



Peninjauan Keandalan Sistem Pentanahan *Tower* SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan Terhadap Arus Gangguan

Junaedi Junaedi^{1,*}, Aris Triwiyatno^{1,2}, Sumardi Sumardi^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Departemen Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: junaedi.mas@gmail.com

(Received: November 13, 2024; Accepted: December 9, 2024)

Abstract

Reliability Review of the Grounding System of the 150 kV Jakabaring-Keramasan SUTT Tower Against Fault Currents. To maintain the reliability of the electrical energy distribution process from disturbance currents, the protection used includes a grounding system on the High Voltage Air Line (SUTT) towers. This study aims to review or evaluate the SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan Section because this SUTT passes through residential areas and agricultural land, of course with a grounding protection system that is very reliable in protecting the tower and living things from electrical voltage induction and the impact of lightning strikes. From the results of measuring the grounding resistance in the SUTT 150 kV tower, it is still relatively safe where the grounding resistance value is still below 5 Ω , including from the calculation results. From the analysis of grounding resistance with soil conditions having a two-layer structure through Cymgrd where the potential for step voltage is generated at 208.34 volts and the potential for touch voltage is 175.12 volts. Meanwhile, from the construction of the installed grounding system through Cymgrd simulation, the current grounding construction is reliable and is able to minimize the Ground Potential Rise (GPR) around the tower foot to 4.50477 volts from the magnitude of the disturbance current reaching 3760 amperes and is stated to be relatively safe for living things on the ground surface at the tower location.

Keywords: tower grounding system, 150 kV SUTT, fault current, reliability

Abstrak

Untuk menjaga keandalan proses penyaluran energi listrik dari arus gangguan, proteksi yang digunakan di antaranya adalah sistem pentanahan pada *tower-tower* Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Penelitian ini bertujuan untuk meninjau atau mengevaluasi SUTT 150 kV *Section* Jakabaring-Keramasan dikarenakan SUTT ini melewati permukiman dan lahan pertanian masyarakat, tentunya dengan sistem proteksi pentanahan sangat diandalkan melindungi *tower* dan makhluk hidup dari induksi tegangan listrik maupun dampak sambaran petir. Dari hasil pengukuran resistansi pentanahan di *tower* SUTT 150 kV masih relatif aman di mana nilai resistansi pentanahan masih dibawah 5 Ω , termasuk dari hasil perhitungan. Dari analisa resistansi pentanahan dengan kondisi tanah memiliki struktur dua lapis melalui Cymgrd dimana potesial terjadinya tegangan langkah ditimbulkan sebesar 208,34 volt dan potensial terjadinya tegangan sentuh 175,12 volt. Sedangkan dari konstruksi sistem pentanahan terpasang melalui simulasi Cymgrd bahwa konstruksi pentanahan sekarang termasuk andal dan mampu meminimalisir *Ground Potential Rise* (GPR) di sekitar kaki *tower* menjadi 4,50477 volt dari besarnya arus gangguan yang mencapai 3760 ampere dan dinyatakan masih relatif aman bagi makhluk hidup di permukaan tanah pada lokasi *tower*.

Kata kunci: sistem pentanahan tower, SUTT 150 kV, arus gangguan, keandalan

How to Cite This Article: Junaedi, J., Triwiyatno, A. & Sumardi, S. (2024). Peninjauan Keandalan Sistem Pentanahan Tower SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan Terhadap Arus Gangguan. *JPII*, 2(5), 327-333. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24592>

PENDAHULUAN

Sistem pembangkit-pembangkit tenaga listrik umumnya dioperasikan jauh dari pusat-pusat beban, untuk meyalurkan energi listrik ke pusat-pusat beban yang jauhnya mencapai puluhan bahkan ratusan dan ribuan kilo meter (Chen et al., 2024). Pada sistem pembangkitan energi listrik terutama di mulut tambang, tentunya diperlukan sarana yakni sistem penyaluran energi listrik yang dikenal dengan saluran transmisi melalui udara (Putra, et al., 2023), pada saluran transmisi yang bertegangan tinggi atau yang dikenal dengan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) mampu mengirimkan tegangan mulai dari 70 kV, 150 kV (Manalu et al., 2024), maupun sampai 275 kV.

Dalam melakukan tugasnya menyalurkan tegangan tinggi dari pusat pembangkit ke gardu induk, saluran transmisi ini yang dilengkapi *tower-tower* dengan kapasitas dan kemampuan tertentu sesuai dengan kebutuhan dan penampang kabel yang ditanggungnya tidak terlepas dari gangguan teknis maupun non teknis, di antaranya gangguan dari sambaran petir (Putra et al., 2023). Untuk menjaga keandalan proses penyaluran *tower-tower* transmisi ini dari gangguan petir, proteksi yang utama yaitu penggunaan sistem pentanahan atau sistem *grounding* pada *tower-tower* SUTT (Arfianto & Salam, 2019).

Sistem *grounding* berperan penting dalam menjaga keandalan dan keamanan menara transmisi 150 kV yakni sistem pentanahan *tower* transmisi yang memiliki nilai resistansi di bawah 10 ohm dan 5 ohm untuk *tower* yang berdekatan dengan gardu induk (SPLN T5.012, 2020). Akan tetapi, pentanahan yang baik memiliki nilai resistansi di bawah 1 ohm (Wen et al., 2020). Hal ini didasarkan pada prinsip dasar penanganan dan perlindungan arus listrik yang mengalir melalui jaringan transmisi (Harijanto et al., 2021).

Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan untuk menjaga keandalan sistem *grounding* menara transmisi 150 kV yakni di antaranya selalu dilakukan pemeriksaan dan pengukuran kembali pada lokasi *tower* transmisi, terutama *tower* yang berdampingkan dengan aktivitas makhluk hidup yaitu area pertanian. Seperti kenyataan di lapangan, *tower-tower* transmisi tentu melewati area tempat beraktivitas manusia dengan berbagai jenis tipe tanah, di antaranya yaitu tanah yang berkelembapan tinggi dengan jenis tanah liat yang sering dimanfaatkan untuk sistem pertanian. Dikarenakan tanah tersebut mengandung kelembapan tinggi maka diperlukan konstruksi yang andal agar tidak

membahayakan makhluk hidup di area yang berdekatan dengan *tower* transmisi SUTT 150 kV.

Maka dari itu ketertarikan melakukan penelitian berupa peninjauan kembali terhadap sistem pentanahan *tower* penghantar 150 kV Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Jakabaring-Keramasan untuk melindungi *tower* dari besarnya arus gangguan maupun melindungi makhluk hidup dari sentuhan langsung terhadap tegangan yang mengalir di permukaan kaki *tower* SUTT walaupun dalam hitungan detik. Selain itu, sistem pentanahan berfungsi untuk meminimalisir *tower* transmisi dari gangguan lonjakan tegangan sehingga merusak peralatan di *tower* transmisi (Datsios et al., 2023), di antaranya kabel *fiber optic* (FO) ADSS dan perangkat elektronik yang terhubung ke jaringan data. Dengan mengalirkan arus gangguan ke sistem pentanahan di resistansi pentanahan yang rendah dapat menghantarkan arus petir dengan aman ke tanah (Permal et al., 2021).

Pada sistem pentanahan *tower* yang andal dapat mengalihkan arus yang tidak diinginkan melalui batang material logam ke tanah, maka sistem pentanahan dapat melindungi makhluk hidup dan mencegah kerusakan material peralatan yang ada di *tower* yang dapat menyebabkan pemadaman listrik dan terputusnya komunikasi data sistem saluran transmisi SUTT 150 kV. Jadi dengan melakukan peninjauan kembali dan mensimulasikan menggunakan Cymgrd terhadap keandalan pada sistem pentanahan SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan terhadap besarnya arus gangguan untuk menjadi acuan bagi PT PLN (Pesero) sebagai operator penyalur tenaga listrik terhadap keberlangsungan suplai energi listrik ke konsumen.

METODE PENELITIAN

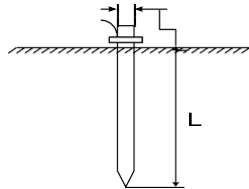
Adapun penelitian keandalan resistansi pentanahan pada sistem pentanahan *tower* transmisi SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan yang melewati sungai dan rawa tetapi melewati lahan pertanian yang rawan tersentuh dari efek mengalirnya tegangan di permukaan tanah pengukuran di lokasi penelitian. Setelah itu dilakukan pengukuran awal dengan menggunakan metode 3 titik melalui *Earth Tester Digital* 4015 A (Faudzi et al., 2020) pada *tower-tower* transmisi SUTT 150 kV. Data pengukuran kemudian dievaluasi dan dianalisis.

Kemudian dilanjutkan pengukuran resistansi pentanahan yang di lokasi berdampingan dengan *tower* transmisi 150 kV. Pada pengukuran ini, metode yang digunakan dengan pengukuran resistansi pentanahan pada kedalaman elektroda batang yang berbeda, dengan

hasil pengukuran resistansi pentanahan tersebut berfungsi sebagai *input* untuk mendapatkan potensial listrik yang terjadi dipermukaan tanah di sekitar *tower* (IEEE Std 81, 2012). Sedangkan untuk menganalisis *Ground Potential Rise* (GPR) menggunakan aplikasi Cymgrd (Salam et al., 2017).

Untuk satu batang elektroda ditanamkan tegak lurus.

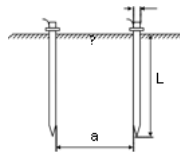
$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{r}\right) \quad (1)$$



Gambar 1. Elektroda batang ditanamkan tegak lurus

Untuk dua batang elektroda ditanamkan tegak lurus (diletakkan di mana saja).

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{\sqrt{ar}}\right) \quad (2)$$

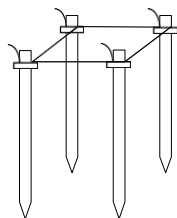


Gambar 2. Dua batang elektroda ditanamkan tegak lurus

Untuk empat batang elektroda ditanamkan tegak lurus (diletakkan di mana saja).

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{\sqrt{\frac{1}{4}a^3r}}\right) \quad (3)$$

di mana R adalah resistensi pentanahan (Ω), ρ adalah resistivitas jenis tanah (Ωm), L adalah panjang elektroda pentanahan (meter), r adalah jari-jari elektroda (meter) dan a adalah luas permukaan sistem pentanahan.



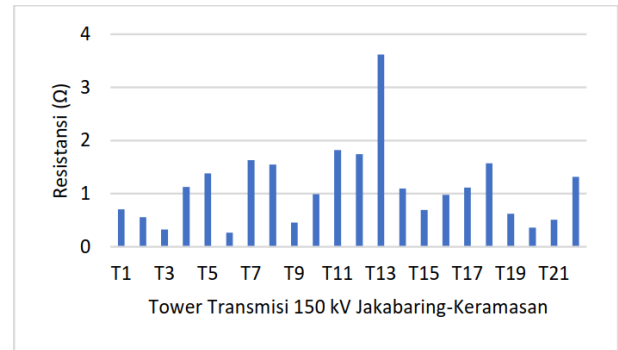
Gambar 3. Empat batang elektroda ditanamkan tegak lurus

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Resistansi Pentanahan Pada Tower 150 kV Jakabaring-Keramasan

Dari hasil pengukuran tahanan pentanahan pada sistem pentanahan pada keempat kaki *tower* transmisi

SUTT 150 kV Jakabaring-Keramasan didapat rata-rata hasil pengukuran resistansi pentanahan, di mana didapatkan hasil yang berbeda-beda akan tetapi masih termasuk dalam standar SPLN T5.012.2020 dan PUIL 2011 yakni dibawah 10 ohm. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4. Bila ditinjau dari lapangan, rata-rata *tower* melewati jalur rawa yang memiliki kandungan air yang tinggi. Jadi bisa dikatakan nilai resistivitas jenis tanah rawa rata-rata 10 ohm menurut PUIL 2000 dan PUIL 2011 (Putra et al., 2024).



Gambar 4. Hasil pengukuran resistansi pentanahan tower transmisi 150 kV

Perhitungan Resistansi Pentanahan Tower Transmisi 150 kV

Setelah dilakukan pengukuran lapangan dan menganalisa jenis tanah yang digunakan, maka secara teori tanah tempat berdirinya *tower* transmisi 150 kV seluruhnya berupa tanah rawa dengan jenis tanah liat. Dengan menggunakan persamaan 3 dan parameter-parameter yang ditampilkan pada Tabel 1, maka didapatkan nilai resistansi pentanahan pada *tower* 150 kV melalui perhitungan sebesar 0,98 Ω .

Tabel 1. Parameter-parameter lapangan dengan 4 batang elektroda pentanahan

Parameter		Nilai	
ρ	Tahanan jenis tanah liat	20 s.d. 100	Ωm
ρ	Tahanan jenis tanah liat lembab diasumsikan	20	Ωm
L	Panjang batang yang tertanam	3	m
d	Diameter batang elektroda	0,019	m
r	Radius batang elektroda	0,0095	m
a	Jarak antar batang	15	m
N	Jumlah elektroda batang	4	buah

Bila dianalisis kembali hasil pengukuran dari 22 *tower* transmisi 150 KV maka rata-rata didapat 1,11 Ω . Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan maka mendekati nilai resistansi pentanahan relatif sama antara hasil pengukuran dan perhitungan.

Tabel 2. Hasil perbandingan resistansi pentanahan tower SUTT 150 KV Jakabaring-Keramasan

Resistansi Pentanahan (Ω)		
SPLN.T5.012.2020	Rata-rata Pengukuran	Perhitungan
5	1,11	0,98

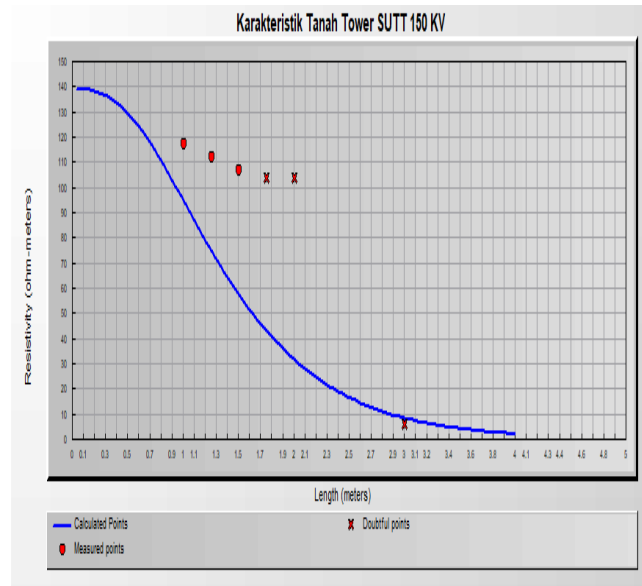
Simulasi Arus Gangguan Terhadap Tower Transmisi 150 kVA

Untuk mendapatkan hasil akan kemampuan sistem pentanahan untuk mengalirkan tegangan langkah di permukaan tanah yang dihasilkan dari arus gangguan, di antaranya yang disebabkan oleh petir, maka dalam penelitian ini diperlukan data-data di antaranya data resistansi pentanahan berdasarkan tingkat kedalaman yang mana diukur menggunakan 1 batang elektroda pentanahan. Hasil pengukuran resistansi pentanahan di lapangan di mana pengukuran dilakukan di area tempat lahan pertanian yang berdampingan dengan tower transmisi SUTT penghantar 150 kV tersaji pada Tabel 3. Selain data resistansi pentanahan, jenis atau karakteristik tanah di permukaan diperlukan yakni berjenis tanah organik lembut berair. Untuk melakukan simulasi diperlukan data terjadinya arus gangguan. Untuk penelitian ini data arus gangguan diambil dari gardu induk Keramasan, di mana data gangguan tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengukuran resistansi pentanahan di area pertanian

Kedalaman Elektroda (meter)	Resistansi Pentanahan (Ω)	Jenis tanah
1	18,56	Tanah liat berair
1,25	14,18	
1,5	11,29	
1,75	9,4	
2	8,2	

Dari Tabel 3 setelah dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode pengukuran resistansi pentanahan yaitu metode tiga titik dengan alat ukur resistansi pentanahan Earth Tester Kyoritsu R4105 A pada tingkat kedalaman yang berbeda menyatakan bahwa hasil pengukuran di daerah dengan kelembapan tinggi, di mana pada tingkat kedalaman elektroda batang menunjukkan nilai resistansi pentanahan yang berbeda. Dapat dikatakan bahwa semakin dalam elektroda batang pentanahan ditanam, maka nilai resistansi pentanahan akan semakin kecil. Pada Gambar 5, dari nilai resistansi pada model tanah yang memiliki dua lapis tanah di atas didapat karakteristik tanah berdasarkan resistivitas jenis tanah dengan sistem model keamanan standar IEEE 80-2000 didapat estimasi tegangan sentuh pada tanah tersebut yaitu 175,12 volt dan maksimum terjadinya tegangan langkah sebesar 208,34 volt jika terjadi gangguan tanpa menggunakan sistem pentanahan.



Gambar 5. Grafik analisis resistivitas jenis tanah



Gambar 6. Proses pengukuran resistansi pentanahan

Tabel 4. Arus gangguan terekam di GI Keramasan

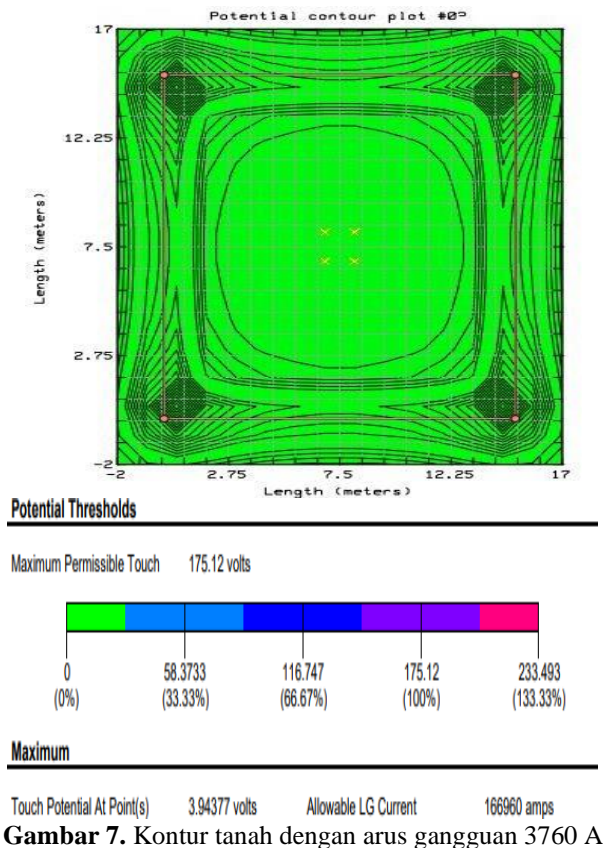
Arus Gangguan	Nominal	Satuan	Relay
Fasa R	3,76	KA	Distance Z1 Trip Phasa R 15.62 kM,
Fasa S	1,02	KA	
Fasa T	0,36	KA	
Netral	3,05	KA	

Dari data-data di atas dapat disimulasikan dengan empat jenis simulasi terjadinya arus gangguan yang mengalir ke tanah dengan 4 jenis simulasi berdasarkan nilai dari keempat jenis terjadinya arus gangguan. Arus gangguan terjadi di setiap fasa menunjukkan nilai kapasistas arus yang berbeda-beda. Pada Tabel 4 di atas, nilai terbesar terjadinya arus gangguan terjadi pada fasa R, terjadinya gangguan berada pada jarak 15,62 km dari Gardu Induk Keramasan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) penghantar 150 kV.

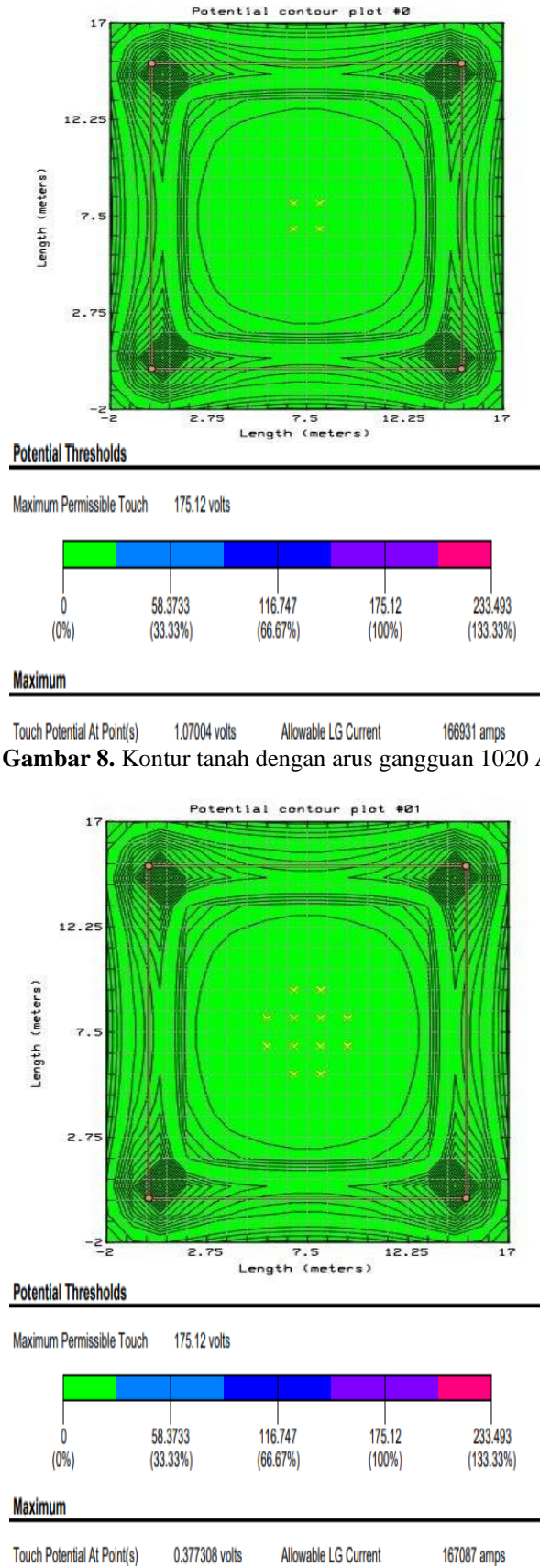
Proses untuk melakukan simulasi menggunakan Cymgrd, konstruksi sistem pentanahan tower yang

didesain menyerupai Gambar 3 dengan menggunakan empat elektroda batang pentanahan dengan jenis bahan pada elektroda berupa besi silinder berlapis tembaga dengan ukuran panjang elektroda 4 meter, berdiameter 0,019 meter. Pada simulasi terjadinya *Ground Potential Rise* (GPR) di mana terjadinya tegangan listrik pada permukaan tanah yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tiang *tower* atau sistem pentanahan bila terjadi arus gangguan yang diakibatkan oleh petir. Melalui simulasi ini akan terlihat kontur-kontur warna di mana warna yang ditampilkan berdasarkan tinggi rendahnya tegangan listrik di permukaan tanah di sekitar *tower* Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) penghantar 150 kV.

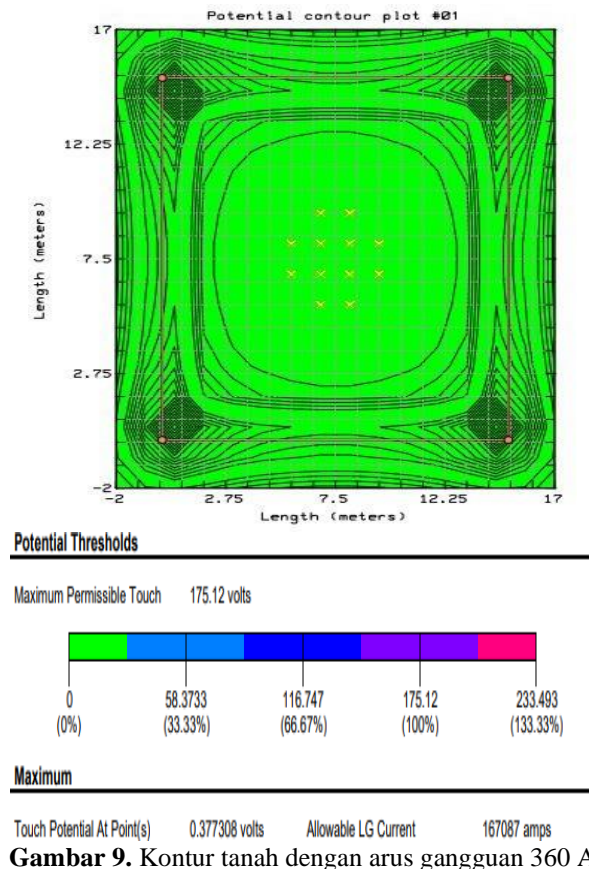
Adapun hasil dari simulasi menggunakan Cymgrd dengan arus gangguan yang mana arus gangguan tersebut terekam disaat kinerja relay jarak (*distance relay*) bekerja untuk memutuskan aliran distribusi pada sistem transmisi 150 kV pada Gardu Induk Keramasan. Arus gangguan yang digunakan pada simulasi memiliki nilai yang berbeda-beda pada setiap fasanya dan dapat dijadikan pembandingan dan tersaji atau terlihat pada gambar kontur tanah yang telah dipasang sistem proteksi pentanahan sebagai berikut berikut.



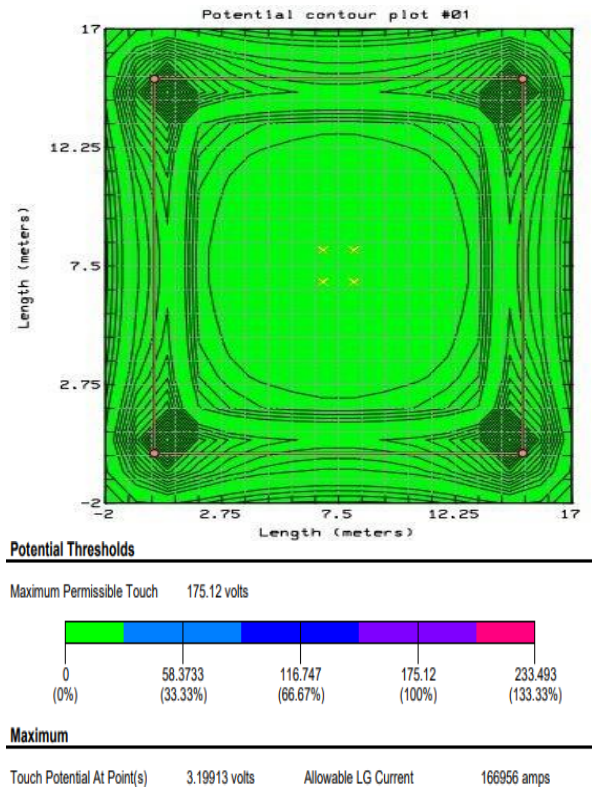
Gambar 7. Kontur tanah dengan arus gangguan 3760 A



Gambar 8. Kontur tanah dengan arus gangguan 1020 A



Gambar 9. Kontur tanah dengan arus gangguan 360 A



Gambar 10. Kontur tanah dengan arus gangguan 3050 A

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pentanahan pada jenis tanah yang berkelembapan tinggi di tower saluran transmisi 150 kV Jakabaring-Keramasan dapat dikatakan andal karena mampu mereduksi terjadinya tegangan sentuh di bawah nilai kemungkinan terjadi tanpa menggunakan sistem pentanahan yang andal yaitu sebesar 175,12 volt. Peristiwa ini dapat dilihat pada kontur-kontur tanah di bawah kaki tower yang berwarna hijau. Nilai tegangan sentuh yang diturunkan bergantung pada setiap besaran nominal arus gangguan yang terjadi. Semakin kecil arus gangguan, maka nilai tegangan sentuh yang terjadi pada setiap fasa maka akan semakin kecil nilai potensi tegangan sentuh ataupun tegangan langkah pada peralatan transmisi listrik dan tegangan di permukaan tanah.

Arus gangguan 3.760 ampere pada fasa R di saluran transmisi SUTT 150 KV dapat direduksi menjadi 3,94377 volt yang ditampilkan pada Gambar 7. Tentunya nilai tegangan tersebut masih termasuk batas aman terhadap sentuhan langsung dari makhluk hidup. Begitupun pada arus gangguan 1020 ampere pada fasa S mampu direduksi oleh sistem pentanahan menjadi 1,07004 volt. Sedangkan pada fasa T di mana arus gangguan paling kecil dari arus gangguan yang terjadi yakni 360 ampere mampu menurunkan tegangan yang mengalir di permukaan tanah menjadi 0,377308 volt. Sedangkan untuk arus netral yang diakibatkan oleh arus gangguan terekam sebesar 3050 ampere, di mana dari

besaran arus gangguan tersebut tegangan yang mengalir dari permukaan ke dalam tanah dapat diturunkan menjadi 3,19913 volt.

KESIMPULAN

Sistem pentanahan yang baik terbukti dapat menurunkan nilai potensial listrik yang mengalir pada permukaan tanah, terutama di area di bawah kaki tower. Nilai resistansi pentanahan sangat berpengaruh dalam menyalurkan tegangan listrik ke dalam tanah. Resistansi yang rendah dapat mengurangi potensial tegangan yang terjadi pada permukaan tanah. Simulasi menggunakan Cymgrd menunjukkan bahwa semakin besar nilai arus gangguan yang terjadi, semakin besar pula potensial tegangan yang mengalir di permukaan tanah. Pada fasa R, nilai tegangan sentuh sebesar 3,94377 volt lebih besar dibandingkan dengan fasa T yang memiliki nilai tegangan sentuh sebesar 0,377308 volt. Besarnya potensi *Ground Potential Rise* (GPR) yang ditimbulkan saat terjadi gangguan pada transmisi masih dalam batas aman sesuai dengan hasil simulasi. Berdasarkan standar SPLN T5.012:2020 Lampiran A, batas maksimum untuk tegangan langkah (*Es*) adalah 2800 V dan tegangan sentuh (*E touch*) adalah 787.

DAFTAR PUSTAKA

Arfianto, T., & Salam, A. I. (2019). Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Tower SUTT 70 kV Rute Cigereleng-Majalaya. *Jurnal PROtek Vol, 6*(1).

Chen, Y., Wei, Y., Cao, J., Wang, X., Wang, J., Zhang, J., ... & Liu, W. (2024). Characteristic of power-transmission-induced current and power loss on the OPGW of 750 kV transmission line system. *Electric Power Systems Research, 229*, 110130.

Datsios, Z. G., Stracqualursi, E., Patsalis, D. G., Araneo, R., Mikropoulos, P. N., & Tsovilis, T. E. (2023). Evaluation of the Backflashover Performance of a 150 kV Overhead Transmission Line Considering Frequency-and Current-Dependent Effects of Tower Grounding Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*.

Faudzi, A. H. M., Wooi, C. L., Ahmad, N. A., Arshad, S. N. M., Afrouzi, H. N., & Rohani, M. N. K. (2020). A study on copper and galvanized grounding performance using palm oil fuel ash as new additive material. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1432, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.

Harijanto, P. S., Raganingrum, E., & Prasetyo, B. E. (2021). Uji Performa Pengaman Gangguan Petir Pada Saluran Transmisi 70 kV GI Kebonagung–GI Polehan Menggunakan ATP DRAW. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan, 8*(2), 66-71.

IEEE Std 81. (2012). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface*

Potentials of a Grounding System Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society (Vol. 2012, Issue December).

- Manalu, A. R., Danial, D., & Rajagukguk, M. Evaluation of Cloud to Ground Flash Density of 150 kV Transmission Line Between Parit Baru Substation and Senggiring Substatio. *Telecommunications, Computers, and Electricals Engineering Journal (TELECTRICAL)*, 1(3), 261-270.
- Permal, N., Osman, M., Ariffin, A. M., & Ab Kadir, M. Z. A. (2021). The impact of substation grounding grid design parameters in non-homogenous soil to the grid safety threshold parameters. *IEEE Access*, 9, 37497-37509.
- Putra, D. E., Pardede, G. P., Kurniawan, F., Saputra, M. W., Sinaga, R., Rahmanda, A., ... & 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), 19-25.
- Putra, D. E., Randika, Y., Randika, I., Inamullah, H., Rusdiansyah, A., & Raharjo, W. (2024). Enhancing grounding system efficiency through biopore technique in seasonal soil conditions. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 11(113), 516.
- Putra, D. E., Yani, R. A., Siahian, M. S., Rizal, C., & Nofiansah, N. (2023). The Decreasing Ground Potential Rise By Lessening Soil Resistance In Arrester Grounding System. *IJEET: International Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 6(2), 44-50.
- Salam, M. A., Rahman, Q. M., Ang, S. P., & Wen, F. (2017). Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 5(2), 290-297.
- SPLN T5.012. (2020). *Earthing at Substations and Transmission Networks* (Issue 0053).
- Wen, X., Jing, M., Cai, H., Zhang, Y., Hu, S., Teng, Y., ... & Lu, H. (2020). Temperature characteristics and influence of water-saturated soil resistivity on the HVDC grounding electrode temperature rise. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 118, 105720.