

STUDI PENGARUH TAHANAN JENIS TANAH DAN KONFIGURASI PENTANAHAN BATANG TERHADAP RESISTANSI PENTANAHAN GRID

Gabe Timotius Simbolon¹, Usman A. Gani², Managam Rajagukguk³

gtmansimbolon@gmail.com¹, usman.gani@ee.untan.ac.id², managam.rajagukguk@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Sistem pentanahan merupakan elemen penting dalam infrastruktur kelistrikan guna menjamin keselamatan manusia, melindungi peralatan, dan menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Efektivitas sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh konfigurasi elektroda serta jenis tanah tempat elektroda ditanam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis tanah dan konfigurasi sistem pentanahan batang (rod grounding) terhadap nilai resistansi pentanahan menggunakan metode perhitungan IEEE Std. 80-2013 dan simulasi ETAP 21.0 berbasis Finite Element Method (FEM). Tiga jenis tanah yang digunakan adalah tanah rawa, tanah liat dan tanah ladang, serta tanah pasir basah, dengan tiga konfigurasi batang, yaitu penempatan batang di setiap sudut grid, di sepanjang perimeter grid, dan pada bagian diagonal grid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai resistansi pentanahan. Tanah rawa menghasilkan resistansi terendah yaitu 0,2067 Ω berdasarkan perhitungan manual dan 0,192 Ω berdasarkan simulasi, sedangkan tanah pasir basah menghasilkan resistansi tertinggi yaitu 1,3784 Ω berdasarkan perhitungan manual dan 1,279 Ω berdasarkan simulasi. Dari segi konfigurasi, penempatan batang di sepanjang perimeter grid menunjukkan kinerja terbaik dalam menurunkan resistansi, baik dari hasil perhitungan manual maupun simulasi ETAP 21.0. Dengan demikian, pemilihan jenis tanah dan konfigurasi sistem pentanahan yang tepat menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas sistem pentanahan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perancangan sistem pentanahan yang efisien dan sesuai standar keamanan kelistrikan. **Kata Kunci:** Sistem Pentanahan, Resistansi Pentanahan, Konfigurasi Batang, Jenis Tanah, ETAP 21.0, IEEE Std. 80-2013.

ABSTRACT

Grounding systems are a crucial component of electrical infrastructure, ensuring human safety, protecting equipment, and maintaining the reliability of power systems. The effectiveness of a grounding system is significantly influenced by the configuration of the electrodes and the type of soil in which the electrodes are embedded. This study aims to analyze the impact of different soil types and rod grounding system configurations on grounding resistance values using calculations based on IEEE Std. 80-2013 and simulations in ETAP 21.0 utilizing the Finite Element Method (FEM). Three soil types are considered: marshy soil, clay/field soil, and wet sandy soil, with three rod configurations: placement at each corner of the grid, along the perimeter of the grid, and along the diagonal of the grid. The results indicate that soil type has a significant effect on the grounding resistance. Marshy soil yielded the lowest resistance value, measured at 0,2067 Ω based on manual calculations and 0.192 Ω based on simulations, while wet sandy soil resulted in the highest resistance, at 1,3784 Ω from manual calculations and 1.279 Ω from simulations. In terms of configuration, placing the rods along the perimeter of the grid demonstrated the best performance in reducing resistance, as shown by both manual and ETAP 21.0 simulation results. Therefore, the proper selection of soil type and grounding configuration plays a vital role in enhancing the effectiveness of grounding systems. These findings are expected to serve as a reference in designing efficient and safety-compliant grounding systems.

Keywords: Grounding System, Grounding Resistance, Rod Configuration, Soil Type, ETAP 21.0, IEEE Std. 80-2013.

PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik, sistem pentanahan (grounding system) memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin keselamatan manusia, melindungi peralatan listrik, serta memastikan keandalan operasi sistem. Sistem pentanahan dirancang untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah dengan resistansi sekecil mungkin guna mencegah potensi bahaya seperti sengatan listrik, kerusakan peralatan, serta gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, desain dan implementasi sistem pentanahan yang sesuai dengan standar menjadi hal yang krusial dalam berbagai instalasi listrik, baik untuk skala kecil maupun besar. Gangguan listrik seperti arus bocor, lonjakan tegangan akibat sambaran petir, serta gangguan hubung singkat dapat menimbulkan bahaya jika tidak ditangani dengan baik oleh sistem pentanahan yang efektif. Oleh karena itu, penerapan sistem pentanahan yang dirancang sesuai dengan standar internasional, seperti IEEE Std. 80-2013 dan IEC 60364, menjadi hal yang sangat penting dalam industri tenaga listrik.

Secara umum, nilai resistansi tanah serendah mungkin merupakan target dalam setiap sistem pentanahan, baik untuk fasilitas listrik skala kecil maupun besar. Struktur tanah, elektroda yang mengelilingi tanah, serta luas dan geometri elektroda memainkan peran penting dalam menentukan nilai resistansi tanah. Dalam perancangan sistem pentanahan untuk fasilitas listrik dengan spesifikasi khusus seperti gardu listrik tegangan tinggi, jalur kereta listrik, dan lain-lain, dimensi serta geometri sistem pentanahan (kisi, batang vertikal, pentanahan melingkar dengan strip logam, atau kombinasi dari elektroda tersebut) biasanya distandarisasi berdasarkan jenis konstruksi, atau disesuaikan dengan studi awal yang mempertimbangkan struktur tanah di lokasi yang bersangkutan.

Keberhasilan suatu sistem pentanahan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti jenis elektroda yang digunakan, konfigurasi sistem, serta karakteristik tanah tempat elektroda dipasang. Faktor resistivitas tanah menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan, mengingat tanah dengan resistivitas tinggi dapat menyebabkan sistem pentanahan kurang efektif dalam mengalirkan arus gangguan. Oleh karena itu, pemilihan metode dan konfigurasi pentanahan yang sesuai, seperti penggunaan batang pentanahan vertikal, jaringan pentanahan horizontal, atau kombinasi keduanya, sangat diperlukan untuk memastikan kinerja sistem yang optimal, terutama dalam mencegah arus gangguan yang besar dan menjaga stabilitas sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis sistem pentanahan dengan mempertimbangkan faktor desain, karakteristik tanah, serta penggunaan teknologi terbaru guna meningkatkan kinerja sistem. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh solusi yang lebih optimal dalam perancangan dan implementasi sistem pentanahan, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental numerik menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak ETAP 21.0 dan melalui perhitungan analitis dengan standar IEEE Std. 80-2013. Bahan penelitian yang digunakan merupakan bentuk sistem pentanahan grid berukuran 70×70 m dengan batang vertikal (3 m) ditanam pada kedalaman 0,5 m. Dengan variabel jenis tanah yang di uji yaitu tanah rawa (30 Ω m), Tanah Liat & Ladang (100 Ω m), Tanah Pasir Basah (200 Ω m). Konfigurasi batang: Sudut grid (4 batang), Diagonal grid (11 batang), Perimeter grid (40 batang).

Perhitungan

a) Luas grid

Luas pentanahan grid dapat dihitung menggunakan persamaan 1 berikut.

$$A = L_x \times L_y \quad (1)$$

Dimana:

A = Luas pentanahan grid (m²)

L_x = Panjang sisi X grid (m)

L_y = Panjang sisi Y grid (m)

b) Total panjang konduktor yang ditanam

Total panjang konduktor yang ditanam pada sistem pentanahan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$L_T = L_C + L_R \quad (2)$$

Dimana:

L_T = Total panjang konduktor yang ditanam (m)

L_C = Total panjang konduktor pentanahan grid (m)

L_R = Total panjang konduktor rod (m)

Panjang konduktor rod yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 3 m

c) Tahanan pentanahan grid

Tahanan pentanahan grid dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

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

Dimana :

R_g = Tahanan pentanahan grid (Ω)

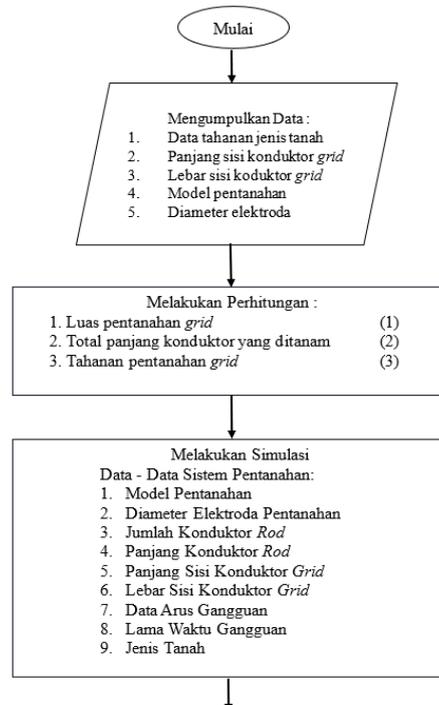
A = Luas pentanahan grid (m²)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L_T = Total panjang konduktor yang ditanam (m)

h = Kedalaman penanaman konduktor (m)

Flowchart





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan

Tabel 1. Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan

<i>Configuration</i>	<i>Tanah Rawa</i> (Ω)	<i>Tanah Liat</i> (Ω)	<i>Tanah Pasir Basah</i> (Ω)
<i>Diagonal (11 rods)</i>	0,3276	1,0920	1,3784
<i>Sudut (4 rods)</i>	0,7844	1,2638	1,5128
<i>Perimeter (40 rods)</i>	0,2067	0,6891	0,9644

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa konfigurasi sistem pentanahan secara signifikan memengaruhi resistansi yang dihasilkan, terutama dalam konteks variasi tahanan jenis tanah. Berdasarkan standar IEEE Std. 80-2013 yang merekomendasikan resistansi di bawah 1Ω , konfigurasi dengan penempatan rod di sepanjang perimeter grid terbukti paling efektif, khususnya pada tanah dengan konduktivitas tinggi seperti tanah rawa ($0,2067 \Omega$) dan tanah liat/ladang ($0,6892 \Omega$). Sebaliknya, pada tanah pasir basah yang memiliki resistivitas tinggi, resistansi tetap berada di atas batas standar ($1,3784 \Omega$), mengindikasikan perlunya strategi tambahan.

Efektivitas konfigurasi perimeter terutama disebabkan oleh distribusi elektroda yang lebih merata, sehingga memperluas jalur pelepasan arus gangguan ke tanah. Dibandingkan dengan konfigurasi diagonal dan sudut, model ini secara konsisten menunjukkan resistansi lebih rendah. Meskipun kedua konfigurasi alternatif masih menghasilkan resistansi yang memenuhi standar pada jenis tanah dengan resistivitas rendah, kinerjanya menurun pada tanah berresistansi tinggi.

Dengan demikian, pemilihan konfigurasi sistem pentanahan harus mempertimbangkan karakteristik tanah. Perimeter grid direkomendasikan untuk lokasi dengan tanah konduktif, sementara tanah dengan resistansi tinggi memerlukan modifikasi tambahan seperti penggunaan elektroda lebih panjang atau bahan aditif penghantar untuk memastikan efektivitas sistem sesuai standar keselamatan kelistrikan.

Hasil Simulasi

Tabel 2. Hasil Simulasi Resistansi Pentanahan

<i>Configuration</i>	<i>Tanah Rawa</i> (Ω)	<i>Tanah Liat</i> (Ω)	<i>Tanah Pasir Basah</i> (Ω)
<i>Diagonal</i>	0,312	1,047	1,279
<i>Sudut</i>	0,753	1,213	1,432
<i>Perimeter</i>	0,192	0,655	0,903

Hasil simulasi menunjukkan bahwa efektivitas konfigurasi sistem pentanahan bervariasi tergantung jenis tanah, dengan model perimeter grid secara konsisten menghasilkan resistansi paling rendah di setiap kondisi.

Pada tanah rawa (resistivitas rendah), perimeter grid mencatat resistansi terendah sebesar 0,192 Ω , unggul tipis dari konfigurasi diagonal dan sudut (keduanya 0,197 Ω). Meskipun selisihnya kecil (0,005 Ω), ini menunjukkan bahwa distribusi elektroda yang lebih luas meningkatkan efisiensi disipasi arus gangguan secara signifikan dalam tanah yang sangat konduktif.

Pada tanah liat dan ladang (resistivitas sedang), efektivitas perimeter grid tetap dominan dengan nilai resistansi 0,640 Ω , dibandingkan sudut grid (0,655 Ω) dan diagonal grid (0,657 Ω). Selisih yang mencapai 0,017 Ω menegaskan bahwa penyebaran elektroda yang menyeluruh di sepanjang perimeter grid mampu mengoptimalkan pelepasan arus gangguan, bahkan pada tanah dengan konduktivitas menengah.

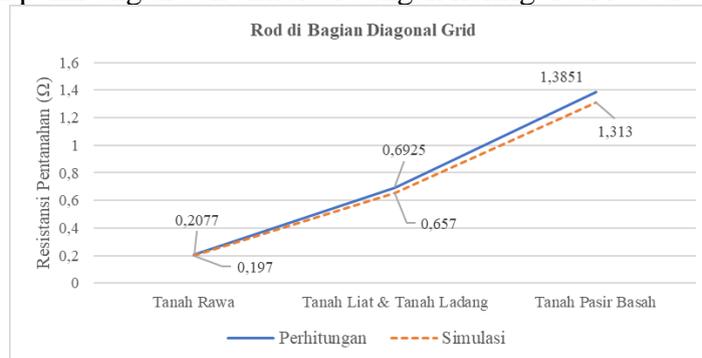
Sementara itu, pada tanah pasir basah (resistivitas tinggi), perimeter grid tetap menunjukkan kinerja terbaik (1,279 Ω), meskipun perbedaannya tidak terlalu mencolok dibandingkan model sudut (1,311 Ω) dan diagonal (1,313 Ω). Ini mengindikasikan bahwa pada tanah dengan daya hantar listrik rendah, konfigurasi perimeter masih lebih efisien, meskipun dibutuhkan strategi tambahan untuk mencapai resistansi ideal.

Secara keseluruhan, konfigurasi perimeter grid merupakan pilihan paling efektif untuk semua jenis tanah, dan tanah rawa menjadi medium paling mendukung dalam mendesain sistem pentanahan karena konsisten memberikan resistansi terendah di setiap model.

Analisa Perbandingan Antara Perhitungan dan Simulasi

Analisis perbandingan antara perhitungan manual dan simulasi dilakukan untuk menelusuri penyebab perbedaan nilai resistansi pentanahan yang dihasilkan oleh kedua metode, khususnya dalam konteks variasi jenis tanah dan konfigurasi elektroda batang. Tujuannya bukan menentukan metode yang lebih akurat, melainkan memahami pengaruh asumsi teoritis, parameter input, dan batasan model simulasi terhadap hasil akhir. Pemahaman ini penting untuk menginterpretasikan hasil perhitungan dan simulasi secara lebih komprehensif, serta menilai bagaimana karakteristik tanah dan desain sistem pentanahan memengaruhi performa grounding secara keseluruhan.

a) Perbandingan perhitungan dan simulasi dengan konfigurasi rod di dalam diagonal grid

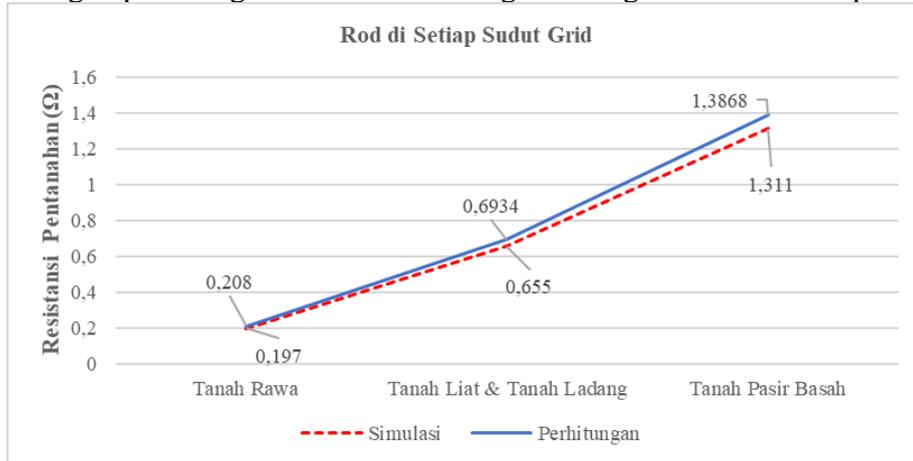


Gambar 2. Grafik perbandingan pada konfigurasi rod di dalam diagonal grid

Berdasarkan Gambar 2 di atas, terdapat perbedaan antara nilai resistansi tanah yang diperoleh dari perhitungan manual dan hasil simulasi. Untuk tanah rawa, nilai resistansi berdasarkan perhitungan adalah 0,2077 Ω , sedangkan hasil simulasi menunjukkan 0,197 Ω , dengan selisih sebesar 0,0107 Ω . Pada tanah liat & tanah ladang, nilai perhitungan sebesar 0,6925 Ω , sedangkan simulasi menghasilkan 0,657 Ω , sehingga selisihnya mencapai 0,0355 Ω . Sementara itu, untuk tanah pasir basah, perhitungan menunjukkan nilai resistansi 1,3851 Ω , sedangkan hasil simulasi lebih kecil, yaitu 1,313 Ω , dengan selisih 0,0721 Ω . Dari data ini, terlihat bahwa hasil simulasi selalu sedikit lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan manual, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor

seperti pendekatan numerik dalam simulasi atau asumsi yang digunakan dalam model perhitungan.

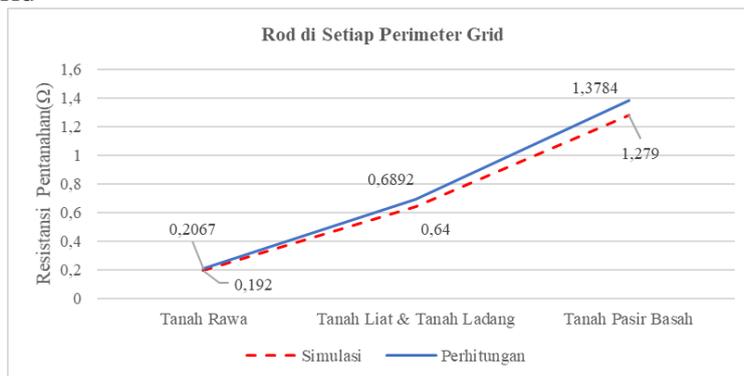
b) Perbandingan perhitungan dan simulasi dengan konfigurasi rod di setiap sudut grid



Gambar 3. Grafik perbandingan pada konfigurasi rod di setiap sudut grid

Berdasarkan Gambar 3, terdapat perbedaan antara nilai resistansi tanah yang diperoleh dari perhitungan manual dan hasil simulasi. Untuk tanah rawa, nilai resistansi berdasarkan perhitungan adalah 0,208 Ω, sedangkan hasil simulasi menunjukkan 0,197 Ω, dengan selisih sebesar 0,011 Ω. Pada tanah liat & tanah ladang, nilai perhitungan menunjukkan resistansi 0,6934 Ω, sementara hasil simulasi lebih kecil, yaitu 0,655 Ω, sehingga terdapat selisih 0,0384 Ω. Sementara itu, untuk tanah pasir basah, nilai resistansi berdasarkan perhitungan adalah 1,3868 Ω, sedangkan simulasi menghasilkan 1,311 Ω, dengan selisih 0,0758 Ω. Dari data ini, dapat dilihat bahwa hasil simulasi cenderung lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan manual. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh pendekatan numerik dalam simulasi, faktor ketelitian perhitungan, atau asumsi yang digunakan dalam perhitungan.

c) Perbandingan perhitungan dan simulasi dengan konfigurasi rod di sepanjang perimeter grid



Gambar 4. Grafik perbandingan pada konfigurasi rod di sepanjang perimeter grid

Berdasarkan Gambar 4, yang ditampilkan, terdapat perbedaan antara nilai resistansi tanah yang diperoleh dari perhitungan manual dan hasil simulasi. Untuk tanah rawa, nilai resistansi berdasarkan perhitungan adalah 0,2067 Ω, sedangkan hasil simulasi menunjukkan 0,192 Ω, dengan selisih sebesar 0,0147 Ω. Pada tanah liat & tanah ladang, nilai perhitungan menunjukkan resistansi 0,6892 Ω, sementara hasil simulasi lebih kecil, yaitu 0,640 Ω, sehingga terdapat selisih 0,0492 Ω. Sementara itu, untuk tanah pasir basah, nilai resistansi berdasarkan perhitungan adalah 1,3784 Ω, sedangkan simulasi

menghasilkan 1,279 Ω , dengan selisih 0,0994 Ω . Dari data ini, dapat dilihat bahwa hasil simulasi cenderung lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan manual.

Dalam penelitian ini, hasil perhitungan dan simulasi resistansi pentanahan dibandingkan untuk melihat sejauh mana keduanya selaras. Perlu ditekankan bahwa metode yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi berbeda. Perhitungan dilakukan menggunakan metode IEEE Std. 80-2013, sedangkan simulasi menggunakan metode Finite Element Method (FEM).

Secara umum, hasil dari kedua metode ini tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, perbedaan kecil tetap ada, dan ini wajar mengingat pendekatan yang digunakan memang berbeda. Metode IEEE Std. 80-2013 didasarkan pada rumus empiris yang telah dikembangkan dari berbagai eksperimen dan pengalaman praktis, sementara metode FEM bekerja dengan membagi sistem menjadi elemen-elemen kecil untuk mensimulasikan kondisi di lapangan dengan lebih detail.

Selain itu, perbedaan ini juga bisa disebabkan oleh adanya faktor koreksi dalam metode FEM. Metode ini sering kali mempertimbangkan aspek tambahan seperti ketidakseragaman tanah, distribusi arus yang lebih kompleks, atau faktor geometri yang mungkin tidak sepenuhnya tercakup dalam metode IEEE Std. 80-2013. Dengan kata lain, meskipun hasilnya serupa, variasi kecil ini adalah sesuatu yang wajar dan memang bisa terjadi tergantung pada pendekatan yang digunakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan melalui pendekatan perhitungan manual menggunakan standar IEEE Std. 80-2013 dan simulasi numerik berbasis metode Finite Element Method (FEM) dalam perangkat lunak ETAP 21.0, dapat disimpulkan bahwa baik jenis tanah maupun konfigurasi sistem pentanahan batang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap resistansi pentanahan. Jenis tanah terbukti menjadi faktor dominan, di mana tanah rawa yang memiliki konduktivitas tinggi menghasilkan resistansi paling rendah di seluruh konfigurasi sistem, diikuti oleh tanah liat dan ladang, serta tanah pasir basah sebagai jenis tanah dengan resistansi tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa parameter fisis dan kimiawi tanah, seperti kandungan air dan mineral, sangat menentukan efektivitas pelepasan arus gangguan ke dalam tanah.

Selain itu, konfigurasi sistem pentanahan juga memberikan kontribusi penting dalam menentukan nilai resistansi. Di antara tiga konfigurasi yang diuji penempatan batang secara diagonal, di sudut, dan di sepanjang perimeter grid konfigurasi perimeter grid menunjukkan performa paling optimal. Penyebaran elektroda yang merata di seluruh sisi grid mampu memperluas jalur disipasi arus, sehingga resistansi pentanahan dapat ditekan secara signifikan, baik pada tanah dengan resistivitas rendah maupun tinggi. Sebagai ilustrasi, pada tanah rawa, resistansi yang dihasilkan oleh konfigurasi perimeter mencapai 0,192 Ω (simulasi), lebih rendah dibandingkan konfigurasi diagonal dan sudut yang masing-masing berada pada 0,197 Ω .

Perbandingan antara hasil perhitungan manual dan simulasi menunjukkan adanya deviasi kecil, dengan hasil simulasi cenderung lebih rendah. Perbedaan ini masih dalam batas wajar dan dapat dijelaskan oleh sifat dasar dari masing-masing metode. Perhitungan manual menggunakan pendekatan empiris dan asumsi idealisasi sistem, sedangkan simulasi FEM memberikan representasi lebih kompleks dan realistis karena mempertimbangkan faktor-faktor seperti geometri grid, ketidakseragaman karakteristik tanah, serta distribusi arus non-linear. Oleh karena itu, integrasi antara pendekatan analitis dan numerik disarankan dalam proses perancangan sistem pentanahan guna mencapai hasil yang optimal, efisien, dan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

G. A. Adegboyega and K. O. Odeyemi, "Assessment of Soil Resistivity on Grounding of Electrical Systems: A Case Study of North-East Zone, Nigeria," *J. Acad. Appl. Stud.*, vol. 1, no. 3, pp.

- 28–38, 2011.
- V. P. Androvitsaneas, K. D. Damianaki, C. A. Christodoulou, and I. F. Gonos, “Effect of soil resistivity measurement on the safe design of grounding systems,” *Energies*, vol. 13, no. 12, p. 3170, 2020, doi: 10.3390/en13123170.
- W. Sudiartha, I. K. T. A., and I. G. N. Sangka, “Analisis Pengaruh Jenis Tanah terhadap Besarnya Nilai Tahanan Pentanahan,” *J. Log.*, vol. 16, no.1, pp.35–39,2016.
- Jaka Persada Sembiring and Gading Dwi Arianto, “Analisis Perbandingan Pengaruh Nilai tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis Tanah, Kelembapan Tanah dan Temperatur Tanah (Studi Kasus : Desa Merak Belantung, Kecamatan Kalianda, Lampung Selatan, Lampung),” *J. ICTEE*, vol. 3, no. 2, pp. 11–19, 2021.
- J. T. Elektro and P. N. Lhokseumawe, “Peran Tahanan Pentanahan Pada Peralatan Listrik,” vol. 18, no. 1, pp. 28–33, 2021.
- J. W. Perng, Y. C. Kuo, and S. P. Lu, “Grounding system cost analysis using optimization algorithms,” *Energies*, vol. 11, no. 12, pp. 1–19, 2018, doi: 10.3390/en11123484.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan dan Pemanfaatan Energi, 2000.
- Hutauruk, T. S., & Soantahon, T. (1991). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- Pranoto, A., & Hans, T, “Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi).” *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3), 189–198, 2018.
- Sunarhati, M, “Perhitungan Tahanan Pentanahan Gardu Di Griya Kaswaripalembang.” *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 30–41, 2017.
- Kurnia, H, “Evaluasi Keamanan pada Sistem Pentanahan gardu Induk 150 kV Jajar.” *Jurnal Tugas Akhir*, 2014.
- B. Purnomo and T. Haryono, "Penentuan Daerah Perlindungan Batang Petir," 2015.
- IEEE Std 80-2013; IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: New York, NY, USA, 2013.
- V. Salamena, “Pengaruh Kedalaman Elektroda Terhadap Pengukuran Tahanan Jenis: Tanah, Pasir Dan Air Laut Di Pulau Ambon Dengan Konfigurasi Wenner Alfa,” *J. Simetrik*, vol. 8, no. 1, pp. 93–100, 2018, doi: 10.31959/js.v8i1.75..