

# Pengaruh Tingkat Kedalaman Elektroda Terhadap Tahanan Pentanahan

Teuku Murisal Asyadi\*<sup>1)</sup>, Agus Fardesi<sup>2)</sup>, Muliadi<sup>3)</sup>, Syukri<sup>4)</sup>  
1, 2, 3, 4) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Iskandar Muda  
Jl. Kampus UNIDA, Surien, Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234  
\*Corresponding author E-mail: [teukumurisal@gmail.com](mailto:teukumurisal@gmail.com)

## ABSTRACT

A good grounding system can increase the safety and reliability of the electrical system of the UPT Banda Aceh Substation. The grounding system also has an important role in securing equipment and electrical networks from various kinds of disturbances, especially disturbances due to lightning strikes. Electrical currents caused by natural disasters and lightning strikes can result in leakage current failure or short circuits. In substations, prevention of ground arcs due to large fault currents ( $>5$  A) can be done by installing a grounding system. The substation's grounding system uses a grid or a mesh grounding system. This study aims to obtain the value of grounding resistance at the Banda Aceh Substation at different depths. The method used is to make direct measurements in the field and calculate the value of ground resistance using the equation according to Sverak at different depths. The results show that 0.70 for 4 meters, 0.68 for 5 meters, 0.67 for 6 meters, 0.65 for 7 meters, 0.64 for 8 meters, 0.63 for 9 meters, and 0.62 for 10 meters. The deeper the electrode is implanted, the smaller the resistance obtained. This is because the grounding system at the UPT Banda Aceh Substation uses a mesh grounding system. The value of the ground resistance obtained is still by the PLN standard for substations. Thus, the grounding system at the UPT Banda Aceh Substation has worked optimally.

Keywords: Depth level, Electrodes, Ground value

## ABSTRAK

Sistem pentanahan yang baik mampu meningkatkan keamanan dan kehandalan pada sistem kelistrikan Gardu Induk UPT Banda Aceh. Sistem pentanahan juga memiliki peran penting dalam mengamankan peralatan maupun jaringan listrik dari berbagai macam gangguan terutama gangguan akibat sambaran petir. Arus listrik yang disebabkan oleh bencana alam dan sambaran petir dapat mengakibatkan kegagalan arus bocor atau hubung singkat. Pada Gardu Induk, pencegahan timbulnya busur tanah akibat dari arus gangguan yang besar ( $>5$  A) dapat dilakukan dengan memasang sistem pentanahan. Sistem pentanahan pada Gardu Induk menggunakan sistem kisi-kisi (grid) atau sistem pentanahan mesh. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan di Gardu Induk Banda Aceh pada kedalaman yang berbeda. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengukuran langsung ke lapangan dan menghitung nilai tahanan pentanahan menggunakan persamaan menurut Sverak pada kedalaman yang berbeda. Hasilnya didapatkan bahwa 0,70  $\Omega$  untuk 4 meter, 0,68  $\Omega$  untuk 5 meter, 0,67  $\Omega$  untuk 6 meter, 0,65  $\Omega$  untuk 7 meter, 0,64  $\Omega$  untuk 8 meter, 0,63  $\Omega$  untuk 9 meter, dan 0,62  $\Omega$  untuk 10 meter. Semakin dalam elektroda yang ditanam semakin kecil pula resistansi yang didapatkan. Hal ini disebabkan karena sistem pentanahan pada Gardu Induk UPT Banda Aceh menggunakan sistem pentanahan mesh. Nilai tahanan pentanahan diperoleh masih sesuai dengan standart PLN untuk Gardu Induk. Dengan demikian, sistem pentanahan pada Gardu Induk UPT Banda Aceh sudah bekerja secara maksimal.

Kata Kunci: Tingkat kedalaman, Elektroda, Nilai pentanahan

## I. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan merupakan bagian penting yang perlu diperhatikan agar keamanan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik dapat terjamin dengan baik. Sistem pentanahan juga dapat membuat sistem tenaga listrik aman dalam proses penyaluran energi listrik dan aman terhadap gangguan terutama yang berhubungan dengan gangguan hubung tanah [1].

Sistem pentanahan memiliki fungsi sebagai pembatas tegangan antara peralatan dengan tanah sampai saat kondisinya aman untuk semua pengoperasian, baik pada kondisi normal maupun ketika terjadi gangguan [2].

Pada suatu bangunan supaya terhindar dari bahaya sambaran petir, maka nilai tahanan pentanahan yang dibutuhkan adalah sebesar 5  $\Omega$ , sedangkan untuk peralatan elektronika membutuhkan nilai tahanan pentanahan sebesar 3  $\Omega$ , juga terdapat banyak perangkat yang membutuhkan nilai tahanan pentanahan lebih kecil dari 3  $\Omega$  [3]. Oleh sebab itu, jenis tanah sangat berpengaruh terhadap baik buruknya sistem pembumian (*grounding system*) karena tidak semua jenis tanah memiliki nilai resistansi yang baik. Nilai resistansi tanah sangat dipengaruhi oleh unsur yang terkandung dalam tanah dan juga tata letak tanah tersebut .

Nilai resistansi pembumian yang kecil dan sesuai kebutuhan sangatlah sulit didapat karena dipengaruhi oleh banyak faktor seperti resistansi elektroda itu sendiri, jenis tanah, jenis elektroda pembumian, suhu dan kelembaban serta kandungan elektrolit dalam tanah [4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh nilai tahanan pentanahan di Gardu Induk Banda Aceh pada kedalaman yang berbeda-beda. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan di Gardu Induk Banda Aceh pada kedalaman yang berbeda-beda.

Selanjutnya manfaat dari penelitian ini adalah agar diperoleh nilai tahanan pentanahan yang baik sehingga aman terhadap efek tegangan yang timbul akibat terjadinya sambaran petir. Penelitian ini memegang peranan penting dalam menjaga kualitas dan keandalan tenaga listrik terhadap konsumen agar peralatan dapat beroperasi sesuai dengan fungsi dan karakteristiknya.

## II. METODE

Pada penelitian ini, pengaruh tingkat kedalaman elektroda terhadap pentanahan dilakukan di PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Unit Pelayanan Transmisi yang terletak di Jalan Soekarno-Hatta, Lampeunerut, Banda Aceh. Adapun metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengukuran langsung ke lapangan dan menghitung nilai tahanan pentanahan pada kedalaman elektroda yang berbeda-beda.

### A. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk mengukur tahanan pentanahan dalam penelitian ini adalah *Earth Resistance Tester* atau lebih dikenal dengan istilah “Megger” seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat ukur *Earth Resistance Tester*

Dari Gambar 1 dapat diterangkan bahwa:

- 1) Alat ukur *Earth Resistance Tester* merk Kyoritsu 4105 A
- 2) Dua buah paku elektroda bantu
- 3) Kabel warna hijau (dijepit pada *body* peralatan)
- 4) Kabel warna merah (dijepit pada paku elektroda)
- 5) Kabel warna kuning (dijepit pada paku elektroda)

Pada penelitian ini, pengukuran tahanan pentanahan dilakukan dengan menggunakan alat *Digital Earth Resistance Tester 4105*. Tujuannya untuk menentukan tahanan antara

besi atau tembaga yang ditanam dalam tanah yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap gangguan petir dan hubung singkat. Proses pengukuran pentanahan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran pentanahan

Adapun langkah-langkah penggunaan alat *Earth Resistance Tester* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat ukur dan alat – alat bantu pemasangan lainnya.
2. Dilakukan pengecekan tegangan baterai dengan menghidupkan *Digital Earth Resistance Tester*. Jika layar tampak bersih tanpa simbol baterai lemah berarti kondisi baterai dalam keadaan baik. Jika layar menunjukkan simbol baterai lemah atau bahkan layar dalam keadaan gelap berarti baterai perlu diganti.
3. Menanam elektroda bantu dengan memukul kepala elektroda menggunakan martil, jika menjumpai lapisan tanah yang keras sebaiknya jangan memaksakan penanaman elektroda.
4. Menentukan jarak antar elektroda bantu minimal 5 meter dan maksimal 10 meter.
5. Mengukur tegangan tanah dengan mengarahkan *range switch* ke *earth voltage* dan pastikan bahwa nilai indikator 10 V atau kurang. Jika *earth voltage* bernilai lebih tinggi dari 10 V diperkirakan akan terjadi banyak kesalahan dalam nilai pengukuran tahanan.
6. Mengecek penghubung atau penjepit pada elektroda utama dan elektroda bantu dengan mengatur *range switch* ke 2000  $\Omega$  dan tekan tombol ” PRESS TO TEST ”. Jika tahanan elektroda utama terlalu tinggi atau menunjukkan simbol ” . . . ” yang berkedip-kedip maka perlu dicek penghubung atau penjepit pada elektroda utama.
7. Melakukan pengukuran. mengatur *range switch* ke posisi yang diinginkan dan tekan tombol ” PRESS TO TEST ” selama beberapa detik.
8. Mencatat nilai ukur tahanan yang muncul dari *Digital Earth Resistance Tester*.

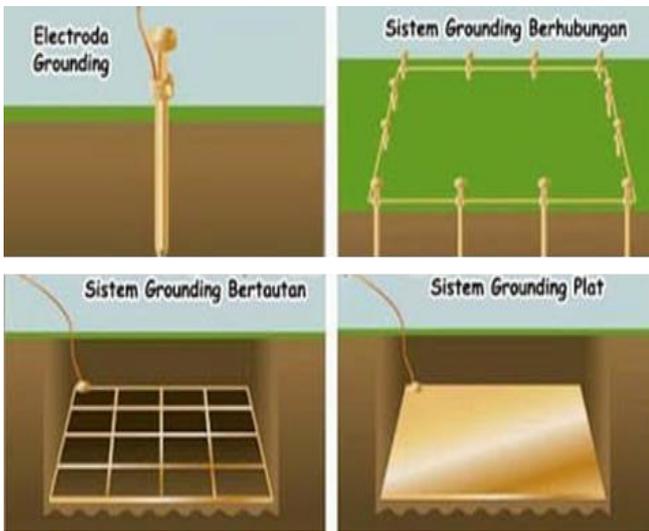
Mengembalikan posisi tombol ” PRESS TO TEST ” ke posisi awal.

### B. Sistem Pentanahan pada Gardu Induk Banda Aceh

Sistem pentanahan merupakan suatu sistem yang berperan sebagai pengaman terhadap semua perangkat yang

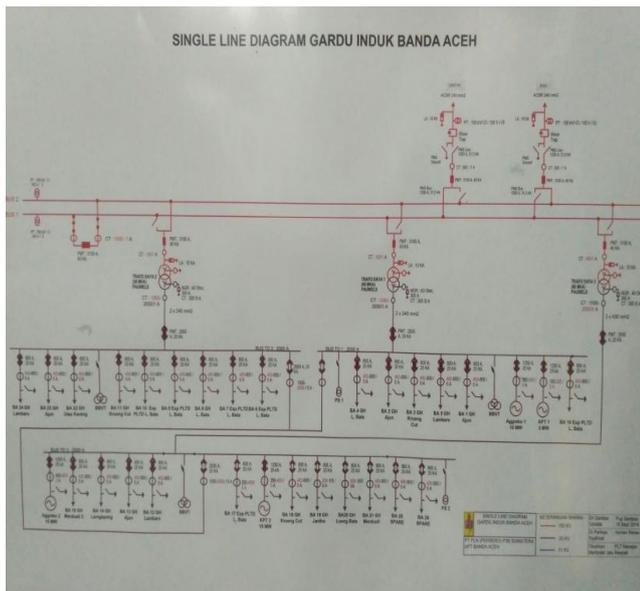
memanfaatkan sumber listrik dari lonjakan listrik terutama akibat sambaran petir [5]. Penggunaan sistem pentanahan baik untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk suatu peralatan khususnya dibidang telekomunikasi dan elektronik perlu mendapatkan perhatian yang serius, karena pada prinsipnya pentanahan tersebut merupakan dasar yang digunakan untuk suatu sistem proteksi.

Menurut [6], perilaku tahanan sistem pentanahan sangat tergantung pada frekuensi dan harmonisa dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut. Tujuan utama pentanahan yaitu agar terciptanya jalur tahanan rendah (*low-impedance*) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan tegangan transien (*transient voltage*). Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik atau *transient voltage*. Berikut ini adalah macam-macam sistem pentanahan.



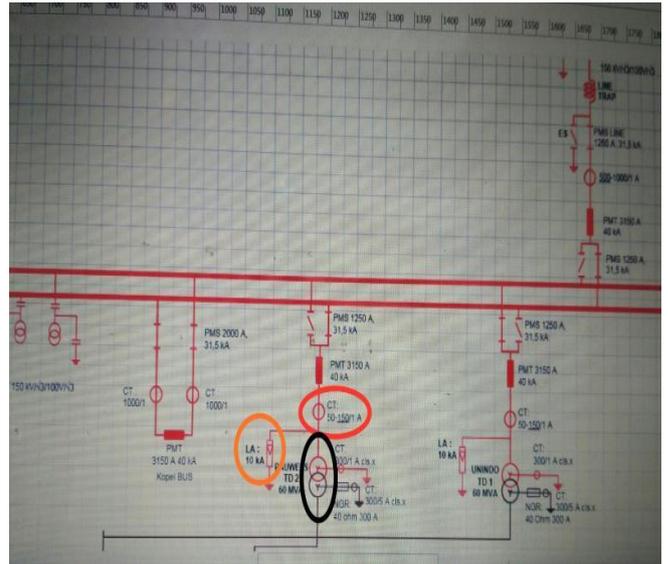
Gambar 3. Macam-macam sistem pentanahan [6]

Selanjutnya, bentuk *single line* Gardu Induk ditunjukkan pada Gambar 4.



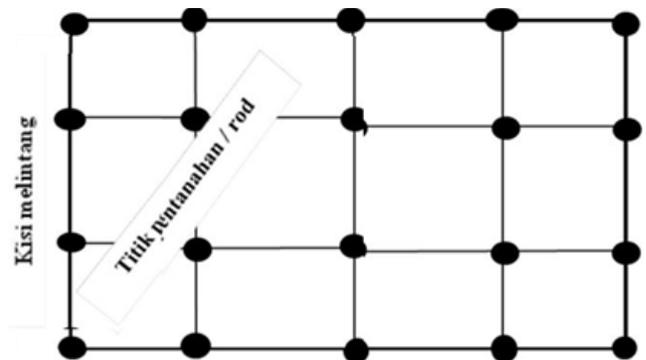
Gambar 4. Single line GI Banda Aceh

Berdasarkan Gambar 4, titik pengukuran tahanan pentanahan dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik pengukuran pada GI Banda Aceh

Pada penelitian ini, elektroda pentanahan yang digunakan yaitu jenis tembaga pejal (*copper rod*) dimana sebelumnya sudah terlebih dahulu ditanam dalam tanah dengan kedalaman 1 m – 10 m dengan membentang dibawah tanah yang dirangkai membentuk anyaman atau disebut pentanahan *mesh* dan dihubungkan satu sama lain ke semua sisi peralatan Gardu Induk, selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Model sistem pentanahan pada GI Banda Aceh

### C. Tahanan Pentanahan

Pada sistem pentanahan, tanah merupakan bagian lain yang menghubungkan kontak antara tanah beserta pasak yang tertanam mesti cukup luas sehingga nilai tahanan dari jalur arus yang masuk atau melewati tanah masih dalam batas yang ditoleransikan untuk penggunaan tertentu [7].

Nilai hambatan jenis tanah pada suatu sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain [8] :

- Faktor temperatur tanah.
- Faktor besarnya arus yang melewati.
- Faktor kandungan air serta bahan kimia yang terdapat dalam tanah.
- Faktor kelembaban tanah.
- Faktor cuaca.

Tanah yang berada pada GI Banda Aceh memiliki nilai tahanan jenis sebesar 100  $\Omega$ -m, karena jenis tanah pada area tersebut yaitu jenis tanah liat dan tanah ladang.

Setelah tahanan jenis tanah diketahui, maka nilai tahanan tanah dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (1)$$

Dimana :

A = Luas penampang penghantar ( $m^2$ )

$L_T$  = Panjang penghantar (m)

h = Kedalaman elektroda (m)

jadi, penghantar yang akan digunakan harus mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut [9] :

- b. Untuk tanah yang bersifat korosi sangat lambat, dengan tahanan diatas 100 ohm-m, tidak ada batas perkenan korosi (*corosi allowance*).
- c. Untuk tanah yang bersifat korosi lambat, dengan tahanan 25-100 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 15% dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas thermal.
- d. Untuk tanah yang bersifat korosi cepat, dengan tahanan kurang dari 25 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 30% dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas thermal, Penghantar dapat dipilih dari ukuran standart seperti 10 x 6 mm sampai 65 x 8 mm.

#### D. Faktor Penyebab Tegangan Permukaan Tanah

##### 1. Pengaruh uap lembab dalam tanah

Kandungan uap lembab dalam tanah merupakan faktor penentu nilai tegangan tanah. Variasi dari perubahan uap lembab akan membuat perbedaan yang menonjol dalam efektifitas hubungan elektroda pentanahan dengan tanah. Hal ini jelas terlihat pada kandungan uap lembab di bawah 20%. Nilai di atas 20% resistivitas tanah tidak banyak terpengaruh, tetapi di bawah 20% resistivitas tanah meningkat drastis dengan penurunan kandungan uap lembab. Berkaitan dengan kandungan uap lembab, tes bidang menunjukkan bahwa dengan lapisan permukaan tanah 10 kali akan lebih baik ditahan oleh batas dasar [10].

Elektroda yang dipasang dengan dasar batu biasanya memberikan kualitas pentanahan yang baik, hal ini disebabkan dasar-dasar batu sering tidak dapat tembus air dan menyimpan uap lembab sehingga memberikan kandungan uap lembab yang tinggi.

##### 2. Pengaruh tahanan jenis tanah

Tahanan tanah merupakan kunci utama yang menentukan tahanan elektroda pada kedalaman berapa elektroda harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah bervariasi di berbagai tempat dan cenderung berubah menurut cuaca. Tahanan tanah ditentukan juga oleh kandungan elektrolit di dalamnya, seperti kandungan air, mineral dan garam. Tanah yang kering biasanya mempunyai tahanan yang tinggi, namun demikian tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam yang dapat larut [11].

##### 3. Pengaruh temperatur

Temperatur akan berpengaruh langsung terhadap resistivitas tanah yang akan berpengaruh juga terhadap performa tegangan permukaan tanah. Pada musim dingin struktur fisik tanah menjadi sangat keras dan tanah membeku pada kedalaman tertentu [12].

Air di dalam tanah membeku pada suhu di bawah 0 °C dan hal ini menyebabkan peningkatan yang besar dalam koefisien temperatur resistivitas tanah . Koefisien ini negatif dan pada saat temperatur menurun, resistivitas naik dan resistansi hubung tanah tinggi.

##### 4. Perubahan resistivitas tanah

Resistivitas tanah sangat tergantung dengan material pendukung tanah, temperatur dan kelembaban. Daerah dengan struktur tanah berpasir, berbatu dan cenderung berstruktur tanah padat mempunyai resistivitas yang tinggi [12].

##### 5. Korosi

Komponen sistem pentanahan dipasang di atas dan di bawah permukaan tanah, keduanya menghadapi karakteristik lingkungan yang berlainan. Bagian yang berada di atas permukaan tanah, asap dan partikel debu dari proses industri serta partikel terlarut yang terkandung dalam air hujan akan mengakibatkan korosi pada konduktor [12].

#### E. Proses Menurunkan Tegangan Permukaan Tanah

##### 1. Perlakuan kimiawi tanah

Metode konvensional untuk menurunkan tegangan permukaan tanah yang bernilai tinggi adalah dengan menurunkan tahanan jenis tanah. Zat aditif yang ditambahkan di dalam tanah terbukti mampu menurunkan tahanan jenis tanah dan secara langsung akan menurunkan tegangan permukaan tanah. Beberapa jenis garam yang secara alamiah terkandung di dalam tanah cenderung bersifat konduktif dan menurunkan tahanan jenis tanahnya [13].

Penambahan aditif harus diperhitungkan cermat karena beberapa aditif pada dosis tertentu cenderung bersifat korosif yang sangat dihindari dalam sistem pentanahan. Tahanan elektroda dapat turun sampai dengan 90% dengan perlakuan kimia. Bahan yang digunakan adalah sodium klorid (garam), magnesium sulfat (garam Inggris), tembaga sulfat, sodium karbonat (soda api), dan kalsium klorid [12][13].

Bahan jenis terbaru yang digunakan untuk menurunkan tahanan jenis sebagai berikut [14] :

- a. *Bentonite* adalah bahan alami berupa tanah liat berwarna coklat muda sewarna minyak zaitun dengan tingkat keasaman rendah, mempunyai pH 10,5. Mampu menyerap air disekitarnya sebesar lima kali berat *bentonite* sendiri dan menahannya. Dimensinya dapat mengembang 13 kali volume keringnya.
- b. *Marcionite* adalah bahan yang bersifat konduktif dengan kandungan kristal karbon yang cukup tinggi pada fase normalnya, dan juga mengandung belerang dan klorida dengan konsentrasi rendah. Seperti halnya *bentonite*, *marcionite* akan bereaksi korosif terhadap logam tertentu, dan memiliki tahanan jenis rendah.

- c. *Gypsum* adalah kalsium sulfat (*gypsum*) digunakan sebagai bahan uruk, baik dalam fase sendiri maupun dicampur dengan  *Bentonite* atau dengan tanah alami berasal dari daerah tersebut. *Gypsum* mempunyai kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah dihilangkan, tahanan jenisnya rendah berkisar 5-10 Ohm-m pada kondisi jenuh. Dengan pH berkisar 6,2 - 6,9, *gypsum* cenderung bersifat netral. *Gypsum* tidak mengkorosi tembaga, meskipun terkadang kandungan ringan SO<sub>3</sub> menjadi masalah pada struktur dasar dan fondasi.
- d. Arang kayu diterapkan sebagai solusi pemecahan terhadap tingginya tahanan tanah. Metode tersebut dilakukan dengan memberikan bahan urukan (*backfill material*), seperti arang kayu untuk menurunkan resistivitas tanah. Arang kayu dimasukkan dalam lubang yang dibuat di sekitar *driven ground* dengan dimensi diameter 1 m dan kedalaman 3 m.

## 2. Perawatan rutin

Perawatan dilakukan untuk mempertahankan kondisi optimal kinerja sistem pentanahan yang dilakukan secara rutin setiap 6 bulan/1 tahun untuk memantau kondisi fisik saluran transmisi sistem pentanahannya [14].

Tahanan pentanahan diukur dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Kerusakan yang terjadi pada sistem pentanahan biasanya diakibatkan sambungan kendur atau korosi antar bagian elektroda [15]. Perbaikan dilakukan dengan mengencangkan kembali baut-baut pada sambungan dan membersihkan bagian elektroda dari korosi.

Telah diketahui bahwa logam, khususnya besi dan baja bila ditanam dalam tanah maka akan terjadi pengurangan (korosi). Tahanan jenis tanah yang rendah menunjukkan kandungan larutan garam dan air yang tinggi. Tanah dengan daya hantar tinggi maka akan tinggi pula daya korosinya [15].

Korosi menyebabkan logam berkurang sekitar 0,06 mm per tahun. Pemeliharaan terhadap daya korosi yang tinggi dapat dilakukan dengan cara menabur batu-batu kecil di daerah pentanahan agar terjadi kenaikan tahanan jenis tanah sehingga daya korosi akan berkurang.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengukuran Tahanan Pertanahan

Pada GI Banda Aceh, diketahui nilai hambatan jenis tanah sebesar 100 Ω-m, luas penampang penghantar 3750 m<sup>2</sup>, panjang penghantar yang tertanam 1600 m, dan di tanam pada kedalaman 4 m. jadi, nilai tahanan tanah pada GI didapatkan:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ \frac{1}{1600} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3750}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 4 \sqrt{20/3750}} \right) \right]$$

$$= 100 \left[ 0,000625 + 0,0036 \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,29} \right) \right]$$

$$= 100 [0,000625 + 0,0036 (1,775)]$$

$$= 100 [0,000625 + 0,00639]$$

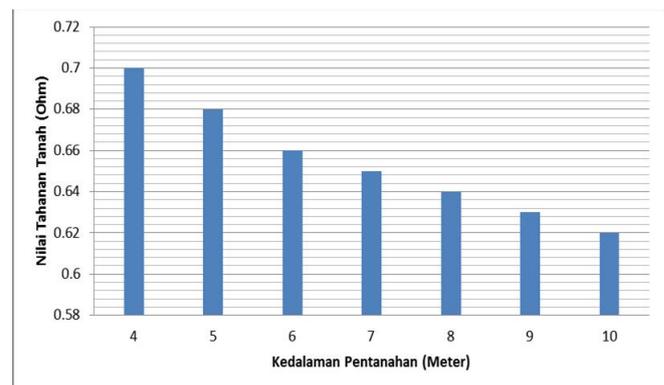
$$= 0,70 \Omega$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka diperoleh nilai tahanan tanah ( $R_g$ ) sebesar 0,70 Ω pada kedalaman 4 m. Untuk nilai tahanan tanah pada kedalaman 5 sampai dengan 10 meter, perhitungan sama dengan pada kedalaman 4 m. Hasil perhitungan tahanan tanah pada GI dengan tingkat kedalaman yang berbeda selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. NILAI  $R_g$  PADA TINGKAT KEDALAMAN BERBEDA

No	Kedalaman Elektroda (m)	Tahanan Pentanahan (Ω)
1	4	0,70
2	5	0,68
3	6	0,67
4	7	0,65
5	8	0,64
6	9	0,63
7	10	0,62

Tabel 1 menunjukkan bahwa dengan hambatan jenis tanah, luas penampang penghantar, dan panjang penghantar yang tertanam sama dapat memperkecil nilai tahanan pentanahannya. Berdasarkan Tabel 1 juga dapat kita ketahui bahwa rata-rata nilai tahanan tanah yang dihasilkan pada tingkat kedalaman yang berbeda yaitu sekitar 0,01 Ω. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Grafik hasil perhitungan  $R_g$  pada kedalaman berbeda

Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin dalam elektroda yang ditanam, maka semakin kecil pula nilai tahanan pentanahan yang diperoleh. Jadi, dapat disimpulkan bahwa sistem pentanahan pada GI Banda Aceh sudah bagus dan sesuai standar yaitu dibawah 1 Ω.

## IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, maka didapatkan nilai tahanan pentanahan pada Gardu Induk Banda Aceh yang menggunakan sistem pentanahan mesh yaitu dibawah 1 Ω. Nilai tahanan tanah pada tingkat kedalaman yang berbeda didapatkan bahwa 0,70 Ω untuk kedalaman 4 meter, 0,68 Ω untuk kedalaman 5 meter, 0,67 Ω untuk kedalaman 6 meter, 0,65 Ω untuk kedalaman 7 meter, 0,64 Ω untuk kedalaman 8 meter, 0,63 Ω untuk kedalaman 9 meter, dan 0,62 Ω untuk kedalaman 10 meter. Sistem pentanahan pada GI Banda Aceh sudah bagus dan sesuai standar yaitu dibawah 1 Ω.

## REFERENSI

- [1] A. Pranoto, H. Tumaliang, G. M.Ch Mangindaan, "Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 7, no. 3, pp. 189-198, 2018.

- [2] Rudi, D. Songgo dan Anang, "Analisis Sistem Pembumian Berbentuk Jaring (Grid) Pada Gardu Induk 150 kV, Di Jalan Sunan Derajat Kecamatan Lamongan, Kabupaten Lamongan," pp. 1–19, 2018.
- [3] M. Fauzi, et al., "Analisis Penangkal Petir dan Luas Area yang Terproteksi Pada BTS," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology (AJEETECH)*, vol. 1, no. 1, pp. 23–28, 2021.
- [4] Riyanto, "Analisis Perancangan Sistem Pentanahan Grid Secara Optimal Pada Sistem Tenaga Listrik," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 01, pp. 55–64, 2021.
- [5] T. I. Rifa'i, S. Hani, dan Mujiman, "Analisis Sistem Pentanahan Dengan Kontruksi Berbentuk Kisi-Kisi (Grid) Pada Switchyard Gardu Induk 150 Kv Bantul," *Jurnal Elektrikal*, vol. 4, no. 2, pp. 73–79, 2017.
- [6] Rezi Andira, 2018. *Analisis Sistem Pentanahan Grid Pada Gardu Induk 2x500 MVA Galang*. Skripsi. Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara: Medan.
- [7] A. Santoso, A. Herawati, and Y. S. Handayani, "Analisis Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Gedung Lembaga Pemasarakatan Kelas Ila Bengkulu," *Jurnal Amplifie*, vol. 10, no. 2, pp. 28–33, 2020.
- [8] A. Riyanto and J. W. Simatupang, "Analisis Sistem Pentanahan Jaringan Gardu Induk 150 kV PT Bekasi Power Cikarang," *Ejournal Kajian Teknik Elektro (JKTE)*, vol. 4, no. 1, pp. 57–70, 1945.
- [9] Abrar Tanjung, "Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi Di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 12, no. 2, pp. 292–299, 2015.
- [10] Junaidi et al., "Analisis Tahanan Pentanahan pada Peralatan Gardu Induk PT. PLN (Persero) Banda Aceh," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology (AJEETECH)*, vol. 1, no. 1, pp. 18–22, 2021.
- [11] M. Suropto, A. Kiswanto, "Evaluasi Perencanaan Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kV Jabon Dengan Simulasi Software CYMGRD," *Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem & Komputer (JTECS)*, vol. 1, no. 2, pp. 137–148.
- [12] Muliadi, Syukuri, and Teuku Murisal Asyadi, "Pengaruh Tingkat Kelembaban Terhadap Kinerja Pemisah (PMS) 150 kV Pada Gardu Induk," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering (JIEEE)*, vol. 4, no. 1, pp. 92–98, 2022.
- [13] J. Jamaaluddin dan S. Sumarno, "Perencanaan Sistem Pentanahan Tenaga Listrik Terintegrasi Pada Bangunan," *Journal of Electrical and Electronic Engineering (JEEE-U)*, vol. 1, no. 1, pp. 29–33, 2017.
- [14] W. P. Widyarningsih, "Perubahan Konfigurasi Elektrode Pentanahan," *Jurnal Teknik Energi (EKSERGI)*, vol. 9, no. 2, pp. 47–51, 2013.
- [15] M. K. Hamid and S. Abubakar, "Sistem Pentanahan Pada Transformator Distribusi 20 kV di PT . PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon," *Journal of Electrical Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 13–16, 2016.