

Perancangan Sistem Pentanahan Pada Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Bengkulu Dengan Metode *Two-Layer Soil Vertical Rod Configuration*

Roby Janaris Pakpahan¹, Afriyastuti Herawati^{1*}, Yuli Rodiah¹, Ika Novia Anggraini¹

¹Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu

*E-mail: afriyastuti_herawati@unib.ac.id

ABSTRACT

The earthing system is a very important protection system in electrical installation because it functions to channel excess current into the ground so that it can protect people and buildings and their electrical equipment. Grounding impedance is influenced by current injection, grounding configuration, and factors that influence the ground. The grounding system uses a two-layer soil vertical rod configuration method with frequency injection and variations in cylinder diameter to analyze the impedance of the grounding system. This modification is carried out by filling soil in a cylindrical grounding rod with varying diameters of 20 cm, 30 cm, and 40 cm with a fixed length of 1 m. The soil used to fill the cylinder is clay taken from a brick press. With the cylinder, two layers of soil are created in the cylinder and around the cylinder. The type of soil in the clay cylinder and the soil around the cylinder is the soil behind the laboratory which has a varied composition. The grounding rod was injected with a frequency range of 50 Hz -2 MHz, research results showed fluctuations in grounding resistance and impedance values. Cylinder rod modification and frequency injection affect the resistance and impedance values. The smallest impedance is in a cylindrical rod with a diameter of 40 cm and the largest is in a cylindrical rod with a diameter of 20 cm. The resistive, inductive, and capacitive properties depend on the injection frequency.

Keywords: earthing system, impedance, two-layer soil

ABSTRAK

Sistem pembumian adalah sistem proteksi yang sangat penting dalam instalasi listrik, karena berfungsi menyalurkan arus lebih ke dalam tanah, sehingga dapat mengamankan manusia dan gedung beserta peralatan listriknya. Impedansi pentanahan dipengaruhi oleh injeksi arus, konfigurasi pentanahan, dan faktor-faktor yang mempengaruhi tanah. Sistem pentanahan menggunakan metode two-layers soil vertical rod configuration dengan injeksi frekuensi dan variasi diameter silinder dilakukan untuk menganalisis impedansi sistem pentanahan. Modifikasi ini dilakukan dengan mengisi tanah di dalam grounding rod yang dibentuk

silinder dengan variasi diameter 20 cm, 30 cm dan 40 cm dengan panjang tetap 1 m. Tanah yang digunakan pada pengisian silinder ialah tanah liat yang diambil dari percetakan batu bata, dengan adanya silinder maka terciptanya tanah dua lapis didalam silinder dan disekitar silinder. Jenis tanah didalam silinder tanah liat dan tanah disekitar silinder adalah tanah dibelakang laboratorium yang memiliki komposisi yang beragam. Batang grounding diinjeksi rentang frekuensi 50 Hz -2 MHz, hasil penelitian menunjukkan fluktuasi nilai resistansi dan impedansi pentanahan. Modifikasi batang silinder dan injeksi frekuensi mempengaruhi nilai resistansi dan impedansi. Impedansi paling kecil adalah pada batang silinder diameter 40 cm dan yang paling besar pada batang silinder diameter 20 cm. Sifat resistif, induktif dan kapasitif bergantung pada frekuensi injeksi.

Kata kunci : impedansi pentanahan, system pentanahan, two-layer soil

1. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan merupakan sistem perlindungan yang sangat penting dalam instalasi listrik karena berfungsi untuk menyalurkan arus lebih ke dalam tanah, sehingga dapat mengamankan manusia serta gedung beserta perlengkapannya [1]. Mengingat pentingnya sistem pentanahan tersebut maka sistem pentanahan harus dirancang, dipasang dan dipelihara dengan baik terutama untuk mengamankan peralatan listrik yang ada di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Hal ini dikarenakan sering terjadinya petir di Bengkulu yang beresiko dapat merusak peralatan labor. Perancangan sistem pentanahan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti modifikasi sistem pentanahan dengan konfigurasi vertikal, konfigurasi horizontal dan dengan memberikan treatment kedalam tanah[2].

Sistem pentanahan dipengaruhi oleh konfigurasi tanah dan karakteristik tanah sekitar sistem pentanahan tersebut [3]. Untuk mendapatkan nilai pentanahan yang ideal dibutuhkan penerapan sistem pentanahan yang sesuai dengan kondisi kebutuhan dengan memperhatikan wilayah, jenis tanah, komposisi tanah, kelembapan dan

pengaruh kandungan kimianya [4]. Mekanisme konfigurasi sistem pentanahan berdasarkan kebutuhan dan kondisi wilayah penanaman batang pentanahan. Rancangan sistem pentanahan konfigurasi horizontal dilakukan dengan menghubungkan konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala/mesh (grid), konfigurasi vertikal menggunakan elektroda batang besi yang dilapisi tembaga dipancang tegak lurus dibawah tanah [5][6].

Penentuan konfigurasi pentanahan berdasarkan kebutuhan proteksi dan wilayah pada sistem pentanahan, pada wilayah yang luas dapat dilakukan sistem pentanahan horizontal (grid/mesh) dan untuk wilayah proteksi yang relatif sempit sistem pentanahan dirancang secara vertikal (rod) [7]. Perancangan sistem pentanahan dalam instalasi listrik dilakukan dengan pengujian tanah untuk mengetahui kondisi tanah, pengujian dilakukan harus disesuaikan dengan standart yang berlaku. Banyak organisasi mengeluarkan rekomendasi dan standart untuk sistem pentanahan sebagai proteksi seperti NEC (*National Electric Code*), ANSI (*American National Standart Institute*), TIS (*Telecommunications Industry Standard*) dan IEEE [8]. Nilai pentanahan dipengaruhi oleh jenis tanah dan komposisi tanahnya, sistem pentanahan yang dilakukan pada tanah yang tidak homogen akan mempengaruhi nilai pentanahannya, dikarenakan konstanta listrik tanah yang berbeda-beda, nilai permitivitas dan resistivitas tanah maka diperlukan modifikasi untuk menjaga nilai pentanahan tetap stabil [9]. Analisis menggunakan metode *Two-layer Soil Vertical Rod Configuration* ini mengetahui sifat tanah dalam suatu rangkaian pentanahan baik itu resistif, induktif maupun kapasitif [10]. Pengujian dilakukan dengan mengubah-ubah besaran frekuensi yang bertujuan untuk mengukur respon sistem pentanahan terhadap gangguan berfrekuensi tinggi, seperti petir atau gangguan lainnya yang mungkin menyebabkan efek elektromagnetik berfrekuensi tinggi [11].

Faktor nilai impedansi dipengaruhi oleh kondisi tanah, konduktivitas bahan sistem pentanahan, kedalaman elektroda pentanahan, kualitas grounding, inspeksi dan pemeliharaan sistem pentanahan. Dengan mengetahui struktur dan karakteristik tanah maka evaluasi dan perencanaan sistem pentanahan akan diperoleh hasil yang optimal. Nilai tahanan jenis tanah berbeda-beda untuk setiap jenis tanah bergantung salah satunya pada komposisi tanah. Komposisi tanah di Indonesia pada umumnya terdiri dari struktur lapisan tanah dengan lapisan atas humus dan pasir, lapisan tengah tanah lempung dan lanau, lapisan bawah tanah liat, dan laterit yang memiliki kandungan zat besi dan alumunium yang tinggi [12][13].

Dengan penerapan metode *Two-layers Soil Vertical Rod Configuration*, dapat diasumsikan bahwa variasi konfigurasi sistem pentanahan baik secara horizontal maupun vertikal, akan mempengaruhi signifikan terhadap nilai resistansi dan impedansi tanah.

Selain itu, modifikasi sistem pentanahan dengan mempertimbangkan jenis tanah, komposisi tanah dan variasi frekuensi dapat menjadi strategi efektif untuk menjaga nilai resistansi tetap stabil dalam menghadapi gangguan berfrekuensi tinggi, seperti petir atau gangguan elektromagnetik lainnya. Karena dengan system pentanahan yang ada tidak mempertimbangkan struktur lapisan tanah[14]. Oleh karena itu penelitian mengenai Perancangan Sistem Pentanahan Pada Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Bengkulu Dengan Metode *Two-Layer Soil Vertical Rod Configuration* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proteksi sistem pentanahan dalam instalasi listrik.

2. KERANGKA TEORITIS

A. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan ialah sistem penghubung penghantar yang mengaitkan sistem, peralatan, dan instalasi dengan bumi atau tanah, bertujuan untuk melindungi manusia dari sengatan listrik serta menjaga komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus yang abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi sangat penting dan merupakan bagian esensial dari sistem tenaga listrik [14].

Agar sistem pentanahan dapat beroperasi dengan efisien, perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Membangun jalur impedansi rendah ke tanah untuk melindungi personel dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efisien.
2. Mampu menahan dan menyebarkan arus gangguan serta efek dari arus hubung (surge currents).
3. Menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi dalam berbagai kondisi kimia tanah, untuk memastikan keberlanjutan kinerjanya selama umur perlengkapan yang dilindungi[15].

B. Konfigurasi Pentanahan

Dalam sistem pentanahan untuk mendapatkan nilai pentanahan yang baik (ideal) dibutuhkan penerapan sistem pentanahan yang sesuai dengan kondisi kebutuhan dengan memperhatikan wilayah, jenis tanah, komposisi tanah, kelembapan dan pengaruh kandungan kimianya. Maka perlu penyesuaian konfigurasi sesuai kebutuhan. Adapun beberapa konfigurasi dalam sistem pentanahan antara lain:

1. Konfigurasi Grid
Pembumian dengan *mesh* atau *grid* ialah teknik pembumian di mana kawat konduktor elektroda dipasang di bawah tanah secara membujur dan melintang. Kawat ini dihubungkan satu sama lain di setiap lokasi sehingga membentuk jala.
2. Konfigurasi Rod
Grounding rod system adalah sistem pembumian dengan elektroda batang dari pipa besi atau pipa baja yang dilapisi tembaga dan dipancangkan di tanah secara tegak..

3. Konfigurasi Grid-Rod (Gabungan)
Grid-rod adalah kombinasi sistem pembumian *mesh* yang diperpadukan yang menggunakan lebih banyak batang rod pada titik tertentu untuk mengurangi tahanan pembumian [16].

C. Metode Pemodelan Pentanahan

Umumnya bumi terbuat dari sifat dan komposisi tanah yg berbeda, Kinerja sistem pentanahan secara menyeluruh berkaitan erat dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya. Efektivitas sistem pentanahan dipengaruhi oleh keakuratan penggunaan elektroda pentanahan, karena elektroda pentanahan merupakan komponen utama dalam sistem tersebut. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan analitis untuk menganalisis metode mana yang tepat dan agar dapat mengetahui desain sistem pentanahan, nilai-nilai ini biasanya berbeda pada permukaan tanah dari lapisan ke lapisan yang dapat mempengaruhi efektifitas sentuhan dan potensial langkah dan tahanan pentanahan.

Adapun beberapa metode pentanahan diantaranya yaitu :

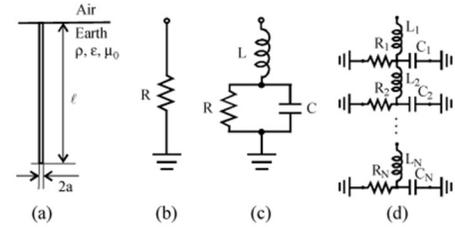
1. Metode Pemodelan Satu Lapisan Tanah (Homogen)
 Metode ini biasanya dilakukan dengan terlebih dahulu melihat karakteristik tanah dan dilakukan pengujian resistansi tanah dengan menggunakan earthtester atau multitester. Jika dari pengujian di dapatkan hasil yang kecil dan sudah mendapatkan sesuai standard PUIL 2011. Maka pentanahan dengan satu lapisan tanah dapat dirancang.

2. Metode Pemodelan Dua Lapisan Tanah
 Pemodelan dua lapisan tanah dilakukan jika terjadi pengujian tanah satu lapisan (homogen) nilai resistansi yang masih besar, maka diperlukan modifikasi pentanahan. Modifikasi pentanahan dapat difungsikan melalui penambahan lapisan tanah, penambahan zat seperti garam, arang dan lain sebagainya. Modifikasi pentanahan dilakukan demi mendapat nilai resistansi yang baik dan ideal [17].

D. Impedansi Pentanahan

Impedansi pentanahan (*grounding impedance*) adalah ukuran resistansi yang terjadi pada sistem pentanahan. Pentanahan (*grounding*) adalah proses menghubungkan suatu sistem atau peralatan listrik ke bumi secara fisik melalui penggunaan konduktor pentanahan (*grounding conductor*) [16]. Impedansi pentanahan menggambarkan hambatan yang dihadapi oleh arus yang mengalir melalui sistem pentanahan saat terjadi gangguan atau hubungan arus pendek. Impedansi pentanahan tergantung pada beberapa faktor, termasuk karakteristik konduktor pentanahan yang digunakan, resistivitas tanah di sekitar sistem pentanahan, dan geometri konduktor pentanahan tersebut. Semakin rendah impedansi pentanahan, semakin baik sistem pentanahan dalam mengalirkan arus gangguan ke bumi.

Impedansi pentanahan harus dijaga pada tingkat yang rendah untuk memastikan keselamatan sistem listrik. Dengan menjaga impedansi pentanahan yang rendah, potensial bumi sistem listrik dapat tetap stabil, sehingga risiko terjadinya tegangan berbahaya pada peralatan dan perlindungan terhadap arus hubung singkat dapat tercapai. Impedansi pentanahan dapat dikurangi dengan memperpanjang batang pentanahan. Ini mengurangi resistansi tetapi meningkatkan induktansi batang pentanahan. Impedansi pentanahan juga dapat dikurangi dengan memperbesar diameter batang. Nilai impedansi pentanahan berbeda pada saat diinjeksikan pada frekuensi rendah dan tinggi, dimana impedansi pada frekuensi tinggi lebih tinggi dibandingkan pada frekuensi rendah karena induksi sistem pentanahan lebih dominan dibandingkan resistansi dan rangkaian ekivalennya tidak hanya resistansi, tetapi juga induktansi dan kapasitansi. Rancangan rangkaian ekivalen sistem pentanahan untuk frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) Elektroda pembumian, (b)Rangkaian ekivalen pada frekuensi rendah, (c) Rangkaian ekivalen pada frekuensi tinggi, (d) Parameter distribusi pada frekuensi tinggi [18]

Jika grounding rod diinjeksi arus frekuensi tinggi, maka rangkaian ekivalennya harus terdiri dari induktor (L) seri dengan resistor (R) dan diparalelkan dengan kapasitor (C), seperti terlihat pada Gambar 2. (c). Untuk menghitung nilai R,C dan L maka dapat dilihat pada persamaan 1-3 [19].

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \log \frac{2l}{r} \quad (1)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\log \frac{2l}{r}} \quad (2)$$

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \log \frac{2l}{r} \quad (3)$$

Maka dapat dilakukan perhitungan impedansi ground rod dengan modifikasi batang pentanahan dua lapisan tanah, dimana resistivitas lapisan dalam lebih rendah dari salah satu lapisan luar.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{b}{\alpha} \quad (4)$$

$$C = \epsilon_0\epsilon_r \frac{2\pi l}{\ln \frac{b}{\alpha}} \quad (5)$$

$$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln \frac{b}{\alpha} \quad (6)$$

dengan :

- R = Ketahanan tanah (Ω)
- ϵ_0 = Permittivitas (F/m)
- α = Jari-jari elektroda (m)
- ρ = Resistivitas tanah (Ωm)
- ϵ_r = Permittivitas tanah (F/m)
- l = Panjang batang (m)
- C = Kapasitansi tanah (F)
- L = Induktansi tanah (H)
- b = Diameter silinder (m)
- μ_0 = Permeabilitas udara (H/m)

Berdasarkan Rumus diatas maka persamaan impedansi dengan *two-layer soil* dirumuskan pada persamaan 7-9 [7].

$$X_L = j\omega L \quad (7)$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (8)$$

$$Z_t = Z_L + \frac{R \cdot Z_C}{R + Z_C} \quad (9)$$

Dimana :

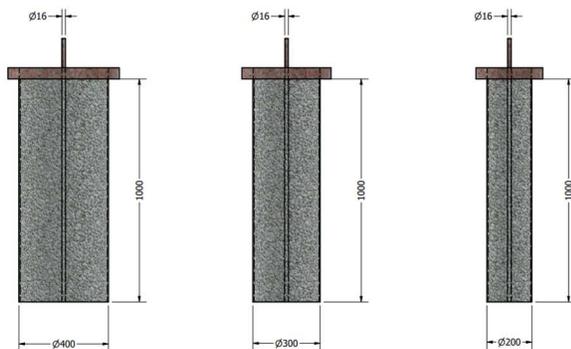
- Z_L = bagian Impedansi induktif (Ω)
- Z_C = bagian impedansi kapasitif (Ω)
- Z_T = impedansi total
- ω = kecepatan sudut (rad/s)
- L = Nilai Induktansi (H)
- C = nilai kapasitansi (F)
- R = nilai resistansi (Ω)

3. METODE RISET

A. Perancangan Sistem Pentanahan

1. Perancangan Silinder

Silinder atau tabung digunakan sebagai pembatas lapisan tanah, antara tanah peletakan batang elektroda dengan keseluruhan tanah groudning. Silinder yang digunakan dengan berbahan aluminium dengan tebal 1.2 mm dengan variasi diameter tabung. Variasi diameter tabung yang diperlukan adalah 20 cm, 30 cm, 40cm dan Panjang tabung tetap 100 cm. Desain tabung dapat dilihat pada Gambar (2) dan Gambar (3).



Gambar 2. Desain tabung sistem pentanahan dengan variasi diameter



Gambar 3. Desain pentanahan tampilan 2 lapisan tanah

2. Tanah Lab Terpadu Fakultas Teknik dan Tanah Liat Sebagai alternatif, tanah dengan konduktivitas yang lebih tinggi, seperti tanah berpasir, tanah berkerikil, atau tanah vulkanik, lebih umum digunakan untuk grounding yang efektif. Tanah yang digunakan dalam sistem pentanahan kali ini menggunakan jenis tanah liat dan tanah yang ada disekitar laboratorium terpadu Fakultas Teknik. Tanah liat umumnya memiliki nutrisi yang tinggi dan mampu menyimpan air yang baik. Nilai resistansi jenis tanah sangat berbeda-beda tergantung pada jenis tanah, untuk informasi rata-rata nilai resistansi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai rata-rata tahanan jenis tanah

No	Jenis Tanah	Resistansi (Ωm)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan ladang	100
3	Pasir	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan Kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

B. Pengujian dan Analisis Data

Grounding dipasang dengan cara menggali sumur pentanahan sedalam 1 meter dengan menyesuaikan diameter masing-masing tabung pentanahan. Silinder atau tabung pentanahan yang diisi tanah liat dan tanah yang ada pada laboratorium terpadu fakultas teknik yang sudah ditancapkan elektroda batang, setelah itu tabung ditanam dalam sumur pentanahan. Metode penelitian melakukan perhitungan X_L, X_C, Z dan pengukuran resistansi tanah. Metode yang digunakan adalah metode tiga titik (*Three point method*). Pengukuran dilakukan di tanah yang ada disekitar laboratorium terpadu fakultas Teknik dan tanah liat yang digunakan untuk membentuk batu bata.

Metode tiga titik digunakan untuk melakukan pengukuran dengan menginjeksi arus AC dengan frekuensi yang berbeda dari 50 Hz hingga 2 MHz. Elektroda uji (X) dan elektroda arus (Z) dihubungkan menggunakan generator function, yang menimbulkan perbedaan potensial antara elektroda uji (X) dan elektroda tegangan (Y). Jarak antara elektroda bantu (Y) dan elektroda utama (X) dan antara elektroda bantu (Y) dan elektroda arus (Z) diatur menjadi 5 m.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Modifikasi Sistem Pentanahan

Tujuan dari modifikasi sistem grounding rod dengan dua lapisan tanah berbeda adalah agar mengetahui karakteristik impedansi grounding pada semua frekuensi. Dua lapisan tanah berbeda yang diperlukan dalam penelitian kali ini yaitu tanah liat dan tanah disekitar laboratorium terpadu fakultas teknik Universitas Bengkulu. Modifikasi dilakukan dengan membuat batang tiga silinder yang terbuat dari plat alumunium. Plat alumunium dibentuk dan tiap batang berdiameter 20 cm, 30 cm, 40 cm dengan Panjang tetap 1 meter dan ketebalan batang silinder 1.2 mm. Ditengah batang silinder ditanam elektroda dengan Panjang 100 cm dengan diameter 1.6 cm. Elektroda yang ditanam terbuat dari bahan tembaga. Model silinder dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Silinder dengan variasi ukuran diameter 20 cm, 30 cm, 40 cm dan Panjang tetap 100 cm

B. Data Pengujian dan Karakteristik Tanah

Dalam pengambilan data pengujian karakteristik tanah, data yang diuji yaitu index properties tanah dari sampel tanah liat dan tanah yang ada dibelakang laboratorium terpadu fakultas teknik Universitas Bengkulu. Adapun data karaktersitik tanah dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Karakteristik fisik tanah yang berdasarkan pengujian di Laboratorium Ilmu Tanah Universitas Bengkulu.

Index Properties	Sampel Tanah Liat	Sampel Tanah Lab. Terpadu FT
Tekstur	Pasir : 15.75% Liat : 76.42% Debu : 7.83%	Pasir : 30.85% Liat : 45.45% Debu : 23.70%
Kadar Air	34.27%	20.14%
Dry Density	987 gr/cm ³	1.047 gr/cm ³
Specific Gravity (Gs)	2.6 gr/cm ³	2.71 gr/cm ³
Void Ratio (e)	0.10 %	0.14 %
Porositas (n)	0.12 %	0.20 %
Derajat Saturasi	0.12%	0.5%

Pada data hasil pengujian data sampel dapat dilihat perbandingan dari dua jenis tanah yaitu sampel tanah liat dan tanah laboratorium terpadu fakultas teknik. Dari Tabel 1 menunjukkan sifat-sifat sampel tanah 1 dan

sampel tanah 2. Penekanan pada tanah kajian komposisi dan sifat-sifat tanah hampir seluruh terfokus pada mineralogi dan struktur fasa tanah dan sangat sedikit memperhatikan sifat-sifat fasa cair. Sifat dan struktur air dalam tanah belum diketahui secara detail, tidak ada teori yang pasti tentang struktur air murni dan cair yang ada hanya hipotesis. Karena baik kadar air maupun permukaan tanah tidak bersifat inert secara kimiawi, partikel air dan tanah berinteraksi satu sama lain. Interaksi ini diperkirakan mempengaruhi perilaku fisik dan kimia material.

Resistivitas dan permeabilitas tanah tergantung pada jenis dan struktur mikro tanah itu sendiri. Oleh karena itu, parameter ini diperiksa sebelum digunakan untuk tujuan pembumian agar dapat melakukan penyesuaian sistem pentanahan yang baik.

C. Pengujian Sistem Pentanahan

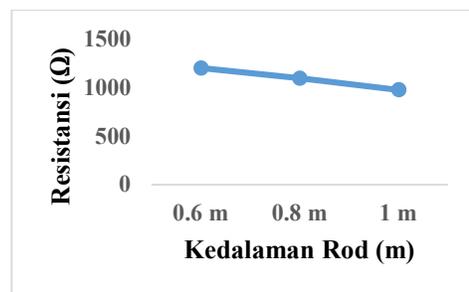
1. Pengujian Resistansi Tanah Tanpa Silinder

Pengujian resistansi tanah tanpa silinder dilakukan untuk mengetahui tahanan tanah yang ada pada lokasi penelitian. Pengambilan data pengujian tanah dilakukan dilokasi belakang laboratorium terpadu fakultas teknik Universitas Bengkulu. Adapun hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pengujian tahanan jenis tanah tanpa menggunakan silinder

Kedalaman Rod (m)	Resistansi (Ω)
0.6	1201
0.8	1094
1	976

Dari data di atas, terlihat bagaimana pengaruh kedalaman elektroda dan komposisi tanah di sekitar laboratorium terpadu Fakultas Teknik. Pada tabel data terlihat bahwa nilai resistansi dipengaruhi oleh ukuran elektroda dan dampak penanaman batang elektroda ke dalam tanah.



Gambar 5. Hubungan kedalaman dengan nilai resistansi tanpa silinder

Semakin dalam elektroda ditanam, maka semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan. Selain

kedalaman elektroda, komposisi tanah juga dapat berpengaruh terhadap nilai resistansi tanah. Beberapa jenis tanah memiliki nilai konduktivitas yang berbeda-beda, yang dapat mempengaruhi kemampuan tanah untuk menghantarkan arus listrik. Berdasarkan dari data hasil pengukuran tahanan jenis tanah tanpa silinder tersebut maka dapat dibuatkan grafik data hasilnya pada Gambar 5.

Berdasarkan pada Gambar 4.2 mengenai grafik nilai resistansi tanah tanpa silinder terhadap kedalaman rod, dapat dilihat pengaruh kedalaman penanaman batang elektroda. Pengambilan nilai resistansi tanah tanpa silinder menggunakan metode *three-point method*, yang dimana menggunakan 3 batang elektroda yang tanam secara seri dengan satu elektroda uji dan dua elektroda bantu. Nilai resistansi tanah yang diambil adalah nilai resistansi tanah yang berlokasi dibelakang laboratorium terpadu fakultas teknik.

Tanah yang ada disekitar lokasi pengujian terdapat jenis tanah yang berpasir dan berbatu. Pengukuran resistansi tanah menggunakan alat ukur *earthtester* Kyouritsu 4105A, nilai tahanan tanah yang terukur berada pada rentang 976 Ω - 1201 Ω . Nilai resistansi tanah dipengaruhi oleh kedalaman penanaman batang elektroda, konfigurasi penanaman batang elektroda dan komposisi tanah.

Pada kedalaman 0,6 m nilai yang terukur 1201 Ω , pada kedalaman 0,8 nilai yang terukur 1094 Ω dan pada kedalaman 1 m nilai resistansi yang terukur 976 Ω . Dapat dilihat pada grafik bahwa nilai resistansi yang dihasilkan telah sesuai dengan prinsip dasar sistem pentanahan, tetapi masih memiliki rentang nilai resistansi yang tinggi, maka dibutuhkan perlakuan untuk menekan nilai resistansi tanah.

2. Pengujian Resistansi Tanah dengan Silinder

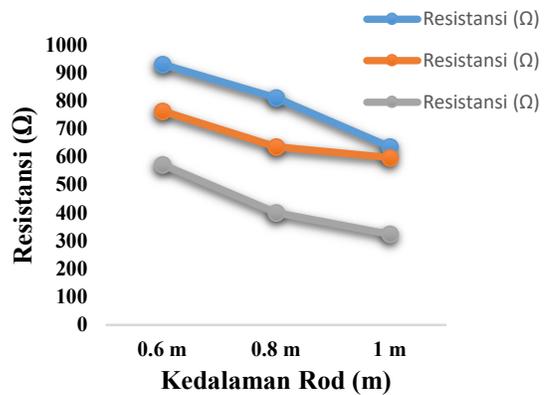
Pengujian Resistansi tanah dengan silinder yang dimana menggunakan dua jenis tanah yaitu tanah didalam silinder dan tanah disekitar silinder. Pada penelitian silinder yang dirancang dimasukkan kedalam sumur pembumian yang telah digali, proses penggalian sumur pembumian sesuai dengan ukuran silinder. Pengujian ini dilakukan untuk menekan nilai resistansi tanah. Diameter silinder divariasikan yaitu 20 cm, 30 cm dan 40cm kemudian masing-masing silinder dilakukan pengujian. Adapun hasil pengujian resistansi tanah dengan silinder dua jenis tanah dengan variasi diameter silinder dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Resistansi tanah dengan silinder variasi diameter dan kedalaman

Kedalaman Rod (m)	Resistansi d = 20 cm (Ω)	Resistansi d = 30 cm (Ω)	Resistansi d = 40 cm (Ω)
0.6 m	930 Ω	763 Ω	572 Ω
0.8 m	811 Ω	636 Ω	401 Ω
1 m	636 Ω	597 Ω	324 Ω

Berdasarkan tabel 4, Nilai resistansi cenderung menurun terhadap kedalaman penanaman elektroda. Semakin dalam elektroda tertanam nilai resistansi semakin kecil dan terlihat nilai resistansi dengan variasi diameter silinder 40 cm memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan resistansi menggunakan silinder variasi diameter 20 cm dan 30 cm. Hal ini disebabkan oleh volume pengisian komposisi tanah liat lebih banyak pada diameter silinder 40 cm.

Pada Tabel 4 juga terlihat bagaimana pengaruh ukuran diameter silinder terhadap nilai resistansi tanah. Semakin besar diameter silinder, maka muatan tanah liat yang terdapat pada silinder semakin banyak dan mempengaruhi nilai resistansi tanah. Pada ketiga tabel diatas terlihat bahwa nilai resistansi terkecil terdapat pada ukuran diameter silinder 40 cm dengan kedalaman 1 meter yaitu 324 Ω , dan nilai resistansi terbesar terdapat pada ukuran diameter silinder 20 cm pada kedalaman 0.6 m yaitu 930 Ω . Dari data pada tabel 4, dapat dibuat grafik ketiga hubungan ketiga variasi silinder sistem pentanahan seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Resistansi Tanah dengan Kedalaman Elektroda Menggunakan Variasi Diameter Silinder

Pada Gambar 6, dapat dilihat garis pada grafik cenderung menurun. Semakin dalam elektroda ditanam, semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan. Hal ini sesuai prinsip dasar resistansi tanah. Ketika elektroda ditanam lebih dalam ke dalam tanah, kontak antara elektroda dan tanah menjadi lebih baik. Akibatnya, resistansi tanah menjadi lebih rendah karena arus listrik dapat mengalir lebih lancar melalui tanah yang memiliki kontak yang baik. Penurunan nilai resistansi tanah disebabkan oleh pemberian perlakuan menggunakan silinder dengan variasi ukuran diameter dan Panjang silinder tetap serta memberikan perlakuan penambahan tanah liat ke dalam silinder dan membentuk variasi dua lapisan tanah guna menekan nilai resistansi tanah.

Selain kedalaman elektroda, komposisi tanah juga dapat berpengaruh terhadap nilai resistansi. Beberapa jenis tanah memiliki sifat konduktivitas yang berbeda-beda, yang dapat mempengaruhi kemampuan tanah untuk

menghantarkan arus listrik. Tanah liat memiliki resistivitas lebih rendah dibandingkan dengan tanah pasir atau tanah berbatu. Ini disebabkan oleh kandungan air dan kemampuan tanah liat untuk menyimpan air dalam pori-porinya. Air memiliki konduktivitas yang tinggi dan karena tanah liat dapat menyimpan banyak air, resistivitasnya menjadi lebih rendah maka tanah liat baik digunakan untuk menekan nilai resistansi pada sistem pentanahan.

3. Menentukan Nilai Resistansi (R), Kapasitansi (C) dan Induktansi (L) Sistem Pentanahan

Dalam menentukan nilai impedansi sistem pentanahan, terlebih dahulu melakukan pengukuran data resistansi (R), kapasitansi (C) dan induktansi (L). Pada pengukuran kali ini, telah didapatkan nilai R dan C menggunakan alat ukur. Untuk mendapatkan nilai L nya dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (6).

Tabel 5. Hasil pengukuran nilai R, C dan perhitungan L

Kedala man Rod (m)	d (cm)	R (Ω)	C (F)	L (H)
0.6	20	930	1.1×10^{-7}	6.62×10^{-7}
0.8		811	1.2×10^{-7}	8.82×10^{-7}
1		636	2.3×10^{-7}	11.03×10^{-7}
0.6	30	763	1.8×10^{-7}	7.03×10^{-7}
0.8		636	3.3×10^{-7}	9.38×10^{-7}
1		597	3.6×10^{-7}	11.73×10^{-7}
0.6	40	572	2.3×10^{-7}	7.73×10^{-7}
0.8		401	5.7×10^{-7}	10.30×10^{-7}
1		324	7.2×10^{-7}	12.88×10^{-7}

Dari tabel 5 terlihat bahwa nilai kapasitansi dan induktansi meningkat seiring dengan peningkatan kedalaman elektroda dan diameter elektroda. Selanjutnya dari tabel 5 maka dapat dihitung nilai impedansi pentanahan dengan menggunakan persamaan (7) s.d (9) dengan Injeksi Arus Frekuensi yang divariasikan yaitu 50 Hz, 1 kHz, 50 kHz, 1 MHz dan 2 MHz. Adapun hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 6.

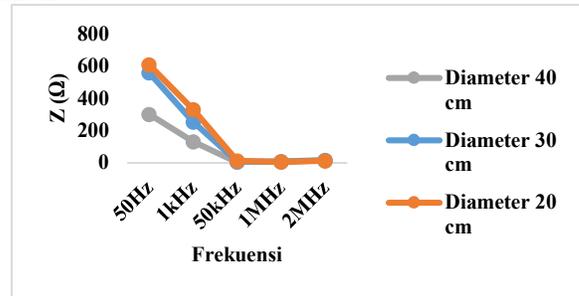
Tabel 6. Hasil perhitungan impedansi dengan variasi frekuensi arus injeksi

Fre kuensi	d (cm)	X_L (Ω)	X_C (Ω)	Z (Ω)
50 Hz	20	0.0003	13846.6	608.07
1 kHz		0.0063	692.3	331.5
50 kHz		0.3172	13.8	13.9
1 MHz		6.3446	0.692	7.04
2 MHz		12.689	0.35	13.04
50 Hz	30	0.0004	8846.426	559.3
1 kHz		0.0074	442.321	254.1
50 kHz		0.3682	8.846	9.1
1 MHz		7.3632	0.442	7.8
2 MHz		14.763	0.221	14.9

50 Hz	40	0.004	4420	301.9
1 kHz		0.008	221	131.5
50 kHz		0.404	4.42	4.8
1 MHz		8.086	0.221	8.3
2 MHz		16.172	0.111	16.3

Pada Tabel 6 terlihat bahwa terdapat pengaruh injeksi frekuensi dari frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin besar injeksi frekuensi yang diberikan, maka nilai Impedansi induktansi (Z_L) meningkat, sementara berbanding terbalik dengan Impedansi Kapasitansi (Z_C) yang semakin tinggi injeksi frekuensi, nilai Impedansi kapasitansi semakin rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa perubahan frekuensi pada sistem pentanahan berpengaruh pada respon impedansi, Dimana induktansi cenderung meningkat dengan peningkatan frekuensi, sementara kapasitansi cenderung menurun. Hal ini dapat digunakan untuk memahami karakteristik respon material terhadap variasi frekuensi dalam konteks pengujian. Berdasarkan data yang dihasilkan maka dapat dibuatkan grafik impedansi pentanahan dengan injeksi frekuensi yang hasilnya pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan Nilai Impedansi dengan Injeksi Frekuensi pada Setiap Variasi Diameter Silinder

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa impedansi pentanahan dengan Panjang (L) tetap 1 m dengan variasi diameter silinder. Pada grafik terlihat garis yang dihasilkan dari data ialah cenderung menurun tetapi ketika diinjeksi frekuensi pada 2MHz respon impedansi sistem pentanahan relatif konstan dan nilainya tidak bergantung pada diameter yang digunakan, impedansi pentanahannya berbeda sedikit ketika diuji pada diameter 20, 30 dan 40 cm. Dari kecenderungan grafik yang dihasilkan dapat diketahui bahwa nilai impedansi pentanahan pada batang silinder diameter 20 cm mempunyai nilai impedansi paling tinggi disemua respon injeksi frekuensi dengan rentang 50 Hz sampai 2 MHz dibandingkan dengan variasi diameter 30 cm dan diameter 40 cm. Nilai impedansi pentanahan paling rendah pada setiap injeksi frekuensi terdapat pada diameter silinder 40 cm.

5. PENUTUP

Pada perancangan instalasi pentanahan dengan *Two-layers Soil Vertical Rod Configuration* telah berhasil dibuat menjadi 3 variasi ukuran diameter yang terbuat dari plat aluminium dan ukuran diameter rancangan silinder mempengaruhi nilai resistansi tanah yang dihasilkan. Semakin besar diameter elektroda pentanahan maka Nilai resistansi dan impedansi pentanahan semakin kecil. Demikian pula dengan dengan frekuensi arus injeksi, semakin besar frekuensi arus injeksi maka nilai impedansi pentanahan juga semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Rianda, A. B. Pulungan, S. Sukardi, and T. Taali, "Studi Kelayakan Sistem Grounding Pada Gedung Olahraga Universitas Negeri Padang," 2022. doi: 10.24036/jtein.v3i1.205.
- [2] H. D. Rio and A. S. Bambang, "Characteristic study of vertical configuration grounding system with two layer modified using type of different soil for variation of diameter and frequency injection," IEEE, 2014. doi: 10.1109/ICPERE.2014.7067203.
- [3] P. Widyaningsih, "Perubahan Konfigurasi Elektrode Pentanahan Batang Tunggal Untuk Mereduksi Tahanan Pentanahan," 2013.
- [4] I. W. Sudiartha, I. K. Ta, and I. G. N. Sangka, "Analisis pengaruh jenis tanah terhadap besarnya nilai tahanan pentanahan," 2016.
- [5] J. Fisika and U. N. Semarang, "Rancang Bangun Sistem Grounding Untuk Pengembangan Laboratorium Fisika Unnes Semarang," 1998.
- [6] B. Oktrialdi and P. Harahap, "Sistem Pentanahan Berdasarkan Perbedaan Lapisan Tanah Untuk di Aplikasikan Pada Gardu Induk," 2018.
- [7] B. Anggoro, R. H. Dharmawanwas, H. N. K. Ningrum, J. Burhan, and M. R. Bin Tamjis, "Grounding impedance characteristics for two-layer soil of vertical rod configuration with variation of length and diameter," 2018. doi: 10.15676/ijeei.2018.10.4.12.
- [8] S. Oktobella, B. Anggoro, and Waluyo, "Studi Karakteristik Nilai Impedansi Riil dan Imaginer Impedansi Pentanahan Konfigurasi Vertikal dengan Variasi Diameter dan Diinjeksi Arus Bolak-Balik Berfrekuensi 50 Hz -2 MHz," 2015.
- [9] N. Permal, M. Osman, A. M. Ariffin, and M. Z. A. Ab Kadir, "The impact of substation grounding grid design parameters in non-homogenous soil to the grid safety threshold parameters," 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063018.
- [10] M. Nassereddine, J. Rizk, and G. Nasserddine, "Soil Resistivity Data Computations; Single and Two - Layer Soil Resistivity Structure and Its Implication on Earthing Design," 2013.
- [11] N. Permal, M. Osman, A. M. Ariffin, and M. Z. Abidin Ab Kadir, "Effect of non-homogeneous soil characteristics on substation grounding-grid performances: A review," 2021. doi: 10.3390/app11167468.
- [12] A. H. M. Nassereddine, J. Rizk, M. Nagrial, "Estimation of apparent soil resistivity for two-layer soil structure," 2010.
- [13] A. Gaffar, "Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Perubahan Tegangan Permukaan Tanah Pada Pembumian Sistem Grid-Rod Dalam Struktur Tanah Dua Lapis," 2013.
- [14] W. P. Widyaningsih, Suwarti, and W. A. Bahar, "Analisis Pengaruh Kedalaman Penanaman Elektroda Pembumian Secara Horizontal Terhadap Nilai Tahanan Pembumian Pada Tanah Liat Dan Tanah Pasir di Semarang," 2015.
- [15] A. Santoso, A. Herawati, and Y. S. Handayani, "Analisis Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Gedung Lembaga Pemasarakatan Kelas IIA Bengkulu," 2020. doi: 10.33369/jamplifier.v10i2.15320.
- [16] K. P. Sengar and K. Chandrasekaran, "Comparative Analysis of Grounding Grid Configurations with Equal and Unequal Spaced Design," IEEE, 2019. doi: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938216.
- [17] R. Ariesta, D. Despa, H. Gusmedi, and L. Hakim, "Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal Pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi Dan Komunikasi Universitas Lampung," 2015. doi: 10.23960/jitet.v3i3.536.
- [18] L. Grecev and M. Popov, "On high-frequency circuit equivalents of a vertical ground rod," 2005. doi: 10.1109/TPWRD.2004.838460.
- [19] K. P. Sengar and K. Chandrasekaran, "Comparative Analysis of Grounding Grid Configurations with Equal and Unequal Spaced Design," in *IEEE Ist Int. conf. Energy Syst. Inf Process. ICESIP*, 2019. doi: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938216.
- [20] T. R. Ayodele, A. S. O. Ogunjuyigbe, and O. E. Oyewole, "Comparative assessment of the effect of earthing grid configurations on the earthing system using IEEE and Finite Element Methods," Karabuk University, 2018. doi: 10.1016/j.jestch.2018.07.003.