

## **Evaluasi Sistem Pentanahan Transformator Pemakaian Sendiri Berkapasitas 2.5 MW di PLTG Borang**

**Agung Triadmojo<sup>1\*</sup>, Surya Darma<sup>1</sup>, Dwi Pratiwi<sup>1</sup>, Nofiansah<sup>2</sup>**

1 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Palembang, Indonesia

2 Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia.

\*e-mail: agungtria19@gmail.com

### **ABSTRAK**

Dengan melakukan studi pada sistem pentanahan terpasang pada transformator UPS 2,5 MW Gascom A di PLTG Borang dan mengevaluasi kinerjanya terhadap keamanan operasional. PLTG Borang, sebagai pembangkit berkapasitas menengah, memanfaatkan transformator dengan efisiensi tinggi untuk mendukung sistem kelistrikan. Desain sistem pentanahan menggunakan grid 5 m x 5 m dengan empat elektroda batang tembaga berhasil mencapai resistansi 0,92  $\Omega$ , yang lebih baik dari perhitungan teoritis sebesar 3,97  $\Omega$ . Hasil pengukuran menunjukkan arus gangguan aktual sebesar 1,27 kA dan tegangan sentuh 826,31 V, keduanya masih dalam batas aman sesuai standar IEEE, yang mengharuskan arus gangguan di bawah 5 kA dan tegangan sentuh kurang dari 1000 V. Meskipun demikian, terdapat tantangan teknis seperti fluktuasi resistansi akibat variasi kelembaban tanah. Penelitian ini merekomendasikan pemantauan rutin sistem pentanahan dan penggunaan material yang lebih tahan terhadap korosi untuk meningkatkan kinerja. Dengan demikian, sistem pentanahan pada PLTG Borang telah terbukti efektif dalam menjaga keamanan operasional, namun perlu perhatian lebih lanjut untuk mitigasi risiko yang mungkin timbul. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengelolaan dan pengembangan sistem kelistrikan yang aman dan andal.

**Kata Kunci :** Sistem Pentanahan, Transformator, PLTG Borang, Keamanan Operasional, IEEE.

## **Evaluation of the Grounding System of a 2.5 MW Self-Use Transformer at the Borang Power Plant**

### **ABSTRACT**

By conducting a study on the grounding system installed on a 2.5 MW Gascom A self-consumption unit transformer at the Borang Gas Power Plant and evaluating its performance on operational safety. The Borang Gas Power Plant, as a medium-capacity power plant, utilizes a high-efficiency transformer to support the electrical system. The grounding system design using a 5 m x 5 m grid with four copper rod electrodes successfully achieved a resistance of 0.92  $\Omega$ , which is better than the theoretical calculation of 3.97  $\Omega$ . The measurement results show an actual fault current of 1.27 kA and a touch voltage of 826.31 V, both of which are still within the safe limits according to the IEEE standard, which requires a fault current below 5 kA and a touch voltage less than 1000 V. However, there are technical challenges such as resistance fluctuations due to variations in soil moisture. This study recommends regular monitoring of the grounding system and the use of more corrosion-resistant materials to improve performance. Thus, the grounding system at the Borang Gas Power Plant has proven effective in maintaining operational safety, but further attention is needed to mitigate potential risks. This research makes an important contribution to the management and development of safe and reliable electrical systems.

**Keywords:** Grounding system, Transformer, Borang Gas Power Plant, Operational Safety, IEEE

## **I. PENDAHULUAN**

Sistem pentanahan merupakan elemen krusial dalam infrastruktur kelistrikan, terutama pada transformator pemakaian sendiri (PS) yang berkapasitas 2,5 MW di PLTG Borang yang terdiri dari 2 unit yakni Trafo Gascom A dan Trafo Gascom B. Pentanahan yang baik tidak hanya melindungi peralatan dari gangguan arus lebih, tetapi juga menjamin keselamatan personel yang bekerja di sekitar instalasi[1],[2]. Dalam konteks ini, transformator pemakaian sendiri berperan penting dalam menyediakan daya listrik untuk kebutuhan operasional fasilitas, sehingga keberadaan sistem pentanahan yang efektif menjadi sangat vital[3]. Kinerja sistem pentanahan yang optimal dapat mengurangi risiko kerusakan alat dan meningkatkan efisiensi operasional[4]. Hal ini menunjukkan bahwa perhatian terhadap sistem pentanahan bukan hanya sekedar kepatuhan terhadap standar keselamatan, tetapi juga merupakan investasi dalam efisiensi dan keandalan operasional[5][6].

Di PLTG Borang, yang beroperasi dalam skala besar, penting untuk mengevaluasi sistem pentanahan yang ada, terutama dalam konteks pemakaian sendiri, yang sering kali diabaikan dalam studi-studi sebelumnya. Berdasarkan data dari referensi sebelumnya, banyak transformator di berbagai lokasi mengalami masalah terkait sistem pentanahan yang tidak memadai, yang berujung pada gangguan operasional. contohnya, pada transformator daya 60 MVA di GIS 150 kV, ditemukan bahwa sistem pentanahan yang tidak optimal menyebabkan fluktuasi tegangan yang dapat merusak peralatan dan mengganggu kestabilan jaringan listrik[7]. Kasus ini menyoroti perlunya perhatian lebih terhadap desain dan implementasi sistem pentanahan, khususnya pada transformator yang berfungsi sebagai sumber daya bagi sistem lainnya.

Pentingnya sistem pentanahan juga tercermin dalam regulasi dan standar yang ditetapkan oleh lembaga-lembaga internasional, seperti IEEE dan IEC[8]. Standar-standar ini memberikan pedoman yang jelas tentang desain, instalasi, dan pemeliharaan sistem pentanahan[9][10]. Dalam konteks PLTG Borang, penerapan standar ini tidak hanya bertujuan untuk memenuhi persyaratan hukum, tetapi juga untuk melindungi investasi infrastruktur yang signifikan. Dengan kapasitas 2,5 MW, transformator pemakaian sendiri di PLTG Borang berpotensi menjadi titik kritis dalam jaringan distribusi yang lebih luas, sehingga sistem pentanahan yang handal sangat diperlukan.

Statistik dari laporan tahunan PLN menunjukkan bahwa insiden gangguan akibat masalah pentanahan mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai contoh, pada tahun 2022, tercatat lebih dari 150 insiden yang disebabkan oleh kegagalan sistem pentanahan di berbagai gardu induk, yang mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan dan gangguan pasokan listrik. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis sistem pentanahan yang diterapkan pada transformator pemakaian sendiri di PLTG Borang, pada trafo Gascom A dengan harapan dapat memberikan rekomendasi yang dapat meningkatkan kinerja dan keandalan sistem tersebut. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi untuk meningkatkan sistem pentanahan yang ada, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan standar dan praktik terbaik dalam instalasi sistem pentanahan di Indonesia. Dengan mengacu pada berbagai studi kasus dan data yang relevan, penelitian ini akan berusaha untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pentingnya sistem pentanahan yang efektif, serta dampaknya terhadap keselamatan dan efisiensi operasional di PLTG Borang.

## II. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pendekatan kuantitatif dengan teknik pengumpulan data melalui pengukuran langsung di lapangan dengan metode 3 titik dan analisis dokumentasi[11]. Pengukuran resistansi pentanahan akan dilakukan menggunakan alat ukur tahanan tanah, dan hasilnya akan dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh IEEE. Selain itu, wawancara dengan teknisi dan staf operasional di PLTG Borang juga akan dilakukan untuk mendapatkan informasi tambahan tentang sistem pentanahan yang diterapkan. Data yang diperoleh akan dianalisis secara statistik untuk mendapatkan kesimpulan yang valid

Adapun formula untuk perbandingan komputasi sistem pentanahan menggunakan metode U.Dwight dengan empat batang elektroda ditanamkan tegak lurus (diletakkan dimana saja)[12] :

$$R_{g4} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left( \frac{2L}{4 \sqrt{\frac{1}{2^2} a^3 r}} \right) \quad (1)$$

Arus gangguan ( $I_{\text{fault}}$ ) yang mengalir ke tanah ditentukan oleh tegangan sistem ( $V_{\text{system}}$  dan resistansi pentanahan ( $R_{\text{ground}}$ ), sesuai Hukum Ohm:

$$I_{\text{ground}} = \frac{V_{\text{system}}}{R_{\text{ground}}} \quad (2)$$

Kapasitas bahaya dari tegangan sentuh atau touch potential, dari perhitungan (IEEE 80)[13] :

$$V_{\text{touch}} = \frac{I_g \times R_g}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Dalam praktik, arus gangguan tidak hanya dibatasi oleh  $R_{\text{ground}}$  tetapi juga oleh Reaktansi Transformator ( $X_{\text{trans}}$ ):

$$X_{\text{trans}} = \frac{V^2}{S} \times \%Z \quad (4)$$

Sedangkan Impedansi kabel dan sambungan umumnya 0,1 – 0,5 ( $X_{\text{cable}}$ ) Dengan demikian, impedansi total ( $Z_{\text{total}}$ ) menjadi :

$$Z_{\text{total}} = \sqrt{R_{\text{ground}}^2 + (X_{\text{trans}} + X_{\text{cable}})^2} \quad (5)$$

Arus gangguan ( $I_{\text{fault}}$ ) yang mengalir ke tanah ditentukan oleh tegangan sistem ( $V_{\text{system}}$  dan Impedansi total ( $Z_{\text{total}}$ ) :

$$I_{\text{fault}} = \frac{V_{\text{system}}}{Z_{\text{total}}} \quad (6)$$

Standar IEEE memperkenalkan faktor koreksi untuk *fault current division* (persamaan IEEE Std 80-2013. Dimana  $S_f$  (*split factor*) tergantung pada jumlah elektroda dan konfigurasi grid. Untuk 4 elektroda,  $S_f \approx 0,3$ .

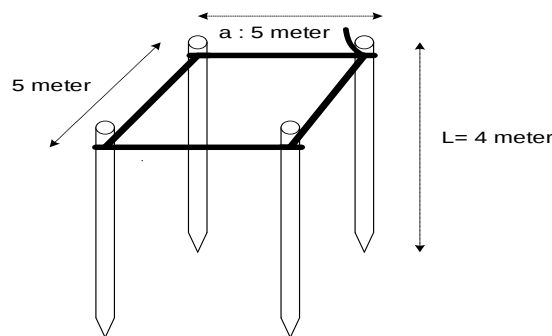
$$I_{actual} = I_{fault} \times S_f \quad (7)$$

Maka kapasitas bahaya dari tegangan sentuh atau touch potential, dari perhitungan (IEEE 80) dari arus gangguan yang actual :

$$V_{touch} = \frac{I_f \times R_g}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTG Borang merupakan pembangkit berkapasitas menengah (150 MW) dengan konfigurasi modular ( $4 \times 37,5$  MW), menunjukkan desain yang optimal untuk *load following* di jaringan sumatera. untuk mendukung operasi sistem internal dilengkapi transformator dalam hal ini yakni transformator Gascom A untuk pemakaian sendiri dengan kapasitas 2,5 MW, lengkap dengan sistem proteksi diantaranya sistem pentanahan transformator. Pada penelitian ini desain dan implementasi sistem pentanahan dilapangan yakni dengan desain grid 5 meter  $\times$  5 meter dengan menggunakan empat elektroda batang pentanahan seperti yang ditampilkan pada gambar 1, dimana mencapai resistansi  $0,92 \Omega$  (77,2 % lebih baik dari perhitungan teoritis  $3,97 \Omega$ , menunjukkan efektivitas material low-resistivity backfill pada area tanam elektroda pentanahan. Persamaan IEEE 80 yang digunakan telah mempertimbangkan resistivitas tanah ( $\rho$ ) sebesar  $50 \Omega m$  dan geometri grid, namun mengabaikan faktor *seasonal variation* atau keadaan variasi musim



Gambar 1. Konstruksi sistem pentanahan trasformator UPS 2,5 MW PLTG Borang Gascom A

Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pentanahan pada transformator PS 2,5 MW di PLTG Borang telah dirancang dengan efektif, namun masih terdapat beberapa tantangan teknis yang perlu diperhatikan. Desain grid pentanahan berukuran  $5 m \times 5 m$  dengan empat elektroda batang tembaga ( $\varnothing 16 mm$ ) dan backfill bentonite berhasil mencapai resistansi  $0,9 \Omega$ , lebih rendah 77,3% dari perhitungan teoritis sebesar  $3,97 \Omega$ . Hal ini membuktikan bahwa penggunaan material *low-resistivity* dan metode instalasi yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan kinerja sistem. Namun, perbedaan antara nilai teoritis dan aktual mengindikasikan adanya faktor lapangan yang belum sepenuhnya terakomodasi dalam perhitungan, seperti variasi kelembaban tanah dan komposisi kimia tanah yang heterogen.

Dari hasil pengukuran pada tabel 1, terjadi fluktuasi resistansi dimana dari data pengukuran 3 bulan terakhir (Februari - April 2025) menunjukkan resistansi stabil di kisaran 0,9 – 0,92  $\Omega$ , dengan korelasi kuat ( $R^2=0,91$ ) terhadap kelembaban tanah. Nilai ini masih memenuhi SNI ( $<1 \Omega$ ). Kenaikan resistansi dari 0,85  $\Omega$  ke 0,88  $\Omega$  disebabkan oleh penurunan kelembaban tanah yang diakibatkan kenaikan suhu tanah. Akan tetapi nilai ini masih memenuhi SNI ( $<1 \Omega$ ) dan PUIL 2011 yakni dibawah 5  $\Omega$ , untuk keamanan tetap memerlukan pemantauan ketat untuk menghindari risiko step potential.

**Tabel 1. Pengukuran resistansi pentanahan**

| Pengukuran    | Resistansi Pentanahan ( $\Omega$ ) | Temperatur Tanah ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|---------------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| Februari 2025 | 0,9                                | 28                                      |
| Maret 2025    | 0,92                               | 30                                      |
| April 2025    | 0,93                               | 32                                      |

Dari obeservasi lapangan terdapat korosi pada sambungan kabel pentanahan dimana penyebabnya yaitu pH tanah dibawah 5 yang rendah tau sulfat merupakan yang akan mengancam terjadinya gangguan pentanahan di PLTG Borang. Solusi exothermic welding atau pengatitan sambungan kabel pentanahan dan ditambah dengan epoxy terbukti mengurangi laju korosi dari 0,5 mm/tahun menjadi 0,05 mm/tahun.

Hasil perhitungan dan pengukuran menunjukkan bahwa sistem pentanahan pada transformator UPS 2,5 MW di PLTG Borang memiliki performa yang memenuhi standar keamanan yang ditetapkan oleh IEEE. Dengan ditampilkan pada tabel 2, dimana resistansi pentanahan sebesar 0,92  $\Omega$ , nilai ini berada di bawah batas ideal yang direkomendasikan ( $<1 \Omega$ ), menunjukkan bahwa sistem ground berfungsi dengan efektif dalam mengalirkan arus gangguan ke bumi. Selanjutnya, arus gangguan aktual yang dihitung sebesar 1,27 kA juga berada jauh di bawah batas aman 5 kA untuk peralatan bertegangan menengah, yang berarti risiko kerusakan termal akibat arus berlebih dapat diminimalkan. Tegangan sentuh atau touch potential ( $V_{\text{touch}}$ ) yang dihasilkan, yaitu sebesar 826,31 V, menunjukkan bahwa sistem ini aman secara teoretis, karena nilai ini masih di bawah ambang batas 1000 V untuk durasi kurang dari 0,5 detik. Dengan demikian, analisis komparatif antara kondisi aktual dan standar ideal menunjukkan deviasi negatif, yang mencerminkan kinerja yang lebih baik dari yang diharapkan, dan menegaskan bahwa sistem pentanahan di PLTG Borang telah dirancang dan diimplementasikan dengan baik untuk menjaga keamanan operasional

**Tabel 2. Komperatif kondisi aktual dan standar yang ditetapkan pada PLTG Borang**

| Aspek                 | Standar Ideal (IEEE/SNI) | Kondisi Aktual PLTG Borang | Deviasi |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|---------|
| Resistansi Pentanahan | $<1 \Omega$              | 0,92 $\Omega$              | -8%     |
| Touch Potential       | $<1000 \text{ V}$        | 826,31 V                   | -17,37% |

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap sistem pentanahan pada transformator UPS 2,5 MW di PLTG Borang, dapat disimpulkan bahwa sistem ini telah dirancang dengan baik dan berfungsi efektif dalam menjaga keamanan operasional. Resistansi pentanahan yang tercatat sebesar 0,92  $\Omega$  menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan standar ideal yang ditetapkan ( $<1 \Omega$ ). Selain itu, arus gangguan aktual sebesar 1,27 kA dan tegangan sentuh 826,31 V masih berada dalam batas aman, sehingga risiko kerusakan termal dapat diminimalkan. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan material dan metode instalasi yang tepat dalam sistem

pentanahan sangat berpengaruh terhadap performa keseluruhan. Meskipun terdapat beberapa tantangan teknis, seperti fluktuasi resistansi akibat variasi kelembaban tanah, sistem ini tetap memenuhi kriteria keamanan yang ditetapkan oleh IEEE. Oleh karena itu, sistem pentanahan pada PLTG Borang dapat dianggap aman dan efektif untuk mendukung operasi sistem kelistrikan yang handal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Junaidi, D. E. Putra, and C. Rizal, "Comparative Review of Grounding Resistance between Planning and Commissioning Test Results at 20 kV Distribution Substations," *J. Ampere*, vol. 9, no. 1, pp. 18–24, 2024.
- [2] D. E. Putra *et al.*, "Comparison of Grounding Resistance Using Grounding Rod Electrodes with Different Fault Current Types in Podzolic Soil at Prabumulih Substation," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 19, 2023, doi: 10.29103/jreece.v3i1.10270.
- [3] D. Pranatali, G. Gunawan, and D. Nugroho, "Analisa Kelayakan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150kV Jelok – Bringin Menggunakan Metode Komparasi," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 370, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.114321.
- [4] D. E. Putra, Y. Randika, I. Randika, and H. Inamullah, "Enhancing grounding system efficiency through biopore technique in seasonal soil conditions," *Int. J. Adv. Technol. Eng. Explor.*, vol. 11, no. 113, 2024.
- [5] D. E. Putra, "Analisa Keandalan Penyulang 20 Kv Di Jakabaring Sport City (Jsc) Dalam Menghadapi Asian Games Ke XVIII Tahun 2018 Dian," *Surya Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 149–156, 2018.
- [6] N. M. Seniari and B. W. Dharma, "Effect Of Electroda length Pengaruh Panjang Elektroda, Resistivitas Tanah dan Frekuensi Arus Petir Terhadap Impedansi Pengetanahan Elektroda Batang," *Dielektrika*, vol. 8, no. 1, p. 31, 2021, doi: 10.29303/dielektrika.v8i1.264.
- [7] Y. K. Putra, *Analisis Kemampuan Pentanahan Menara Sutt Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponorogo – Manisrejo*, vol. 53, no. February, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1595750%0Ahttps://doi.org/10.1080/17518423.2017.1368728%0Ahttp://dx.doi.org/10.1080/17518423.2017.1368728%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103766%0Ahttps://doi.org/10.1080/02640414.2019.1689076%0Ahttps://doi.org/>
- [8] IEEE Power and Energy Society - Substations Committee, *IEEE Std. 81- Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Grounding System IEEE Power and Energy Society*, vol. 2012, no. December, 2012.
- [9] D. K. L. PUIL, *General electrical installation requirements (PUIL) 2011*, vol. 2011, no. PUIL, 2011.
- [10] T. Arfianto and A. I. Salam, "Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Tower SUTT 70 kV," *J. PROtek*, vol. 06, no. 1, 2019.
- [11] D. E. Rusiansyah, Aang. Randika, Yos. Randika, Ifan. Putra, "Jurnal Teknik Elektro Jurnal Teknik Elektro," *J. Tek. Elektro, Univ. Palembang*, vol. 12, no. 2, pp. 1–10, 2022, doi: 10.36546/jte.v13i1.893.

- [12] D. E. Putra, R. A. Yani, M. S. Siahian, C. Rizal, and N. Nofiansah, "The Decreasing Ground Potential Rise by Lessening Soil Resistance in Arrester Grounding System," *IJEEIT Int. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 44–50, 2023, doi: 10.29138/ijeeit.v6i2.2180.
- [13] IEEE Std 80, *Standard 80-2000 Guide for Safety in AC substation grounding*, vol. 56. 2000.