 - R^2{}_m}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$
$$Rg = \frac{4{,}986\ x\ 5{,}487\ -26{,}88}{4{,}986 + 5{,}487 - 10{,}37}$$
$$Rg = 4{,}607\ Ohm$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai tahanan pentanahan tower 85 menggunakan MGGS yaitu 4,607 Ohm. Dilakukan pengukuran ulang dengan memastikan nilai pentanahan sudah termasuk standart yang diinginkan dengan menggunakan earth tester Kyoritsu 4105A.



Gambar 4 Hasil Ukur Nilai Pentanahan T.85

Berikut merupakan perhitungan persentase perbaikan nilai tahanan pentanahan berdasarkan data perhitungan.

$$\%\ \text{Perbaikan} = \frac{\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir}}{\text{Nilai Awal}}\ x\ 100\%$$
$$\%\ \text{Perbaikan T.85} = \frac{16{,}91 - 4{,}607}{16{,}91}\ x\ 100\% = 72{,}76\%$$

Jika dibandingkan antara rumus Rg dan rumus R paralel, dimana jumlah rod adalah 24. Dimana kita ketahui, ρ tembaga keras adalah 0.0175 Ω m, spesifikasi rod adalah 5/8' atau bisa dikatakan bahwa diameter rod tersebut adalah 0,015875 m, dengan panjang rod yaitu 1,5 m. Selanjutnya dicari R paralel 1 dst kita digunakan rumus 7

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{1.5}{3.14x0.0079375^2}$$

$$R = 132{,}6881635\ \Omega$$

Kemudian untuk mencari R paralel, maka menggunakan rumus 6

$$\frac{1}{Rp} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \cdots + \frac{1}{Rn}$$

$$\frac{1}{Rp} = \frac{1}{132{,}6881635} + \frac{1}{132{,}6881635} + \cdots + \frac{1}{132{,}6881635}$$

$$\frac{1}{Rp} = \frac{24}{132{,}6881635}$$

Rp = 5,528673478 Ω

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus IEEE std. 80. 2000, pada tower 85 mengalami perbaikan nilai tahanan pentanahan sebesar 72,76% yaitu dari 16,91 Ohm menjadi 4,607 Ohm.

Berdasarkan pengukuran nilai tahanan pentanahan menggunakan Earth Tester Kyuritsu 4105 A, pada tower 85 mengalami perbaikan nilai tahanan pentanahan sebesar 73,68% yaitu dari 16,91 Ohm menjadi 4,45 Ohm.

4. Data Pembanding

Salah satu penghantar yang memiliki histori gangguan petir paling banyak yaitu Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan disekitar tower 80 – 90. Sehingga tower 85 Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan memiliki urgensi yang lebih diutamakan karena selain memiliki histori gangguan petir juga memiliki nilai kerapatan petir (jumlah sambaran dan kuat arus) cukup tinggi.



Gambar 5 History gangguan Kiliranjao – Teluk Kuantan Tahun 2023 – 2025

Dari total sebanyak 19 kali gangguan di penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan dari tahun 2023 – 2025, 17 kali diantaranya adalah gangguan yang disebabkan oleh petir atau 89,47 % gangguan di penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan adalah petir. Adapun jumlah sambaran per tower di penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 6 Jumlah sambaran petir segmen Kiliranjao – Teluk Kuantan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4, diketahui tower dengan jumlah sambaran petir paling banyak di penghantar – Kiliranjao – Teluk Kuantan berkisar antara tower 80 – 100. Dimana kuat arus yang menyambar pada tower di penghantar tersebut dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 7 Kuat sambaran petir segmen Kiliranjao – Teluk Kuantan

Berdasarkan grafik pada gambar 7, diketahui kuat arus petir yang paling tinggi di penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan adalah disekitar tower 20, 85, dan 120. Adapun beberapa tower dengan nilai pentanahan yang cukup tinggi di penghantar Kiliranjao – Teluk Kuantan dapat dilihat pada tabel 1

TOWER	ALAT UJI	NILAI (Ohm)
TOWER KLJAO - TLKTN #0059	KYORITSU	12.18
TOWER KLJAO - TLKTN #0055	KYORITSU	10.86
TOWER KLJAO - TLKTN #0060	KYORITSU	9.58

Tabel 1 Tower dengan nilai pentanahan tinggi

Jika akan dilakukan perbaikan nilai pentanahan menggunakan metode MGGS, maka dapat dihitung

1. Nilai ρ masing-masing tower sesuai rumus 1 adalah
   - Tower 59 = 59,4077 Ω / m
   - Tower 55 = 52,96942451 Ω / m
   - Tower 60 = 46,72625108 Ω / m
2. Selanjutnya untuk menghitung Tahanan pembumian grid (R_1) menggunakan rumus 3
   - Tower 59 = 3,591 Ω
   - Tower 55 = 3,202 Ω
   - Tower 60 = 2,825 Ω
3. Menghitung Tahanan pembumian rod (R_2) menggunakan rumus 4
   - Tower 59 = 3,952 Ω
   - Tower 55 = 3,524 Ω
   - Tower 60 = 3,108 Ω
4. Menghitung Tahanan bersama antara grid dan batang (R_m) menggunakan rumus 5
   - Tower 59 = 3,734 Ω
   - Tower 55 = 3,330 Ω
   - Tower 60 = 2,937 Ω
5. Untuk menghitung besarnya nilai tahanan total pada system pembumian Grid dan Rod dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2
   - Tower 59 = 3,318 Ω
   - Tower 55 = 2,959 Ω
   - Tower 60 = 2,610 Ω

KESIMPULAN

Berikut merupakan beberapa kesimpulan dari jurnal ini.

1. Penghantar 150 kV Kiliranjao – Teluk Kuantan memiliki 164 tower, dimana terdapat tower yang memiliki nilai tahanan yang tinggi atau tidak sesuai standar yaitu pada tower 85.
2. Perbaikan dilakukan dengan metode MGGS (Mesh Grid Grounding System) menggunakan desain C yaitu rangkaian kawat GSW yang berbentuk grid dengan masing-masing panjang 2 meter dan dihubungkan dengan 24 batang rod dan ditanam dengan kedalaman 1 meter, serta dihubungkan pada 3 kaki tower.
3. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus IEEE std. 80. 2000, pada tower 85 mengalami perbaikan nilai tahanan pentanahan sebesar 72,76% yaitu dari 16,91 Ohm menjadi 4,607 Ohm.
4. Berdasarkan pengukuran nilai tahanan pentanahan menggunakan Earth Tester Kyuritsu 4105 A, pada tower 85 mengalami perbaikan nilai tahanan pentanahan sebesar 73,68% yaitu dari 16,91 Ohm menjadi 4,45 Ohm.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ihsan Eko Saputro, *Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Pati - Jekulo*, Semarang : Universitas Semarang, 2023

[2] Gio Tamahullah dan Dini Fauziah, *Analisis Tahanan Pentanahan pada Kaki Tower SUTT 150 kV Jatiluhur-Padalarang Institut Teknologi Nasional*, Bandung : Institut Teknologi Nasional Bandung, 2021.
[3] Teguh Arfianto, Adam Ibnu Salam, *Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Tower SUTT 70 kV Rute Cigereleng-Majalaya*, Bandung : Institut Teknologi Nasional, 2019.
[4] Anang Tri Wibowo, I Made Wartana, *Pentanahan Grid Standart IEEE 80-2000 Pada Gardu Induk Kraksaan Probolinggo Untuk Meningkatkan Keamanan Sistem Pentanahan*, Malang : Institut Teknologi Nasional, 2023.
[5] Grounding System. IEEE std. 80. 2000. IEEE Guide For Safety In Ac Substation Grounding. USA.
[6] Kelompok Bidang Standardisasi Transmisi, *Pembumian Pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi,* Jakarta : PT PLN (Persero), 2020.
[7] PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) 2000
[8] SK Dir 0520 Tahun 2014 PT PLN (Persero) Pedoman SUTT - SUTET
[9] DIV TSJ PT PLN (Persero), Petunjuk Pelaksanaan Pemilihan Perlindungan Terhadap Petir, Implementasi Isolator, Pentanahan dan Perkuatan Dinding Penahan Tanah, PT PLN (Persero) : Jakarta, 2023.
[10] Lightning Performance, IEEE Std 1243-1997, IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Line
[11] PLN RESEARCH INSTITUTE, PLN PETIR, 2018
[12] Aslimeri, dkk, Teknik Transmisi Tenaga Listrik, 2008
[13] Ahmad Rosyid Idris, dkk, Analisis Pengaruh Pemasangan Counterpoise Pada Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV Line Mandai - Pangkep