

ANALYSIS OF THE GROUNDING SYSTEM ON A 150KV TRANSMISSION TOWER TITI KUNING SEGMENT-BERASTAGI

ANALISIS SISTEM PEMBUMIHAN PADA TOWER TRANSMISI 150KV SEGMENT TITI KUNING-BERASTAGI

Jepta Adi Putra Sihombing¹, Dino Erivianto², Siti Anisah³

Universitas Pembangunan Panca Budi^{1,2,3}

jeptaadi@gmail.com¹, derivianto@gmail.com², sitianisah@dosen.pancabudi.ac.id³

ABSTRACT

This study discusses the transmission line security system to maintain system reliability and minimize power outages. The transmission network plays an important role so that periodic monitoring and maintenance are needed. Maintenance actions are carried out to prevent disruptions to the electric power system and to maintain electric power equipment according to its design characteristics. Although maintenance has been carried out routinely, in some cases there are still disruptions to the transmission line, one of which is caused by lightning strikes. This can cause disruption to the distribution of the transmission system. The focus of the research to minimize the impact of lightning strikes is by improving the tower grounding resistance value and adding external protection to towers that are vulnerable to lightning strikes. The research method is to implement grounding improvements with a counterpoise system and install DGS on towers that are vulnerable to lightning strikes. The results obtained after the implementation are that the counterpoise method can function well in reducing resistance in the Titi Kuning-Brastagi segment transmission tower.

Keywords: *Transmission Tower, Grounding, Counterpoise, DGS*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas sistem pengamanan saluran transmisi untuk menjaga keandalan sistem dan meminimalisir pemadaman listrik. Jaringan transmisi berperan penting sehingga diperlukannya pemantauan dan pemeliharaan secara berkala. Tindakan pemeliharaan dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik dan menjaga peralatan tenaga listrik sesuai dengan karakteristik desainnya. Meskipun pemeliharaan telah dilaksanakan secara rutin, dalam beberapa kasus masih saja terjadi gangguan pada saluran transmisi dimana salah satunya disebabkan oleh sambaran petir. Hal ini dapat menyebabkan gangguan pada penyaluran sistem transmisi. Fokus penelitian untuk meminimalisir dampak dari sambaran petir yaitu dengan perbaikan nilai resistansi pentanahan tower dan ditambahkannya proteksi eksternal pada tower yang rawan dari sambaran petir. Metode penelitian dengan mengimplementasikan perbaikan pentanahan dengan sistem counterpoise serta memasang DGS pada tower yang rawan dengan sambaran petir. Hasil yang diperoleh setelah adanya implementasi terdapat bahwa metode counterpoise dapat berfungsi dengan baik dalam mengurangi resistansi pada tower transmisi segmen Titi Kuning-Brastagi.

Kata Kunci: Tower Transmisi, Grounding, Counterpoise, DGS

PENDAHULUAN

Instalasi tenaga listrik terdiri dari suatu sistem yang terintegrasi yang terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi (Anisah & Khaizairani, 2018). Sistem transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari Sisi Pembangkit ke Gardu Induk Tegangan Tinggi / Ekstra Tinggi dan dari GITET / GI / GIS ke GITET / GI / GIS lain melalui kawat telanjang dengan aman dan dengan rugi daya yang kecil (Tharo et al., 2020). Keandalan dari sistem tenaga

listrik khususnya sistem transmisi SUTT/SUTET akan sangat ditentukan oleh bagaimana sistem tersebut dikelola, apalagi SUTT/SUTET melintasi daerah terbuka sehingga sangat rawan terhadap gangguan baik gangguan berasal dari kondisi internal transmisi maupun yang berasal dari gangguan eksternal seperti gangguan alam, gangguan binatang, tumbuh tumbuhan maupun yang berasal dari aktifitas manusia (Arman et al., 2024).

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem transmisi adalah

gangguan sambaran petir (Maulasa et al., 2024), (Saragih et al., 2020). Sambaran petir pada penghantar tegangan tinggi menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan pada penghantar. Kenaikan tegangan ini menyebabkan tegangan lebih yang berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung penghantar. Tegangan lebih akibat sambaran petir disebut Surja Petir (Kumala Mahda Habsari et al., 2022). Arus gangguan yang diakibatkan oleh surja petir selanjutnya akan dirasakan oleh *distance relay* sehingga bekerja untuk melakukan *open* pada PMT yang mengakibatkan terjadinya *reclose* pada penghantar. Hal ini tentunya akan membuat penyaluran menjadi terganggu.

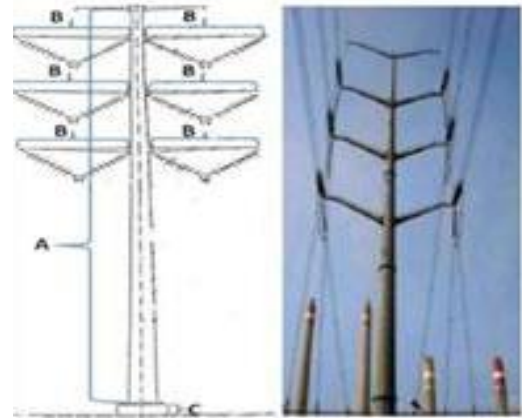
Banyak faktor yang dapat mempengaruhi gangguan transmisi akibat sambaran petir. Salah satunya yaitu nilai pentanahan tower transmisi yang melampaui batas standar nilai resistansi pada sistem transmisi 150 kV. Dimana untuk sistem transmisi 150 kV nilai pentanahan yang dianjurkan adalah $\leq 10 \Omega$. Apabila nilai pentanahan nya besar potensi terjadinya *backflashover* semakin besar. Sehingga dampaknya berupa gangguan pada sistem transmisi dan bahkan dapat merusak peralatan transmisi. Peristiwa *backflashover* biasanya akan ditandai dengan adanya indikasi *reclose* pada sistem proteksi dan juga ditandai dengan adanya temuan flashover pada isolator dan arching horn setelah tim maintenance melakukan CUI (*Climb Up Inspection*) (Rarun et al., n.d.), (Zhu et al., 2023).

Sistem Transmisi Tenaga Listrik

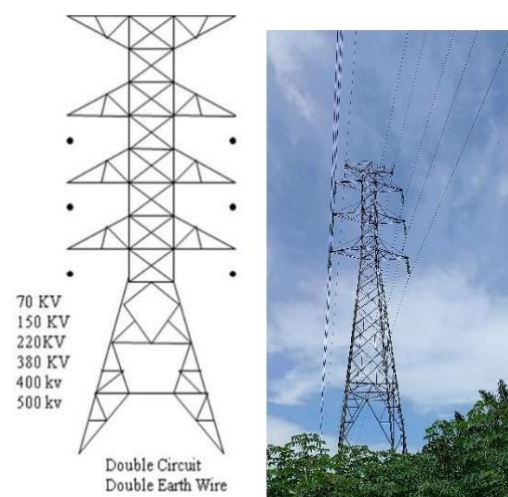
Pusat tenaga listrik yang merupakan produsen energi listrik menghasilkan listrik dengan kapasitas tegangan tertentu. Tegangan dari pusat pembangkit tersebut kemudian dinaikkan menggunakan transformator *step up* ke tegangan transmisi 150 KV & 500 KV untuk selanjutnya di transmisikan melalui saluran transmisi (Alcayde-García et al., 2022). Pada suatu titik tegangan akan

diturunkan lagi menggunakan transformator *step down* untuk selanjutnya masuk ke saluran distribusi untuk didistribusikan langsung ke pelanggan tegangan menengah 20 KV yang biasanya terdiri dari pelanggan Industri, atau diturunkan kembali ke tegangan rendah 380 / 220 V untuk disalurkan ke konsumen komersial / perumahan.

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit menuju gardu induk, atau dari gardu induk menuju gardu induk lainnya. Sesuai dengan konstruksinya, tower transmisi yang umum digunakan terbagi atas 2 macam, yang disesuaikan dengan fungsinya masing-masing (Bishri et al., 2024).



Gambar 1. Tiang Pole



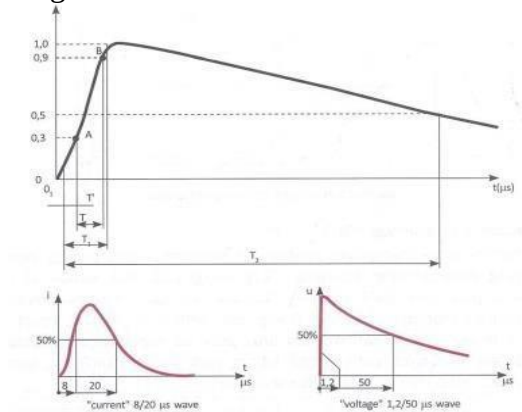
Gambar 2. Tiang Kisi-Kisi

Surja Pertir

Peristiwa petir merupakan peristiwa alam yang mengenai muatan listrik dan

pelepasan listrik elektrostatik antara awan bermuatan dengan awan dan awan bermuatan dengan bumi. Efek sambaran petir dibagi menjadi dua yaitu sambaran tidak langsung atau induksi dan sambaran langsung. Pada sambaran induksi, muatan induksi yang muncul pada jaringan yang disebabkan oleh sambaran petir ke bumi dan oleh sambaran petir dari awan ke awan. Pada sambaran langsung, sambaran petir dari awan langsung ke jaringan yang menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Daerah yang terkena sambaran dapat terjadi pada daerah tower, kawat petir, dan kawat penghantar. Lompatan bunga api listrik yang ada pada petir terjadi karena ada beberapa tahapan yang dilalui (Zhu et al., 2023).

Sambaran langsung adalah sambaran petir ke arah fasa konduktor (tiang). Tetapi, yang sering terjadi adalah sambaran petir yang langsung menuju fasa konduktor dari sistem tenaga. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan (probabilitas) dari sambaran petir menuju ke fasa konduktor lebih besar. Sambaran tidak langsung adalah peristiwa sambaran petir yang terjadi di dekat sistem tenaga. Sambaran tersebut dapat berupa sambaran petir dari awan ke tanah ataupun sambaran petir dari awan ke awan. Biasanya sambaran petir ini lebih berpengaruh pada saluran tegangan menengah dibandingkan dengan saluran tegangan tinggi. Akibat adanya sambaran ini, akan timbul medan elektromagnetik yang dapat menginduksi tegangan pada saluran tenaga.



Gambar 3. Gelombang Surja Arus dan Tegangan

Gangguan Akibat Surja Petir Pada Jaringan Transmisi

Sambaran petir pada SUTT merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT, sehingga pada SUTT timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT. Tegangan lebih akibat sambaran petir sering disebut surja petir. Kemungkinan yang terjadi jika sistem terkena sambaran petir yaitu terjadinya back flashover yang dapat menyebabkan flash pada isolator (Liu et al., 2019). Ada tiga bahaya yang dapat terjadi pada sistem tenaga listrik akibat tegangan lebih impuls petir, yaitu :

- Jika sistem pembumian tower transmisi buruk, maka arus petir yang mengalir melalui tower akan menimbulkan tegangan yang tinggi pada puncak tower, sehingga beda potensial yang dipikul isolator transmisi naik dan dapat menimbulkan peristiwa flashover pada isolator tersebut.
- Jika suatu tegangan impuls petir tiba di suatu gardu induk maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan yang terdapat pada gardu induk.
- Jika gelombang tegangan impuls petir merambat menuju ujung jaringan transmisi yang terbuka, maka gelombang tegangan impuls petir akan dipantulkan, merambat kembali menuju titik sambaran sehingga tegangan pada titik pantulan menjadi dua kali tegangan impuls petir yang datang.

Sistem Pentanahan Tower (Grounding)

Sistem pentanahan merupakan salah satu kunci dalam melindungi sistem transmisi dari gangguan petir. Sehingga nilai pentanahan tower harus dibuat sekecil mungkin. Terdapat jenis – jenis pentanahan pada tower SUTT 150 kV berdasarkan SK DIR 0520-1.K/DIR/2014 (PLN, 2014). No. Dokumen: PDM/STT/10:2014 yaitu dengan

menggunakan Elektroda Bar, Elektroda Plat, Elektrod Tancap, *Counterpoise electrode*, *Mesh electrode*. Standard nilai pentanahan tower berdasarkan SKDIR 0520/2014 sebagai berikut:

Tabel 1. Standard Nilai Pengujian Tahanan Pentanahan Tower

Peralatan yang diperiksa	Tegangan Operasi	Standard
Pentanahan (Grounding)	70 kV	$\leq 5 \Omega$
	150 kV	$\leq 10 \Omega$
	275 kV /	$\leq 15 \Omega$
	500 kV	

Untuk menentukan tahanan pentanahan untuk beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dimana rod menembus lapisan tanah paling bawah/kedua. Dihitung dengan mengikuti persamaan berikut.

$$R = \sqrt[3]{r \cdot \rho \cdot \text{Coth}(L\sqrt{r/\rho})} \Omega$$

Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah ditentukan dari tahanan elektroda dan pada kedalaman beberapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan jenis tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan akan berubah menurut iklim, tahanan jenis tanah tersebut ditentukan oleh kandungan elektrolit di dalamnya, seperti air, mineral-mineral, garam-garaman. Pengaruh jenis tanah terhadap nilai resistansi tahanan pentanahan berbagai jenis tanah adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena struktur tanah yang berlainan antara jenis tanah yang satu dengan jenis tanah yang lainnya (Malanda et al., 2018) (Putra et al., 2023).

Tabel 2. Resistansi Jenis Tanah

Jenis Tanah	Resistansi Jenis (Ωm)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	150
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Tahanan yang melebihi nilai standard tidak menjamin keamanan proteksi saluran transmisi, sehingga diperlukan perbaikan untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahan agar memenuhi standard guna mencegah terjadinya gangguan (Putra et al., 2022).

Tabel 3. Data Hasil Ukur Jenis Tanah

Peralatan Yang Diperiksa	Tegangan Operasi	Hasil Ukur	Rekomendasi
Pentanahan Grounding	70 kV	$\leq 5 \Omega$	Pengujian Rutin
		$> 5 \Omega$	Perbaiki/Ganti
	150 kV	$\leq 10 \Omega$	Pengujian Rutin
		$> 10 \Omega$	Perbaiki/Ganti
	275 kV	$\leq 15 \Omega$	Pengujian Rutin
		$> 15 \Omega$	Perbaiki/Ganti

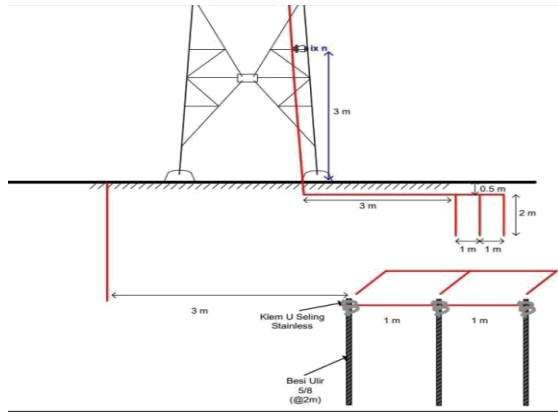
Perbaikan Tahanan Pentanahan DGS

Dedicated Grounding System (DGS) merupakan suatu sistem pengamanan dari gangguan petir yang dirancang untuk menghubungkan GSW penghantar langsung ke pentanahan secara independen melalui konduktor yang terisolasi sehingga tidak terhubung ke bodi tower. GSW *existing* yang terpasang pada traves tower dilepas dan dipasang suspension pada post insulator 20 kV sehingga bodi tower dan GSW *existing* terpisah secara listrik. GSW/konduktor yang terisolasi kemudian dipasang di GSW *existing* dan ditarik langsung ke pentanahan independen sehingga secara keseluruhan GSW *existing* terpisah secara elektrik dengan *body* tower (Khandelwal et al., 2017).

Perbaikan Tahanan Pentanahan Metode *Counterpoise*

Pentanahan tower terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium / tembaga disekitar pondasi tower yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir. Pentanahan dengan *Counterpoise* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau horisontal beberapa cm di bawah tanah (30 – 90 cm). Perbaikan tahanan pentanahan dengan metode *counterpoise* tidak hanya

dilakukan pada tower yang memiliki nilai tahanan yang tinggi, namun dapat juga dilakukan pada tower yang tahanan pentanahannya $\leq 10 \Omega$ (et al., 2023).



Gambar 4. Kontruksi Sistem Pentanahan

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian gabungan antara metode kualitatif dan kuantitatif. Metode kuantitatif menggunakan data existing yang diperlukan dengan cara mengolah lagi data tersebut agar mudah dipahami. Metode ini dilakukan agar hasil analisis data pada metode kuantitatif dapat di deskripsikan lebih jelas dengan metode kuantitatif.

Data yang diperlukan dalam penerapan metode counterpoise dan DGS untuk memperbaiki nilai pentanahan adalah sebagai berikut

- Data nilai pentanahan pada Tower Transmisi 150 kV Segmen Titi Kuning-Berastagi
- Jumlah Sambaran aktifitas petir di penghantar pada Tower Transmisi 150 kV Segmen Titi Kuning- Berastagi
- Data spesifikasi tower dan lingkungan pada tower yang akan diperbaiki

Data Spesifikasi Tower dan Lingkungan

Tabel 4. Kondisi Lingkungan Jenis Tanah

Segmen	No Tower	Tahanan Tanah	Jenis Tanah
TTKNG-BTAGI	37	11	Ladang
	40	11	Bukit
	42	10,5	Darat
	54	11,3	Darat/Batu

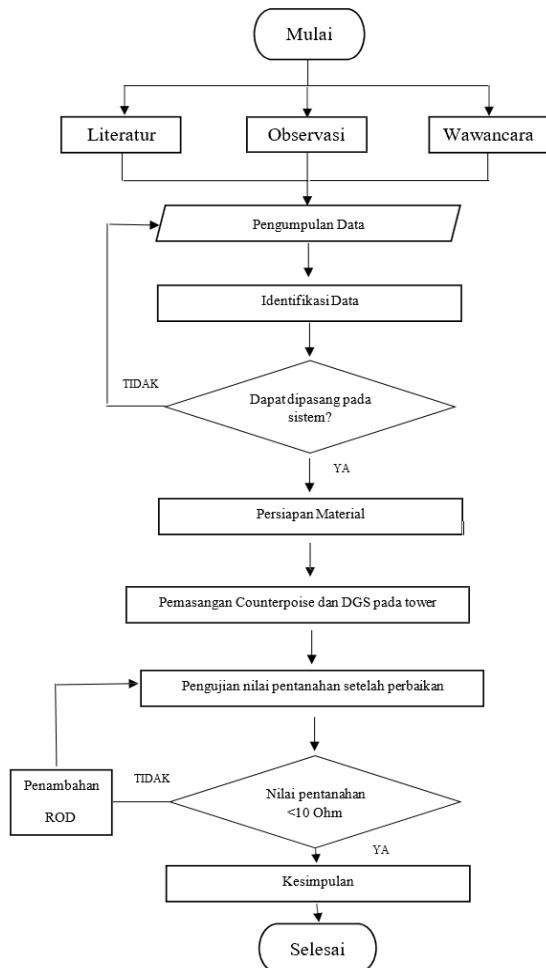
Daerah pada tower 37 merupakan daerah perkebunan yang digunakan

sebagai tempat dipasangnya sistem pentanahan *counterpoise* merupakan jenis tanah humus ($\rho=30 \Omega$). Daerah pada tower 40 merupakan daerah perbukitan dan jauh dari pemukiman penduduk dan halaman tower yang digunakan sebagai tempat dipasangnya sistem pentanahan *counterpoise* merupakan jenis tanah berpasir ($\rho = 150 \Omega$). Sedangkan daerah pada tower 42 dan 54 merupakan dataran yang digunakan sebagai tempat dipasangnya sistem pentanahan *counterpoise* merupakan jenis tanah liat ($\rho = 100 \Omega$).

Tabel 5. Data Perhitungan Tahanan Pentanahan

Data	Keterangan Ω -m			
	37	40	42	54
Tahanan Jenis Tanah (ρ)	30	150	100	100
Tahanan Kawat GSW (r)	0,001900	0,00190	0,0019	0,0019
Panjang Kawat GSW (L)	20 m	20 m	20 m	20 m

Tahapan pengerjaan penelitian adalah diawali dengan identifikasi masalah yang akan diangkat sebagai topik pembahasan, literatur, melakukan observasi dan pengumpulan data, merencanakan solusi perbaikan berupa metode perbaikan yang akan dilakukan, mengombinasikan metode counterpoise dan DGS dalam sebuah rangkaian pada tower yang mempunyai masalah terhadap nilai resistansi pentanahan, kemudian melakukan pengujian pada metode yang telah dipasang untuk mengetahui kondisi nilai resistansi tower yang telah diperbaiki, apakah dapat memberikan pengaruh pada perbaikan nilai pentanahan tower dan menganalisis, Adapun flowchart penelitian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

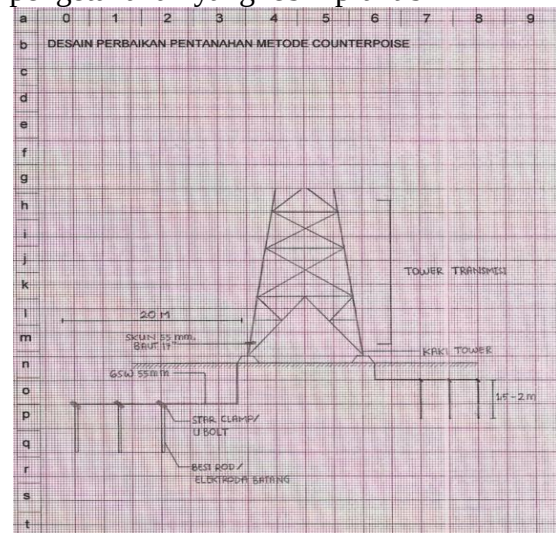
HASIL DAN PEMBAHASAN Implementasi DGS dan Counterpoise Pada Tower SUTT

Tujuan perancangan DGS adalah untuk mengisolasi seluruh kerangka tower dari arus surja pada saat terjadinya sambaran petir pada penghantar tegangan tinggi, menyalurkan impuls petir langsung ke tanah tanpa melalui kerangka tower sehingga mencegah terjadinya back flashover pada isolator. Penggunaan DGS pada tower SUTT 150 kV terpasang pada tower yang memiliki historikal sambaran petir tinggi, dan pada penghantar normal terpasang di setiap empat tower sekali. Sistem pentanahan independen dibuat dengan nilai pentanahan yang sangat kecil dan di desain agar setiap terjadi sambaran petir pada kawat GSW maka surja petir yang mengakibatkan terjadinya gelombang berjalan akan mengalir menuju bagian

yang memiliki pentanahan terkecil. Sistem ini terpasang pada titik tower yang rawan terhadap sambaran petir, baik pada tower tension maupun suspension. Konstruksi DGS dapat dilihat sebagai berikut.

Analisis Pelaksanaan Pemasangan Counterpoise

Perbaikan tahanan pentanahan dengan menambah titik buang menggunakan metode *counterpoise* lebih efektif digunakan untuk daerah berbatu serta yang memiliki tahanan jenis tanah yang tinggi karena menggunakan batang pengetanahan yang lebih praktis



Gambar 6. Kontruksi Sistem Pentanahan Counterpoise

Berdasarkan data Tahanan Pentanahan pada tabel 5 maka dapat dihitung:

Tower 37

$$R = \sqrt{r \cdot \rho \cdot \coth(L\sqrt{r/\rho})} \Omega$$

$$R = \sqrt{0,0019014 \cdot 30}$$

$$\coth(20\sqrt{0,0019014/30}) \Omega$$

$$R = \sqrt{0,057 \coth(20\sqrt{0,00006338})} \Omega$$

$$R = 0,23 \coth(0,159) \Omega$$

$$R = 0,23 \cdot 6,34 \Omega$$

$$R = 1,45 \Omega$$

Tower 40

$$R = \sqrt{r \cdot \rho \cdot \coth(L\sqrt{r/\rho})} \Omega$$

$$R = \sqrt{0,0019014 \cdot 150}$$

$$\coth(20\sqrt{0,0019014/150}) \Omega$$

$$R = \sqrt{0,285 \coth(20\sqrt{0,00001267})} \Omega$$

$$R = 0,533 \coth(0,071) \Omega$$

$$R = 0,533 \cdot 14,1 \Omega$$

$$R = 7,51 \Omega$$

Tower 42

$$R = \sqrt{r \cdot \rho \cdot \text{Coth}(L/\sqrt{r \cdot \rho})} \Omega$$

$$R = \sqrt{0,0019014 \cdot 100}$$

$$\text{Coth}(20\sqrt{0,0019014/100})\Omega$$

$$R = \sqrt{0,19014 \text{ Coth}(20\sqrt{0,000019014})} \Omega$$

$$R = 0,436 \text{ Coth}(0,0872)\Omega$$

$$R = 0,436 \cdot 11,496 \Omega$$

$$R = 5,012 \Omega$$

Tower 54

$$R = \sqrt{r \cdot \rho \cdot \text{Coth}(L/\sqrt{r \cdot \rho})} \Omega$$

$$R = \sqrt{0,0019014 \cdot 100}$$

$$\text{Coth}(20\sqrt{0,0019014/100})\Omega$$

$$R = \sqrt{0,19014 \text{ Coth}(20\sqrt{0,000019014})} \Omega$$

$$R = 0,436 \text{ Coth}(0,0872)\Omega$$

$$R = 0,436 \cdot 11,496 \Omega$$

$$R = 5,012 \Omega$$

Tabel 6. Data Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Pentanahan

Segmen	No Tower	Tahanan Tanah Pengukuran	Tahanan Tanah Perhitungan
TTKNG-	37	5,9	1,45
BTAGI	40	5,2	7,51
	42	4,7	5,012
	54	5,8	5,012

Dari hasil pada tabel di atas, di dapatkan selisih nilai rata-rata antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan sebesar 0,054 Ω . Hal ini disebabkan karena adanya pemilihan harga ρ tanah yang tidak akurat serta dipengaruhi oleh faktor kelembapan di lingkungan sekitar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa maka simpulan yang didapat setelah melaksanakan kegiatan perbaikan nilai pentanahan di wilayah kerja Tower Transmisi Titi Kuning-Berastagi yaitu :

- Tahanan Pentanahan pada Tower Transmisi Segmen Titi Kuning-Berastagi memiliki pengaruh yang besar sehingga harus diperhatikan nilainya, hal ini bertujuan untuk mengantisipasi jika terjadi sambaran petir maka arus yang melewati tower dapat dibumikan dengan baik sehingga mencegah terjadinya back flashover.
- Dedicated Grounding System (DGS)

merupakan suatu sistem pengaman dari gangguan petir yang dirancang untuk menghubungkan GSW penghantar langsung ke pentanahan secara independen melalui konduktor yang terisolasi sehingga tidak terhubung ke body tower.

- Penggunaan metode counterpoise untuk memperbaiki nilai pentanahan terbukti lebih efektif dan efisien karena metode ini mudah diterapkan di lapangan serta mampu menurunkan nilai pentanahan sesuai dengan standard perusahaan yang terdapat dalam SK DIR 0520.
- Setelah melaksanakan perbaikan nilai pentanahan, sehingga nilai pentanahan kaki tower menjadi lebih baik diharapkan tidak ada gangguan akibat petir pada Tower Transmisi Segmen Titi Kuning-Berastagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcayde-García, F., Salmerón-Manzano, E., Montero, M. A., Alcayde, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2022). Power Transmission Lines: Worldwide Research Trends. *Energies*, 15(16), 1–21. <https://doi.org/10.3390/en15165777>
- Anisah, S., & Khaizairani, A. (2018). *Journal of Electrical and System Control Engineering Analisis Perbaikan Tegangan Ujung Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV Express Trienggadeng Daerah Kerja PT PLN (Persero) Area Sigli Rayon Meureudu Dengan Simulasi E-Tap Edge Tension Repair Analysis*. 2(50).
- Arman, Rijanto, T., Joko, & Harimurti, R. (2024). Analisis Penempatan Recloser Terhadap Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jaringan Distribusi 20kV di PT.PLN (Persero) ULP AMUNTAI. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(2), 130–134.
- Bishri, M. A. A., Dalimunthe, M. E., & Lesmana, D. (2024). *Analysis of Reactive Power Flow in an Electric Power System*. 6(3), 198–203.

- <https://doi.org/10.52005/fidelity.v6i3.237>
- Karmiathi, N. M., & Yoga, P. M. P. (2023). The grounding resistance improvement of distribution substation using multiple rods and wood charcoal as soil treatment. *MATRIX: Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, 13(1), 33–41. <https://doi.org/10.31940/matrix.v13i1.33-41>
- Khandelwal, M. K., Kanaujia, B. K., & Kumar, S. (2017). Defected ground structure: Fundamentals, analysis, and applications in modern wireless trends. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2018527>
- Kumala Mahda Habsari, Amaral, H. D. fidya, & Farhan, H. (2022). Profil Tegangan Surja Petir pada Generator Impuls RLC Sebagai Simulasi Tegangan Lebih. *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(1), 24–27. <https://doi.org/10.33795/elposys.v9i1.88>
- Liu, X., Zhang, M., Wang, T., & Ge, Y. (2019). Fast evaluation of lightning-induced voltages of overhead line and buried cable considering the lossy ground. *IET Science, Measurement and Technology*, 13(1), 67–73. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2018.5078>
- Malanda, S. C., Davidson, I. E., Singh, E., & Buraimoh, E. (2018). Analysis of Soil Resistivity and its Impact on Grounding Systems Design. 2018 *IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018, August*, 324–329. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8520960>
- Maulasa, R., Kurnianto, R., & Gani, U. A. (2024). Study of Positioning Effect of Arrester Before and After FCO Next to Distribution Transformer Againsts Lightning Surge Strikes. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 12(1), 291. <https://doi.org/10.26418/j3eit.v12i1.76152>
- PLN. (2014). buku pedoman pemeliharaan SUTT-SUTET. *Pt Pln P3Bjb*, 0520, 3–4.
- Putra, D. E., Kurniawan, F., Rahmawan Sinaga, R. S., M. Khoirur Rozikin, M. K. R., Fajar Imam Alhidayah, F. I. A., Negara, Y. P. A., & Almuchlis, M. (2022). Earthing Resistance and Poldzolic Soil Resistivity at PT. Perta Samtan Gas Field Extraction Plant Prabumulih. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 2(3), 66–70. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v2i3.116>
- Putra, D. E., Pardede, G. P., Kurniawan, F., Saputra, M. W., Sinaga, R., Rahmanda, A., Rudini, B., Putra, R. E., & Salis, M. W. (2023). Comparison of Grounding Resistance Using Grounding Rod Electrodes with Different Fault Current Types in Podzolic Soil at Prabumulih Substation. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, 3(1), 19. <https://doi.org/10.29103/jreece.v3i1.10270>
- Rarun, W. P., Patras, L. S., Tumaliang, H., Elektro, T., Sam, U., Manado, R., & Manado, J. K. B. (n.d.). *Analisis Grounding Pada Tower Transmisi 150 kV Untuk Mencegahnya Terjadinya Back Flashover di Jalur Lopana – GIS Teling*.
- Saragih, R., Yusniati, Nasution, R., & Armansyah. (2020). Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV. *Journal of Electrical Technology*, 5(1), 32–36.
- Tharo, Z., Anisah, S., Putra, F. A., & Andriana, M. (2020). *Evaluation Analysis of OCR and GFR Relay Protection Coordination on Feeder*

YB-02 PT PLN ULP Natal with ETAP Simulation. 5876–5893.

Zhu, Q., Zhang, Y., Ma, Y., Zhou, F., Yin, H., Zhang, H., Pan, H., Geng, H., Zhang, B., Cheng, Z., Yu, L., & Qiu, T. (2023). Experimental and Analytical Studies on Lightning Surge Response of the Quadruple-Circuit Transmission Line. *IEEE Access*, 11(January), 6879–6886. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237780>