

Rancang Bangun Grounding Box Soil Treatment Sebagai Media Pengukuran Resistansi Pentanahan untuk Proteksi Pembangkit Hybrid PV – Angin Politeknik Negeri Malang

Priya Surya Harijanto^{*a)}, Binar Surya Gumilang^{a)}, Tresna Umar Syams^{a)}, Budi Eko P^{a)}

(Received 21 Agustus 2024 || Revised 22 Oktober 2023 || Accepted 28 Oktober 2024)

Abstract: This study addresses the issue of high resistance in the grounding system of the Savonius-Solar Hybrid Power Plant at Politeknik Negeri Malang, caused by rocky and sandy soil conditions, with an initial resistance value of 35 Ω . The purpose of this research was to test the effectiveness of soil treatment using bentonite, charcoal, and salt in reducing resistance to meet the PUIL 2011 standard (<5 Ω). This study employed an experimental method with a quantitative approach, measuring resistance values before and after soil treatment application using a three-point earth tester. The results showed that soil treatment successfully reduced the soil resistance from 35 Ω to 2.85 Ω , meeting the maximum standard. This finding indicates that soil treatment is effective in improving the safety and reliability of grounding systems, making it beneficial for application in similar electrical systems located in areas with challenging soil characteristics.

Keywords: Grounding, Resistance, Soil Treatment, Bentonite, Charcoal, Electrical Safety, Hybrid

1. Pendahuluan

Sistem pentanahan atau grounding memiliki peran krusial dalam melindungi komponen kelistrikan dan pengguna dari bahaya yang diakibatkan arus bocor atau sambaran petir[1]. Pentanahan yang efektif dapat mengurangi risiko cedera atau kerusakan, terutama dalam lingkungan industri dan pembangkit listrik. Hal ini menjadikan optimalisasi resistansi tanah sebagai kebutuhan vital, sehingga penelitian mengenai cara menurunkan resistansi pada sistem grounding diharapkan dapat meningkatkan keamanan dan keandalan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Namun, beberapa lokasi memiliki kondisi tanah yang tidak ideal bagi sistem pentanahan, terutama daerah dengan struktur tanah berbatu atau berpasir yang tinggi resistansinya, seperti yang ditemukan di lokasi penelitian ini. Resistansi tinggi di tanah semacam itu menyulitkan distribusi arus gangguan ke tanah, sehingga meningkatkan risiko pada instalasi listrik. Di area Pembangkit Listrik Hybrid Politeknik Negeri Malang, nilai resistansi awal mencapai 35 Ω , jauh di atas standar PUIL 2011 yang menetapkan batas maksimal 5 Ω [2] [3].

Penelitian terdahulu[4] telah mengkaji efektivitas penambahan zat aditif seperti bentonit, arang, dan garam pada tanah untuk mengurangi resistansi. Penambahan zat-zat ini telah terbukti meningkatkan konduktivitas tanah[5], khususnya di lokasi dengan kondisi tanah yang tidak ideal. Metode ini telah diaplikasikan pada beberapa studi sistem grounding di berbagai area dan menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, meski optimalisasinya sangat bergantung pada jenis tanah dan komposisi zat aditif[6]

Namun, masih terdapat kesenjangan pengetahuan terkait pengaplikasian kombinasi zat aditif untuk mencapai hasil optimal pada lokasi dengan resistansi yang sangat tinggi. Studi ini hadir untuk menjawab kebutuhan akan solusi yang lebih baik, khususnya melalui kombinasi zat aditif yang efektif pada lokasi berbatu. Dalam penelitian ini, formulasi optimal dan pengaruh penambahan zat aditif pada tanah berbatu dan berpasir akan diuji untuk mencapai resistansi di bawah standar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi perbaikan resistansi pentanahan melalui aplikasi *soil treatment* dengan komposisi yang sudah disesuaikan, menggunakan alat ukur *earth tester* pada tiga titik. Melalui eksperimen ini, diharapkan penurunan resistansi mencapai standar keamanan, memberikan kontribusi signifikan bagi teknologi proteksi kelistrikan di Indonesia

2. Metode

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah suatu hantaran yang berfungsi menyalurkan arus lebih ke bumi dan memberikan perlindungan terhadap manusia dari sengatan listrik, pada sistem pentanahan nilai resistansi harus mendekati nol atau dibawah 5 ohm.[7]

Tujuan dari sistem pentanahan untuk menciptakan jalur yang tahanan rendah low impedance terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transien voltage. Adapun tujuan lainnya[8]

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperoleh
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya buhungan tidak dikehendaki peralatan otomatis yang memutus suplai tegangan dari konduktor
3. Mengamankan manusia terhadap arus bocor dan peralatan.

2.2 Faktor Mempengaruhi Sistem Pentanahan

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan antara lain:

1. Faktor eksternal antara lain :

- Sifat geologis tanah merupakan salah satu faktor yang harus di ketahui karena berkaitan dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan karena Tujuan dari pentanahan adalah mendistribusikan arus gangguan ke dalam tanah, karena banyak ditemukan di lapangan jenis tanah sangat beragam harganya tergantung pada komposisi tanahnya.

• Tahanan jenis tanah

jenis tanah merupakan nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan dalam ohm, antara yang berlawanan dari suatu kubus satu meter kubik. Nilai tahanan selain tergantung pada kedalaman dan tergantung pada cuaca, untuk mendapatkan nilai tahanan jenis rata-rata maka perlu suatu perencanaan pengukuran dalam jangka waktu tertentu misalnya 6 (enam) bulan.

• Jenis tanah

Jenis tanah tanah berapam seperti tabel berikut :

• Kandungan zat kimia tanah

untuk mendapatkan pembumian yang efektif maka penanaman elektroda harus lebih dalam, karena semakin

* Korespondensi: priya.surya@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro , Politeknik Negeri Malang, Jl. Sukarno Hatta no.9 Kota Malang, Jawa Timur Indonesia

asam tanah maka semakin mudah dalam menghantarkan arus petir kedalam tanah.

- **Kandungan air tanah**
Kandungan jenis tanah di pengaruhi oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah apabila konduktivitas tanah semakin besar maka tahanan jenis tanah semakin kecil Dan sebaliknya jika tanah yang kering maka konsentrasi air di bawah 10% memiliki tahanan jenis tanah yang lebih besar.
 - **Temperatur tanah**
Temperatur dan iklim kedua factor ini berpengaruh terhadap reaksi tanah
Curah hujan yang tinggi akan membuat kation-kation basa dari lapisan permukaan tanah akan masuk ke dalam lapisantanahtyang lebih dalam akibatnya permukaan tanah di dominasi oleh ion-ion Al dan H, yang berakibat pH tanah akan turun pada permukaan sampai mencapai nilai 4,5 hingga lebih rendah
2. Faktor internal antara lain :
- **Jenis bentuk elektroda**[9]
Elektroda rod, elektroda berbentuk pita, elektroda berbentuk plat.
 - **Jenis bahan dan ukuran elektroda**
Jenis elektroda yang sering digunakan berbahan dasar tembaga dan besi, jenis bahan elektroda yang di gunakan akan berpengaruh terhadap tingkat konduktifitas dalam menyalurkan arus listrik ke dalam tanah. Semakin baik baik tingkat konduktifitasnya maka akan semakin baik juga sistem pentanahannya, ukuran elektroda beragam semakin besar diameter elektroda yang di gunakan maka akan semakin baik sistem pentanahannya.
 - **Jumlah elektroda**
Pemasangan elektroda bervariasi penambahan dengan cara memparalelnya. Penambahan elektroda ini bertujuan ketika menggunakan satu buah elektroda dan hasilnya masih tidak memenuhi standar yang di tentukan. Menurut PUIL 2000 3.19.1.4 apabila hasil pengukuran belum mencapai 5Ω , maka batang elektroda di tambah dengan jarak 2 kali panjang elektroda.[6]
 - **Kedalaman pemancangan elektroda ke dalam tanah**
Kedalaman dari pemancangan elektroda tergantung dari jenis dan sifat tanah itu sendiri seperti kondisi tanah kering, berbatu, tanah liat, dan tanah rawa.
Resistansi pembumian elektroda tergantung pada jenis tanah, keadaan tanah, ukuran elektroda, dan susunan elek

2.3 Konfigurasi Elektroda Pentanahan

Elektroda batang merupakan bahan penghantar yang membawa muatan listrik yang terdistribusi atau menyebar di sekitar elektroda. Salah satunya adalah elektroda yang terpasang tegak lurus. Elektroda dapat ditanam langsung ditanah maupun beberapa cm dari permukaan tanah. Elektroda pada sistem distribusi 20 kV umumnya menggunakan batas minimum yang diperkenankan, dengan menggunakan elektroda berdiameter 20 mm, atau pipa bergaris tengah 25 mm sepanjang 3 m yang ditanam dikedalaman 0,5 – 0,75 cm dibawah permukaan tanah [7].

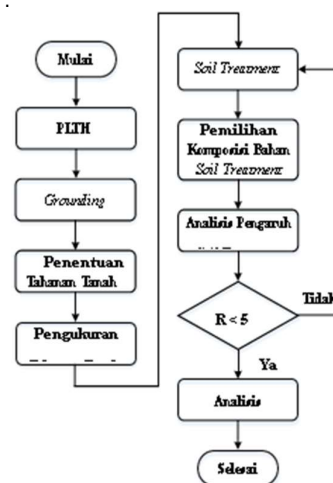
Pentanahan sistem multi elektroda merupakan cara yang

efektif untuk mendapatkan nilai pentanahan yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan satu elektroda saja. Beberapa pilihan dapat dilakukan untuk sistem multi elektroda ini diantaranya menggunakan 2 elektroda sejajar, 3 elektroda sejajar berbentuk segitiga dan multi elektroda dengan bentuk segi empat kosong atau segi empat berisi sesuai dengan kebutuhannya.

Pemasangan elektroda pentanahan dapat dilakukan dengan menanam secara vertikal (tegak lurus/rod), maupun di lakukan secara horizontal (sejajar/grid). Tahanan tanah dipengaruhi oleh kandungan elektrolit yang ada pada tanah tersebut, karena nilai pentanahan akan semakin bagus atau kecil apabila kedalaman elektroda di tanaman semakin dalam[10] Berikut konfigurasi sistem grounding.

2.4 Alur Penelitian

Langkah – Langkah dalam penelitian digambarkan diagram sebagai berikut :



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penjelasan pengerjaan penelitian ini yang digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:

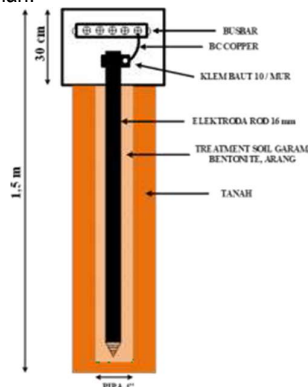
1. Mulai
2. PLTH sebagai pembangkit energi listrik dengan mengkombinasikan antara 2 pembangkit yaitu pembangkit listrik tenaga surya dengan pembangkit listrik tenaga angin. Observasi untuk mengetahui sistem yang sudah terpasang, sesuai yang ada di lapangan
3. Grounding sebagai penghantar arus listrik ketika terjadi kebocoran sehingga tidak menimbulkan bahaya terhadap manusia, mengamankan komponen-komponen instalasi dan lingkungan sekitar dari bahaya teganagan/ arus abnormal. Target *grounding* mendapatkan resistansi maksimal sebesar 5Ω (ohm).
4. Penentuan tahanan tanah digunakan untuk dasar pengukuran tahanan tanah yang akan digunakan sertapengambilan data yang akan dilakukan pada proses ini

5. Pengukuran tahanan tanah dengan menggunakan earth tester. Setelah dilakukan penentuan dan perhitungan tahanan tanah, maka dilakukan proses pengukuran tahanan tanah untuk memvalidasi penentuan tahanan tanah dengan target 5 Ohm..
6. Soil Treatment untuk memperbaiki atau mengecilkan nilai resistansi tanah. Hal ini dilakukan dengan menambahkan beberapa bahan kimia seperti garam, arang, dan bentonite.
7. Pemilihan komposisi bahan soil treatment untuk memperbaiki nilai resistansi tanah. Hal ini dinilai lebih efektif dari pada melakukan penggantian konfigurasi elektroda.
8. Analisis pengaruh soil treatment untuk mengetahui perbedaan sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan soil treatment terhadap tanah.
9. Selesai.

2.5 Desain Sistem

Pada desain alat terdapat beberapa bagian salah satunya bak kontrol yang digunakan untuk membudahkan dalam inspeksi maintenance soil treatment, memudahkan dalam proses pengukuran nilai resistivitas tanah dan melindungi sistem grounding.

1. Bak kontrol yang dirancang terbuat dari bahan yang tahan terhadap panas dan air maka menggunakan bahan dari beton. Fungsi penggunaan bak kontrol digunakan untuk memudahkan dalam inspeksi maintenance soil treatment, melakukan pengukuran resistivitas tanah, dan sebagai pelindung sistem grounding. Pembuatan bak kontrol dengan dimensi luar bak kontrol 25x25x30 cm, dan dimensi dalam bak kontrol 20x20x20 cm, tutup bak kontrol berukuran 30 cm dengan ketebalan 5 cm. bak kontrol di lengkapi dengan busbar sejumlah 5 buah titik yang di gunakan sebagai terminal penyambungan sistem pentanahan.
2. Elektroda yang digunakan pada penelitian menggunakan berbahan dari tembaga dengan panjang elektroda 1,5 meter dengan diameter 16 mm yang di pancangkan secara vertikal kedalam tanah.



GAMBAR 2.2. DESAIN SISTEM PENTANAHAN PADA BOX CONTROL

2.6. Soil Treatment

Upaya untuk menurunkan nilai resistansi tanah dengan penambahan zat *aditif* (*Soil treatment*) yang digunakan untuk memperbaiki sifat kelistrikan tanah di area yang akan dipasang sistem pentanahan [11]. Besarnya nilai resistansi tanah di pengaruhi oleh beberapa factor seperti jenis tanah, ukuran elektroda, jenis elektroda yang di gunakan, kedalaman elektroda. Sedangkan tahanan jenis tanah dipengaruhi beberapa faktor seperti komposisi tanah, temperature, kelembapan tanah, dan kandungan kimia dalam tanah. *Soil treatment* mengubah komposisi kimia tanah dengan penambahan zat *aditif* hal ini dilakukan untuk meningkatkan keefektifan sistem pentanahan dan memastikan perlindungan yang memadai terhadap gangguan listrik dan sambaran petir. Pada penelitian ini bahan *soil treatment* yang digunakan antara lain [12] :

1. *Bentonite* merupakan jenis tanah liat yang memiliki kandungan *montmorillonit* dengan mineral seperti kwarsa, kalsit, *feldspars* dan mineral lainnya. *Bentonite* memiliki sifat menyerap air dan menahan air pada strukturnya karena adanya lapisan lempung yang terdiri dari *tetrahedral* dan *oktahedral* sedangkan lapisan *interlayer* terdapat molekul air dan kation-kation, pada lapisan *interlayer* terjadi penyerapan air. *Bentonite* memiliki 75 % mineral *montmorillonit* yang memiliki daya serap yang tinggi terhadap air.
2. Arang digunakan dalam sistem pentanahan bertujuan menurunkan tahanan tanah secara permanen, arang banyak digunakan pada soil treatment karena berhasil menurunkan nilai resistivitas tanah karena arang memiliki sifat *hidroskopis* yang bisa meningkatkan konduktifitas listrik ke tanah.
3. Garam karena zat elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat meningkatkan daya hantar ke dalam tanah dengan baik, penggunaan garam pada penelitian di tanah berkapur berhasil menurunkan efisiensi sekitar 75 %, maka pada penelitian ini menggunakan garam untuk menurunkan nilai resistansi tanah pada jenis tanah pasir dan berbatu.

2.7. Penentuan Elektroda Rod

Pada penelitian ini menggunakan elektroda rod single karena terbatasnya lahan yang ada dan elektroda jenis ini mudah dalam pemancangan serta tidak membutuhkan tempat yang luas, berikut persamaan penentuan elektroda rod [13].

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

R = Tahanan pembumian elektroda batang (Ohm)

ρ = Resistansi jenis tanah (Ohm/m)

L = Panjang elektroda batang yang tertanam

(m)

a = Jari – jari batang elektroda

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran nilai resistansi pentanahan pada elektroda rod yang sudah terpasang untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan yang telah terpasang, setelah melakukan pengukuran mendapat hasil nilai pentanahan yang tinggi sekitar 35,8 Ω. Maka dari hasil pengukuran akan di bandingkan dengan pengukuran yang sudah di lakukan *soil treatment* untuk melihat seberapa efektif perlakuan *soil treatment* untuk mereduksi resistansi tanah yang bernilai tinggi berikut tabel percobaan pengukuran awal pentanahan:

TABEL 3. PENGUJIAN NILAI PENTANAHAN SEBELUM SOIL TREATMENT

Pengukuran	Nilai Resistensi Tanah
Percobaan 1	35,8 Ω
Percobaan 2	35,4 Ω
Percobaan 3	17,7 Ω
Rata-rata	29,3 Ω

Dari hasil pengukuran mendapat nilai rata-rata pentanahan dari 3 percobaan pengambilan data data pengukuran mendapat sebesar 29,3 Ω. Hal ini masih belum memenuhi standar PUIL 2011 kurang dari 5 Ω.



GAMBAR 3.1 PENGUKURAN SEBELUM SOIL TREATMENT

3.1 Kebutuhan Volume Bahan Soil Treatment

Untuk memenuhi kebutuhan bahan *soil treatment* yang akan digunakan maka harus mengetahui volume kebutuhan bahan dengan menggunakan persamaan berikut [14]

$$V = \pi r^2 t$$

Keterangan :

- Diameter lubang 4" (11,4 cm)
- Kedalaman lubang 1,2 m (120 cm)
- Panjang elektroda rod 1,5 m (150 cm)

$$V = 3,14 \cdot 5,7^2 \cdot 120$$

$$V = 3,14 \cdot 32,49 \cdot 120$$

$$V = 12.242,32 \text{ cm}^3$$

$$V = 12,24 \text{ liter}$$

$$V = 12,24 \text{ kg}$$

$$\diamond V = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$V = 3,14 \cdot 5,7^2 \cdot 150$$

$$V = 3,14 \cdot 32,49 \cdot 150$$

$$V = 15.302 \text{ cm}^3$$

$$V = 15,3 \text{ liter}$$

$$V = 15,3 \text{ kg}$$

Maka kebutuhan bahan untuk melakukan soil treatment perdatu lubang menggunakan komposisi bahan zat aditif 100 % dengan volume yang dibutuhkan sebesar 81,1 % atau sebanyak 15,3 kg dari panjang elektroda rod sepanjang 1,5 m kedalam tanah.

3.2 Hasil Pengujian Soil Treatment dengan earth tester

TABEL 3.2 PENGUJIAN GROUNDING TREATMENT

Data Hasil Pembumihan Soil Treatment					
Hari/Tanggal	Jam	Garam (Ω)	Arang (Ω)	Bentonite (Ω)	Tanah (Ω)
Jum'at/ 13 Juli 2023	13.10	7,72	7,69	9,91	13,5
	15.00	7,16	7,56	8,82	10,98
Rata-rata		7,61	7,62	9,36	12,24
Sabtu/ 14 Juli 2023	13.00	3,3	7	7	9,2
	15.00	3,2	4,7	6,1	7
	16.40	3,2	4,1	6,1	6
Rata-rata		3,23	5,26	6,4	7,4
Minggu/ 15 Juli 2023	09.30	4	4,4	6,2	6,8
	12.00	4	4	6	5,2
	15.00	3,8	3,8	6	5
	Rata-rata		3,09	4,06	6,06
Senin/ 16 Juli 2023	12.00	3,8	3,8	6	5
	14.30	3	3,8	5,2	4,17
	16.50	2,85	3,8	5	4
Rata-rata		3,2	3,8	5,4	4,39

Setelah dilakukan pengukuran terhadap per satu titik yang telah beri perlakuan dengan beberapa zat *aditif* di peroleh hasil rata-rata perbahan sebagai berikut :

- Bahan garam = 3,2 Ω.
- Bahan Arang batok kelapa = 3,8 Ω.
- Bahan Bentonite = 5,4 Ω.
- Tanah = 4,39 Ω.

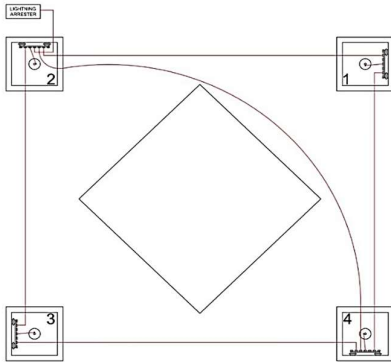
3.3. Pengukuran Pentanahan Secara Paralel

Pemasangan grounding menggunakan tambahan metode treatment dengan tujuan menurunkan nilai resistansi tanah. Bahan dari treatment yang digunakan meliputi [15] [16] :

- Non-treatment (tanah)
- Garam
- Bentonite
- Arang

Pada saat mengambil data hasil pengukuran setelah dilakukan metode paralel, dilakukan dengan konfigurasi sebagai berikut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Masing – masing Elektroda tambahan ditanam kedalam tanah yang masing-masing berjarak 5-10 meter dari grounding yang akan diuji. Setelah itu langkah yang harus dilakukan adalah memasang kabel ke grounding dan elektroda tambahan yang sudah

ditanam/ditancapkan. Kedalaman suatu elektroda pentanahan dapat mempengaruhi nilai tahanan pentanahan.



GAMBAR 3.2. KONFIGURASI PENTANAHAN PARALEL 4 TREATMENT

Setelah dilakukan pengujian secara paralel didapatkan hasil yang ditampilkan pada gambar 3.3. Pada 4 jenis treatment grounding dilakukan pengkondisian dengan metode penyiraman air, sebelum dilakukan penyiraman air, grounding tanpa treatment (tanah murni) akan mendapatkan hasil tertinggi yaitu 13,5 ohm, sedangkan bentonite urutan kedua dengan nilai 9,91 ohm, arang urutan ketiga dengan nilai 7,69 ohm, dan garam sebesar 7,2 ohm. Tetapi setelah dilakukan penyiraman dan di diamkan sekitar 2 hari, grounding treatment garam mendapatkan nilai resistansi terendah sebesar 3,2 ohm, arang sebesar 3,8 ohm, tanah murni 4,4 ohm, dan semen bentonite sebesar 5,4 ohm.



GAMBAR 3.3. GRAFIK HASIL GROUNDING TREATMENT

Sehingga dapat dipastikan dengan treatment maka daya ikat air dalam tanah menjadi meningkat. Tetapi nilai ini akan dipengaruhi oleh suhu udara, apabila suhu tinggi dan kondisi lingkungan kering, maka nilai resistansi pentanahan akan cenderung meningkat dibandingkan saat suhu rendah dan kelembaban udara tinggi seperti yang tertera pada Gambar 3.3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil observasi pengambilan data dan analisa yang telah di laksanakan, maka dapat kami simpulkan sebagai berikut:

1. Nilai Pentanahan di sekitar Lokasi penelitian sebelum dilakukan perbaikan menggunakan soil treatment memiliki resistansi tinggi sekitar 35,8 ohm, disebabkan kondisi tanah di tempat penelitian merupakan tanah urukan dengan struktur batuan.
2. Penambahan zat aditif pada sistem pentanahan batang Tunggal merubah hasil pengukuran menjadi 2,86 ohm saat kondisi kelembaban lingkungan tinggi dan suhu lingkungan rendah dan dilakukan pengukuran di pagi hari.
3. Perencanaan dan implementasi dilakukan dengan penggunaan batang elektroda sepanjang 1,5 meter, dengan diameter elektroda 16 mm, jarak antar elektroda 3 meter, sejumlah 4 titik dihubungkan secara paralel menggunakan terminal yang ditanam dalam box control ukuran 25 x 25 x 30 cm. 4 titik tersebut memiliki jenis treatment soil yang berbeda – beda yaitu tanah murni, tanah + garam, tanah + arang, dan tanah + semen bentonite.

Penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kimia tanah (soil treatment) dengan menggunakan bentonit, arang kelapa, dan garam mampu menurunkan resistansi tanah dari 35,8 Ω menjadi 2,86 Ω , memenuhi standar PUIL 2011 (<5 Ω). Temuan ini menguatkan penelitian terdahulu yang menunjukkan efektivitas penambahan zat aditif dalam meningkatkan konduktivitas tanah. Hasil ini juga konsisten dengan penelitian serupa yang menguji peran soil treatment dalam menurunkan resistansi tanah pada berbagai jenis tanah.

Referensi

- [1] Juniardi, T., Gianto, R., & Arsyad, M. I. (2021). Analisis Penggunaan Bentonit Gypsum Dan Garam Sebagai Zat Aditif Untuk Soil Treatment Pada Sistem Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang. Universitas Tanjungpura.
- [2] Yuniarti, E. (2016). Gypsum Sebagai Soil Treatment dalam Mereduksi Tahanan Pentanahan di Ttanah Ladang. Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek, November, 1–7.
- [3] Setiawan, D., Syakur, A., & Nugroho, A. (2018). Analisis Pengaruh Penambahan Garam Dan Arang Sebagai Soil Treatment Dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda. 7, 1–7.
- [4] Permal, N., Osman, M., Ariffin, A. M., & Abidin Ab Kadir, M. Z. (2021). Effect of non-homogeneous soil characteristics on substation grounding-grid performances: A review. Applied Sciences (Switzerland), 11(16).
- [5] T. Juniardi, R. Gianto, and M. I. Arsyad, "Analisis Penggunaan Bentonit, Gypsum, dan Garam Sebagai Zat Aditif untuk Soil Treatment pada Sistem Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang," Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, vol. 11, no. 2, pp. 45-52, 2021.
- [6] E. Yuniarti, "Gypsum Sebagai Soil Treatment dalam Mereduksi Tahanan Pentanahan di Tanah Ladang," Jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta, vol. 9, no. 3, pp. 65-71, 2019.
- [7] N. Permal, M. Osman, A. M. Ariffin, and M. Z. Abidin Ab Kadir,

- "Effect of Non-Homogeneous Soil Characteristics on Substation [8] Grounding-Grid Performances: A Review," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 16, pp. 7654-7663, 2021. doi: 10.3390/app11167654.
- [9] W. Su, et al., "Arc Flash Hazard Analysis for Utility-Scale Solar Power Plants," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 5, pp. 2147-2154, 2019. doi: 10.1109/TPWRD.2018.2854659.
- [10] P. S. Harijanto and B. E. Prasetyo, "Analisa Proteksi Gangguan Petir pada SUTT 70 KV Antara GI Kebonagung - Polehan," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 13-18, 2023. doi: 10.33795/elposys.v10i1.975.
- [11] P. S. Harijanto, W. Kusuma, B. E. Prasetyo, A. Hermawan, and A. Fitrah, "Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan pada Tower Transmisi 150 KV Menggunakan Simulasi Alternative Transient Program (ATP)," *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, vol. 3, no. 1, pp. 61-68, 2022.
- [12] R. Srinivasan and L. Amarnath, "Arc Flash Risk Assessment for Electrical Safety in Industrial Systems," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, no. 3, pp. 2071-2079, 2019. doi: 10.1109/TIA.2019.2894306.
- [13] Y. Firdaus, M. Pujiantara, and A. Musthofa, "Penyederhanaan Analisa Bahaya Arc Flash Menggunakan Kurva Batasan Energi pada Bandara Internasional Juanda," *Jurnal Teknik Elektro ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B217-B222, 2020. doi: 10.12962/J23373539.V5I2.16121.
- [14] P. S. Harijanto, M. F. Hakim, R. A. Ananto, and A. H. Santoso, "Voltage Improvement on the Feeder Using the Load Breaking Method," *International Journal of Electrical Engineering and Applied Sciences*, 2023.
- [15] J. Situngkir, A. Priyadi, and M. Pujiantara, "Analisa Arc Flash pada Sistem Tegangan Menengah di PT. Semen Padang dengan Menggunakan Metode Perhitungan yang Dimodifikasi," *Jurnal Teknik Elektro ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B257-B264, 2019. doi: 10.12962/J23373539.V5I2.16167.
- [16] D. Setiawan, A. Syakur, and A. Nugroho, "Analisis Pengaruh Penambahan Garam dan Arang sebagai Soil Treatment dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, vol. 7, no. 1, pp. 1-7, 2020.