



## Pengaruh Bentonit-MgSO<sub>4</sub>-Arang dalam Peningkatan Konduktivitas Tanah untuk Aplikasi Pembumian Listrik

Dwi Putri Wardani<sup>1</sup>, Ahmad Faisal<sup>2</sup>, Siti Anisah<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Email : [dwiputriwardani20@gmail.com](mailto:dwiputriwardani20@gmail.com)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 15 November 2025

Revised: 20 Desember 2025

Accepted: 27 Januari 2026

#### Keywords:

Sistem Pembumian,

Elektroda,

Bentonit,

MgSO<sub>4</sub>,

Arang

### ABSTRACT

Sistem pembumian berperan penting dalam menyalurkan arus gangguan dan energi petir secara aman, namun kinerjanya sering terkendala oleh kondisi tanah dengan resistivitas tinggi. Penelitian ini membahas pengaruh bentonit sebagai material alami yang dikombinasikan dengan magnesium sulfat (MgSO<sub>4</sub>) dan arang untuk meningkatkan kinerja sistem pembumian pada instalasi tegangan rendah. Pengujian dilakukan menggunakan elektroda yang diisi dengan berbagai variasi komposisi material untuk masing-masing media, yaitu 60%, 70%, dan 80% bentonit yang dicampur dengan arang dan MgSO<sub>4</sub>. Pengujian dilakukan setiap minggu selama 3 minggu pada kedalaman elektroda antara 1,0 m; 1,5 m; dan 2,0 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase bentonit mampu menurunkan nilai resistansi pembumian secara signifikan dibandingkan dengan kondisi tanah awal. Campuran bentonit sebesar 80% menghasilkan resistansi pembumian sebesar 4,7 Ω pada kedalaman 2 m pada minggu pertama, Campuran bentonit sebesar 80% menghasilkan resistansi pembumian sebesar 7,17 pada minggu ketiga Meskipun terjadi kenaikan resistansi seiring berkurangnya kadar kelembapan tanah, seluruh variasi campuran masih memenuhi ketentuan IEEE Std 80-2013. Temuan ini mengindikasikan bahwa kombinasi bentonit, MgSO<sub>4</sub>, dan arang pada pengujian awal efektif dalam meningkatkan kinerja sistem pentanahan pada tanah dengan resistivitas tinggi.

*Grounding systems play an important role in safely channeling fault currents and lightning energy, but their performance is often hampered by high-resistivity soil conditions. This study discusses the effect of bentonite as a natural material combined with magnesium sulfate (MgSO<sub>4</sub>) and charcoal to improve the performance of grounding systems in low-voltage installations. Tests were conducted using electrodes filled with various material compositions for each medium, namely 60%, 70%, and 80% bentonite mixed with charcoal and MgSO<sub>4</sub>. Tests were conducted weekly for 3 weeks at electrode depths of 1.0 m; 1.5 m; and 2.0 m. The results showed that increasing the percentage of bentonite was able to significantly reduce the grounding resistance value compared to the initial soil conditions. The 80% bentonite mixture produced a grounding resistance of 4.7 Ω at a depth of 2 m in the first week, The 80% bentonite mixture produced a grounding resistance of 7.17 in the third week. Although there was an increase in resistance as the soil moisture content decreased, all mixture variations still met the requirements of IEEE Std 80-2013. These findings indicate that the combination of bentonite, MgSO<sub>4</sub>, and charcoal in the initial test was effective in improving the performance of the grounding system in soils with high resistivity.*

#### Published by

Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



#### Corresponding Author:

Dwi Putri Wardani

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Jl. Gatot Subroto Km. 4,5, Medan, Indonesia 20122

Email: [dwiputriwardani20@gmail.com](mailto:dwiputriwardani20@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Pantanahan pada sistem kelistrikan merupakan proses penghubungan seluruh bagian instalasi listrik dengan bumi. Sistem ini menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari instalasi kelistrikan pada berbagai fasilitas, seperti gedung, gardu induk, menara transmisi, pembangkit listrik, dan infrastruktur lainnya. Dalam sistem proteksi petir, pantanahan berperan sebagai media penyalur fenomena transien akibat sambaran petir dari awan menuju tanah. Sistem ini juga berfungsi untuk membatasi nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah agar tetap berada dalam batas toleransi yang aman bagi manusia di sekitar instalasi listrik. Namun, pencapaian nilai tahanan pantanahan yang rendah sering kali menghadapi kendala, terutama akibat karakteristik tanah di lokasi pemasangan (Zhao et al., 2024).

Nilai tahanan pantanahan sangat dipengaruhi oleh resistivitas tanah, yang memiliki variabilitas tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti cuaca dan musim. Selain itu, konfigurasi, dimensi, serta jenis elektroda pantanahan turut berperan signifikan dalam menentukan kinerja sistem pembumian. Faktor-faktor lain yang memengaruhi nilai tahanan pantanahan meliputi tingkat kelembapan tanah, temperatur, serta karakteristik fisik dan komposisi kimia tanah, termasuk kandungan mineral dan elektrolit. Oleh karena itu, perancangan sistem pantanahan memerlukan analisis yang komprehensif terhadap kondisi tanah setempat agar memenuhi persyaratan teknis dan standar keselamatan yang berlaku (Hardi et al., 2025).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, berbagai material peningkat tanah telah dikembangkan dan diteliti guna meningkatkan konduktivitas tanah di sekitar elektroda pantanahan. Metode konvensional umumnya dilakukan dengan menambahkan campuran garam dan arang untuk menjaga kelembapan tanah serta menurunkan nilai resistivitas. Namun demikian, material tersebut cenderung mengalami proses pelindian (leaching) dalam jangka waktu tertentu, sehingga membutuhkan pemeliharaan berkala dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, bentonit dipertimbangkan sebagai alternatif karena keduanya merupakan material alami yang stabil, tidak mudah larut, dan memiliki sifat ramah lingkungan. Bentonit secara khusus memiliki kemampuan mengembang dan menyerap air, yang memungkinkan material ini mempertahankan kelembapan serta menahan ion-ion di dalam struktur mineralnya, sehingga berkontribusi terhadap penurunan resistivitas tanah (Bajestani et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja material bentonit yang dikombinasikan dengan  $MgSO_4$  dan arang sebagai bahan peningkat sistem pantanahan pada kondisi tanah di daerah yang panas. Evaluasi tersebut dilakukan melalui analisis perbandingan guna menilai konsistensi performa material pada lingkungan dengan karakteristik iklim yang berbeda (Hardi, Kristian, et al., 2022).

Pengujian eksperimental dilakukan menggunakan elektroda dengan variasi kedalaman pemasangan dan komposisi material untuk menganalisis pengaruhnya terhadap nilai resistansi pantanahan dan tingkat kelembapan tanah selama periode pengamatan lima minggu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang aplikatif dalam perancangan sistem pantanahan yang aman, ekonomis, dan ramah lingkungan pada tanah dengan resistivitas tinggi, serta sesuai dengan ketentuan IEEE Std 80-2013.

## KAJIAN TEORI

### 1. Pengertian Sistem Pembumian

Pembumian merupakan upaya pengamanan pada sistem instalasi listrik yang dilakukan dengan menghubungkan bagian logam atau badan peralatan ke tanah melalui elektroda pantanahan yang ditanam di dalam tanah dan dihubungkan menggunakan penghantar. Sistem pembumian (*grounding system*) berfungsi untuk menyalurkan arus listrik berlebih langsung ke bumi. Keberadaan sistem ini bertujuan melindungi manusia maupun hewan dari bahaya sengatan listrik, serta menjaga peralatan listrik dari gangguan tegangan dan arus yang tidak diinginkan. Keandalan sistem pembumian ditentukan oleh tingkat konduktivitas antara penghantar dan tanah tempat elektroda ditanam. Semakin tinggi daya hantar tanah terhadap arus listrik, maka semakin efektif sistem pembumian tersebut (Andhika & Elektro, 2022).

Sistem pembumian yang efektif ditandai dengan nilai resistansi yang rendah, sehingga tegangan yang muncul pada sistem pembumian tersebut menjadi sangat kecil. Hal ini sesuai dengan hubungan

antara tegangan, arus, dan hambatan sebagaimana dinyatakan dalam Hukum Ohm pada Persamaan 1.

Peralatan pentanahan yang digunakan dalam sistem ini berupa elektroda pentanahan (*grounding rod*). *Grounding rod* merupakan konduktor yang ditanam secara vertikal ke dalam tanah dan berfungsi untuk menyalurkan muatan listrik dari konduktor sistem menuju bumi. Tujuan utama pemasangan elektroda pentanahan adalah untuk mencegah timbulnya tegangan kejut listrik yang berpotensi membahayakan keselamatan manusia di sekitarnya. Kinerja *grounding rod* dinilai berdasarkan nilai tahanan pentanahan yang dihasilkan, yang menjadi indikator kualitas sistem pembumian. *Grounding rod* tersedia dalam berbagai jenis, umumnya terbuat dari material baja yang dilapisi tembaga guna meningkatkan konduktivitas dan ketahanan terhadap korosi. Nilai tahanan pentanahan elektroda batang dapat dihitung melalui Persamaan 2 (Klik et al., 2022):

Pengolahan tanah dengan penambahan material tertentu merupakan salah satu metode untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan, khususnya pada kondisi ketika batang elektroda tidak memungkinkan untuk ditanam lebih dalam. Material tambahan yang digunakan umumnya memiliki kemampuan menyerap dan mempertahankan kelembapan tanah di sekitarnya. Secara umum, material tersebut diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu *Chemical Enhanced Material* (CEM) yang meliputi beton, resin sintetis, polimer penyerap air, dan garam anorganik, serta *Natural Enhanced Material* (NEM) seperti gambut, sabut kelapa, debu padi, bentonit dan beberapa bahan aditif lainnya, antara lain gipsum, serbuk arang, dan garam (Todaro et al., 2022).

Peningkatan konduktivitas tanah akibat penambahan bentonit,  $MgSO_4$ , dan arang diharapkan berdampak langsung terhadap penurunan nilai tahanan pembumian listrik. Dengan demikian, semakin baik konduktivitas tanah di sekitar elektroda pembumian, maka nilai tahanan pembumian yang dihasilkan akan semakin kecil dan sistem pembumian dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan standar keselamatan. Berdasarkan uraian tersebut, hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa penggunaan bentonit, magnesium sulfat, dan arang, baik secara parsial maupun kombinasi, berpengaruh signifikan terhadap peningkatan konduktivitas tanah dan penurunan tahanan pembumian listrik (Rizkullah Fazrin & Tohir, 2023.).

## 2. Tahaman Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah merupakan faktor keseimbangan antara tahanan tanah dan kapasitansi disekitarnya, menunjukkan variasi nilai yang cukup luas, yaitu berkisar antara 500 hingga 50.000  $\Omega \cdot \text{cm}$ . Nilai tersebut dipengaruhi oleh beberapa parameter, meliputi jenis tanah, susunan lapisan tanah, tingkat kelembapan, dan temperatur. Pemilihan tanah dalam aplikasi tertentu disesuaikan dengan karakteristik serta nilai tahanan jenis tanah tersebut. Berdasarkan perbedaan karakteristiknya, jenis tanah dan nilai tahanannya dapat dikelompokkan ke dalam beberapa klasifikasi diantaranya pada tabel 1 berikut (SNI-PUIL-2011, 2011.).

Tabel 1. Nilai Rata-rata Tahanan Jenis Tanah

| Jenis Tanah                 | Resistansi Jenis Tanah (Ohm.m) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Tanah rawa                  | 30                             |
| Tanah liat dan tanah ladang | 100                            |
| Pasir basah                 | 200                            |
| Kerikil basah               | 500                            |
| Pasir/kerikil kering        | 1000                           |
| Tanah berbatu               | 3000                           |

Sumber: PUIL, 2011

### 3. Metode Pemasangan Sistem Pembumian

Terdapat beberapa metode pemasangan sistem pembumian menurut PUIL 2011, diantaranya (Kusuma Wardhany et al., 2023):

#### a. Metode *Driven Rod (Driven Ground)*

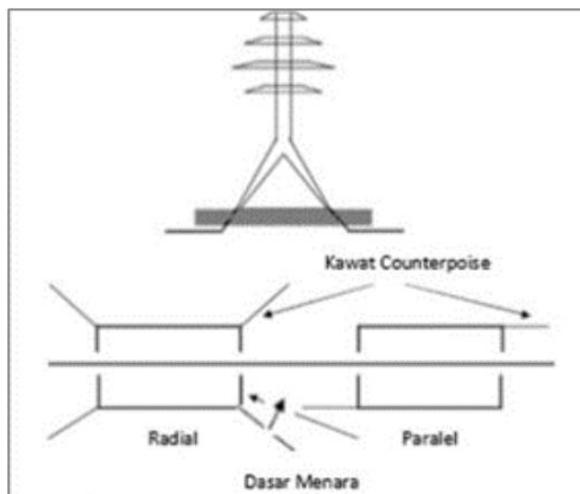
Metode pembumian tipe rod merupakan sistem pembumian yang menggunakan elektroda berbentuk batang panjang yang ditanam secara vertikal ke dalam tanah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Diameter elektroda rod yang umum digunakan antara lain 5/8 inci, 1 inci, dan ukuran lainnya. Metode ini banyak diterapkan pada instalasi gardu induk. Dari sisi teknis, pemasangan elektroda rod relatif sederhana karena cukup dengan memancangkannya langsung ke dalam tanah serta tidak memerlukan area pemasangan yang luas. Pemilihan dan pemasangan elektroda rod harus mempertimbangkan nilai resistansi tanah pada lokasi penanaman, karena faktor tersebut menentukan kedalaman pemasangan elektroda pembumian.



Gambar 1 Metode *Driven Rod*

#### b. Metode *Counterpoise*

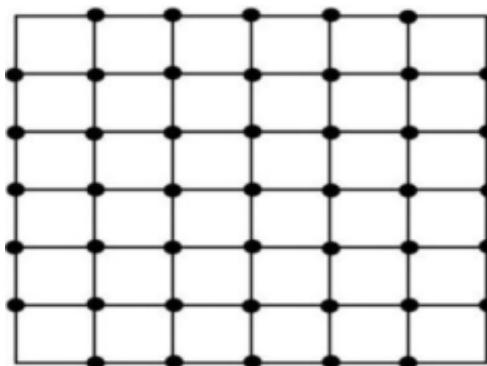
Pantanahan dengan metode counterpoise merupakan sistem pembumian yang dilakukan dengan menanam kawat elektroda secara sejajar atau radial pada kedalaman sekitar 30 cm hingga 90 cm di bawah permukaan tanah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Metode ini diterapkan apabila nilai resistansi tanah tergolong tinggi dan tidak dapat diturunkan menggunakan metode driven rod, akibat tingginya hambatan jenis tanah pada lokasi tersebut.

Gambar 2 Metode *Counterpoise*

### c. Metode Grid/Mesh

Metode grid adalah teknik pembumian yang dilakukan dengan menyusun beberapa pengantar konduktor sehingga membentuk jaringan menyerupai jala. Jaringan konduktor tersebut kemudian ditanam di dalam tanah pada kedalaman tertentu. Metode pembumian ini umumnya diterapkan pada sistem gardu listrik karena mampu menghasilkan nilai resistansi yang sangat kecil, biasanya kurang dari  $1 \Omega$ .

Sistem pembumian grid dapat dibuat menggunakan konduktor berupa plat memanjang atau BC (*Bare Conductor*). Penerapan metode ini memerlukan area lahan yang lebih luas dibandingkan dengan sistem pembumian metode rod. Ilustrasi bentuk dan susunan pembumian grid atau jala ditunjukkan pada Gambar 3.



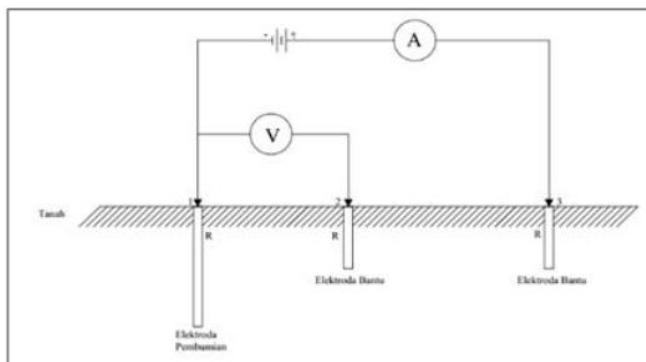
Gambar 3 Metode Grid

## 4. Metode Pengukuran Sistem Pembumian

Untuk memastikan apakah nilai tahanan pembumian telah memenuhi standar yang ditetapkan, perlu dilakukan pengukuran tahanan pembumian. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai tahanan pembumian pada berbagai kondisi tanah (Aqilah Sofiyah Hasni et al., 2020).

### a. Metode 3 Titik (*3 Pole Method*)

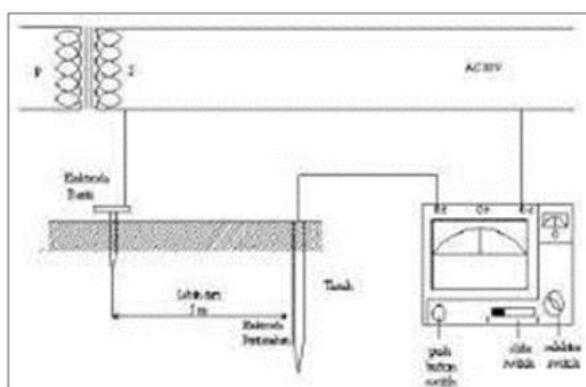
Metode tiga titik merupakan teknik yang digunakan untuk mengukur nilai tahanan pembumian. Pada metode ini digunakan satu elektroda batang yang akan diuji sebagai elektroda pembumian (*ground*), serta dua elektroda tambahan sebagai elektroda bantu, yaitu elektroda potensial (*potential*) dan elektroda arus (*current*). Ketiga titik tersebut terdiri atas titik elektroda pembumian, titik arus balik, dan titik potensial seperti pada Gambar 4.



#### **Gambar 4 Metode 3 Titik (3 Pole Method)**

**b. Metode 2 Titik (2 Pole Method)**

Pada metode pengukuran dua titik (*2-pole method*), hanya dua terminal pada *Earth Tester* yang digunakan. Terminal E dihubungkan ke elektroda pembumian yang akan diukur, sedangkan terminal C dihubungkan ke elektroda bantu, sementara terminal P tidak digunakan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Menurut Hioki, pengukuran nilai tahanan pembumian di bawah  $10 \Omega$  sangat sulit dicapai dengan metode pengukuran sederhana ini. Rangkaian pengukuran tahanan pembumian menggunakan metode dua titik ditunjukkan pada Gambar 5.



### Gambar 5 Metode 2 Titik (2 Pole Method)

Nilai rata-rata tahanan sistem pembumian dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.

$$R_{PE} = \left( \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \right) \dots \dots \dots \quad (3)$$

Dimana:

$R_{PE}$  = Nilai rata-rata tahanan pembumian

$R_1$  = Nilai tahanan pembumian ke-1

$R_2$  = Nilai tahanan pembumian ke-2

$R_n$  = Nilai tahanan pem

## 5. Bahan Pengukuran

Bahan aditif tanah utama yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi bentonit, merupakan jenis lempung alami yang kaya akan mineral montmorillonit, yang memiliki kemampuan mengembang serta menyerap air dalam jumlah besar. Keberadaan bentonit berperan dalam meningkatkan konduktivitas tanah melalui kemampuannya menjaga kadar kelembapan. Selain itu, bentonit banyak dimanfaatkan dalam upaya perbaikan sifat tanah karena nilai resistivitasnya yang relatif rendah, kestabilan kimia yang baik, serta biaya penggunaannya yang ekonomis (Hardi, Nasution, et al., 2022). Selain itu, Magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ) memiliki sifat hidroskopis serta kelarutan yang tinggi dalam air, sehingga berfungsi sebagai elektrolit yang mampu meningkatkan daya hantar listrik tanah. Karakteristik ioniknya menjadikan  $MgSO_4$  efektif dalam menurunkan nilai resistivitas tanah, khususnya ketika digunakan bersama dengan bahan aditif lainnya dan Arang memiliki kandungan karbon yang tinggi serta bersifat hidroskopis, sehingga mampu menyerap dan menjaga kelembapan tanah. Dalam aplikasi sistem pentanahan, arang berperan dalam menurunkan sekaligus menjaga kestabilan nilai resistivitas tanah pada berbagai kondisi lingkungan. Perpaduan material tersebut disusun dalam berbagai perbandingan untuk mengidentifikasi komposisi paling efektif dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan serta menjamin kestabilan kinerja dalam jangka Panjang (Mohd Azmi et al., 2021).

## METODE PENELITIAN

### 1. Lokasi Penelitian dan Karakteristik Tanah

Penelitian ini dilakukan di Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Pemilihan lokasi didasarkan pada kesesuaian karakteristik tanah setempat sebagai media uji sistem pentanahan, terutama untuk mengevaluasi pengaruh penambahan bahan amelioran tanah berupa bentonit, zeolit, magnesium sulfat, dan arang terhadap penurunan resistansi pentanahan.

Wilayah penelitian secara geografis berada pada kawasan dataran rendah dengan elevasi  $\pm 15$  m di atas permukaan laut serta memiliki kontur lahan yang cenderung landai. Penggunaan lahan di sekitar lokasi didominasi oleh area permukiman dan perkebunan skala kecil. Daerah ini termasuk dalam zona iklim tropis lembap yang ditandai oleh dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Selama pelaksanaan percobaan yang berlangsung selama 3 minggu.

Kondisi tanah alami pada lokasi penelitian didominasi oleh lempung berpasir berwarna cokelat gelap dengan tingkat kepadatan sedang serta kemampuan menahan air yang cukup baik. Hasil pengujian awal yang dilakukan menggunakan Earth Tester KEW 4105A menunjukkan bahwa nilai resistansi pentanahan pada tanah tanpa penambahan bahan aditif berada pada kisaran  $23,8 \Omega$  pada kedalaman elektroda 1,0 m dan menurun menjadi sekitar  $12,6 \Omega$  pada kedalaman 2,0 m, dengan kadar kelembapan tanah yang relatif stabil sebesar  $\pm 60\%$ . Nilai awal tersebut mengindikasikan bahwa tanah di lokasi penelitian memiliki tingkat resistivitas yang masih cukup tinggi, sehingga diperlukan penambahan material aditif, seperti bentonit dan zeolit, guna meningkatkan kinerja sistem pentanahan.

### 2. Rancangan Sistem Pembumian

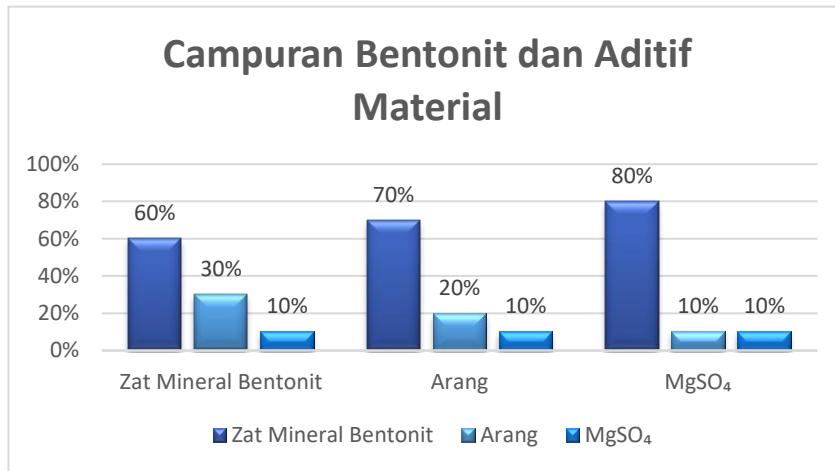
Rancangan sistem pembumian yang dipilih secara sistematis untuk memastikan keandalan. Proses diawali dengan penggalian tiga lubang yang akan diisi dengan campuran bahan bentonite, setiap kelompok terdiri dari tiga variasi komposisi seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran Bentonit dan Zat Aditif

| Zat Mineral Bentonit (%) | Zat Aditif |              |
|--------------------------|------------|--------------|
|                          | Arang (%)  | $MgSO_4$ (%) |
| 60%                      | 30%        | 10%          |
| 70%                      | 20%        | 10%          |
| 80%                      | 10%        | 10%          |

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2026

Elektroda baja berlapis tembaga berdiameter 3/8 inci ditanam secara vertikal di dalam lubang yang telah diisi campuran aditif sesuai komposisi pada Tabel 2. Sebanyak tiga lubang menggunakan campuran berbasis bentonit yang terdiri atas bentonit, arang, dan  $MgSO_4$ . Elektroda tersebut dipasang pada beberapa variasi kedalaman, yaitu 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, guna menganalisis pengaruh kedalaman penanaman terhadap nilai resistansi pentanahan.



Gambar 6 Grafik Campuran Bentonit dan Aditif Material

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pengaruh Kelembapan Tanah terhadap Resistansi

Kondisi kelembapan tanah berperan signifikan terhadap performa kelistrikan sistem pentanahan, di mana peningkatan kandungan air dapat memperbesar mekanisme konduksi ionik sehingga menurunkan nilai resistivitas. Untuk mengevaluasi pengaruh tersebut, pengamatan kelembapan tanah dilakukan secara berkala setiap minggu pada seluruh campuran berbasis bentonit selama masa pemantauan tiga minggu. Pengukuran dilaksanakan pada titik elektroda yang identik dengan lokasi pengujian resistansi agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara langsung. Persentase kelembapan tanah yang tercatat dari minggu pertama hingga minggu ketiga seperti ditunjukkan dalam Tabel 3

Tabel 3. Kelembapan Tanah Menggunakan Bahan Bentonit

| Zat Mineral Bentonit (%) | Minggu Ke-<br>Kelembapan (%) |    |    |
|--------------------------|------------------------------|----|----|
|                          | 1                            | 2  | 3  |
| 60%                      | 60                           | 55 | 55 |
| 70%                      | 60                           | 55 | 55 |
| 80%                      | 60                           | 55 | 55 |

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2026

### 2. Pengaruh Komposisi terhadap Resistansi Pentanahan

Komposisi bahan aditif tanah memiliki peranan krusial dalam menentukan kinerja sistem pentanahan secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, bentonite digunakan sebagai komponen utama dengan variasi kadar antara 60%, 70% dan 80%. Untuk menjaga keseragaman, magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ) ditetapkan sebesar 10%, sementara kandungan arang disesuaikan secara proporsional. Pengujian ini

bertujuan untuk menganalisis pengaruh peningkatan persentase bentonit terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan jika dibandingkan dengan kondisi tanah asli tanpa penambahan aditif yang ditunjukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Resistansi Pentanahan Menggunakan Bahan Bentonit pada Minggu Ke-1

| Kedalaman<br>(m) | Bahan<br>Bentonit |      |      |
|------------------|-------------------|------|------|
|                  | 60%               | 70%  | 80%  |
| 1.0              | 26.6              | 22.9 | 13.9 |
| 1.5              | 19.7              | 18.6 | 11.4 |
| 2.0              | 13.8              | 11.4 | 4.7  |

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2026



Gambar 7 Grafik Percobaan pada Minggu Pertama

Campuran aditif yang mengandung bentonit memperlihatkan kecenderungan penurunan nilai resistansi pentanahan seiring dengan bertambahnya fraksi bahan utama. Pada campuran berbasis bentonit, nilai resistansi pada kedalaman 1,0 m berkurang dari  $26.6 \Omega$  pada komposisi 60% menjadi  $22.9 \Omega$  ketika dalam campuran 70% dan ketika kandungannya ditingkatkan hingga 80% menjadi  $13.9 \Omega$ . Penurunan yang lebih tajam terjadi pada kedalaman elektroda 2,0 m, di mana resistansi menurun secara perlahan dari  $13.8 \Omega$  pada campuran 60% menjadi  $11.4 \Omega$  pada campuran 70% dan turun kembali menjadi  $4.7 \Omega$  pada campuran 80%. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan kadar bentonit berkontribusi nyata terhadap perbaikan sifat konduktivitas tanah, terutama melalui peningkatan kapasitas penahanan air dan proses pertukaran ion di dalam tanah.

Selain evaluasi pada minggu pertama, nilai resistansi pentanahan terus dimonitor selama empat minggu selanjutnya guna menilai respons sistem dalam jangka waktu yang lebih panjang. Hasil pengamatan menunjukkan adanya kenaikan resistansi secara perlahan pada seluruh variasi campuran, yang berkorelasi dengan penurunan kadar kelembapan tanah seiring berjalannya waktu. Berdasarkan data pada Tabel 5, campuran dengan kandungan bentonit 80% mengalami peringkatan resistansi dari  $4.7 \Omega$  pada minggu awal menjadi  $7.17 \Omega$  pada minggu ketiga. Kinerja yang bergantung terhadap waktu ini mengindikasikan bahwa penggunaan bentonit tidak hanya efektif dalam menurunkan resistansi pada tahap awal, tetapi juga mampu mempertahankan kinerja pentanahan yang relatif stabil dalam jangka panjang, sehingga layak dipertimbangkan sebagai solusi yang praktis dan ekonomis untuk aplikasi pada tanah dengan resistivitas tinggi.

Tabel 5. Resistansi Pentanahan Menggunakan Bahan Bentonit pada Minggu Ke-3

| Kedalaman<br>(m) | Bahan<br>Bentonit |      |      |
|------------------|-------------------|------|------|
|                  | 60%               | 70%  | 80%  |
| 1.0              | 30.2              | 27.7 | 18.7 |

|     |      |      |      |
|-----|------|------|------|
| 1.5 | 26.5 | 24.4 | 15.2 |
| 2.0 | 18.8 | 15.0 | 7.17 |

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2026



### 3. Perbandingan Resistansi Pentanahan Campuran Bentonit dengan Tanah Asli

Kedalaman penanaman elektroda merupakan faktor kunci yang menentukan efektivitas sistem pentanahan. Semakin dalam elektroda ditanam, semakin besar peluang kontak dengan lapisan tanah yang memiliki kepadatan lebih tinggi serta kelembapan yang relatif stabil. Kondisi tersebut cenderung menurunkan nilai resistivitas tanah sehingga meningkatkan kemampuan pelepasan arus ke bumi. Pada penelitian ini, kedalaman elektroda divariasikan pada 1,0 m dan 2,0 m. Pengukuran resistansi dilakukan pada tanah alami, tanah dengan penambahan bentonit, guna menganalisis pengaruh kedalaman terhadap kinerja material perbaikan tanah dalam sistem pentanahan seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Resistansi Pentanahan Campuran Bentonit dengan Tanah Asli pada Minggu ke-1

| Kedalaman (m) | Tanah Asli ( $\Omega$ ) | Bentonit |
|---------------|-------------------------|----------|
| 1.0           | 35.5                    | 13.9     |
| 1.5           | 23.8                    | 11.4     |
| 2.0           | 14.9                    | 4.7      |

Sumber: Dwi Putri Wardani, 2026

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6, nilai resistansi menunjukkan penurunan yang konsisten seiring dengan bertambahnya kedalaman elektroda pada seluruh jenis kondisi tanah. Pada tanah asli, resistansi berkurang dari  $35.5 \Omega$  pada kedalaman 1.0 menjadi  $14.9 \Omega$  pada kedalaman 2.0 m, yang menunjukkan manfaat alami dari pemasangan elektroda yang lebih dalam. Penerapan material tambahan pada tanah memberikan penurunan resistansi yang lebih signifikan. Pada campuran bentonit dengan komposisi 80%, nilai resistansi turun dari  $13.9 \Omega$  pada kedalaman 1,0 m menjadi  $4.7 \Omega$  pada kedalaman 2,0 m. Temuan ini menegaskan bahwa variasi kedalaman elektroda dan jenis material perbaikan tanah saling mendukung dalam meningkatkan kinerja sistem pentanahan.

## PENUTUP

Penelitian ini membahas mengenai pengaruh penggunaan aditif tanah berbasis bentonit yang dipadukan dengan  $MgSO_4$  serta arang terhadap nilai resistansi pentanahan pada sistem elektroda batang tunggal. Campuran dengan komposisi 80% mampu menurunkan resistansi hingga berada di bawah  $5 \Omega$  pada kedalaman 2,0 m dengan hasil  $4.7 \Omega$ , sehingga memenuhi ketentuan standar pentanahan internasional. Variasi kedalaman elektroda terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap

penurunan resistansi, terutama karena kemampuannya yang lebih baik dalam mempertahankan kadar kelembapan tanah.

## REFERENSI

- Andhika, V. D., & Elektro, D. T. (2022). *Studi Tentang Efektivitas Beberapa Macam Zat Terhadap Nilai Resistansi Sistem Pentanahan (Grounding) Achmad Imam Agung*.
- Aqilah Sofiyah Hasni, N., Nizam Md Arshad, S., Md Ariffen, A., Helmei Halim, N., Chin Leong, W., Izuan Fahmi Romli, M., & Abu Bakar, O. (2020). Analysis Of The Behaviour And Effect Of Grounding Filler Materials On Grounding System. *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 864(1). <Https://Doi.Org/10.1088/1757-899X/864/1/012158>.
- Bajestani, M. S., Nasir, O., & Oh, W. T. (2023). Properties Of Bentonite-Based Sealing Materials During Hydration. *Minerals*, 13(11). <Https://Doi.Org/10.3390/Min13111412>.
- Hardi, S., Kristian, A., Hasibuan, A., Nasution, A., & Alfhisyari, M. (2022). Mitigation Of Soil Resistivity Using Composition Of Zeolite, Nacl, And Charcoal. *Journal Of Physics: Conference Series*, 2193(1). <Https://Doi.Org/10.1088/1742-6596/2193/1/012032>.
- Hardi, S., Nasution, A., Harahap, R., & Fitriani, A. (2022). Design Grounding Grid Resistance Of Substation For Two Soil Layer Model. *Journal Of Physics: Conference Series*, 2193(1). <Https://Doi.Org/10.1088/1742-6596/2193/1/012033>.
- Hardi, S., Wardani, D. P., Sinulingga, E. P., & Idris, M. H. (2025). The Influence Of Soil Two-Layer Structures On Substation Safety In Lightning Strike Conditions. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 1463(1). <Https://Doi.Org/10.1088/1755-1315/1463/1/012005>.
- Klik, B., Holatko, J., Jaskulska, I., Gusiatin, M. Z., Hammerschmiedt, T., Brtnicky, M., Liniauskienė, E., Baltazar, T., Jaskulski, D., Kintl, A., & Radziemska, M. (2022). Bentonite As A Functional Material Enhancing Phytostabilization Of Post-Industrial Contaminated Soils With Heavy Metals. *Materials*, 15(23). <Https://Doi.Org/10.3390/Ma15238331>.
- Kusuma Wardhany, A., Damar Aji, A., Reyhan Maydioputra, M., Irawan, A., Utomo Putra, Y., Teknik Elektro, J., Negeri Jakarta, P., Kunci, K., Rod, M., Pembumian, T., & Pembumian, S. (2023). Optimasi Sistem Pembumian Dengan Penerapan Metode Rod Dan Zat Bentonite : Studi Kasus Di Politeknik Negeri Jakarta. In *Print) Jurnal INTEKNA* (Vol. 23, Issue 2). Online. <Http://Ejurnal.Poliban.Ac.Id/Index.Php/Intekna/Issue/Archive>.
- Mohd Azmi, N. S., Mohamed, D., & Mohd Tadza, M. Y. (2021). Effect Of Plasticity Characteristics On The Electrical Resistivity Of Bentonite. *Materials Today: Proceedings*, 48, 796-800. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Matpr.2021.02.318>.
- Rizkullah Fazrin, R., & Tohir, T. (2023). *Pengujian Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Dengan Zat Aditif Bentonit Dan Tanpa Bentonit*.
- Badan Standarisasi Nasional, "PUIL\_2011\_Standar Nasional Indonesia," pp. 1-683, 2011.
- Todaro, C., Saltarin, S., & Cardu, M. (2022). Bentonite In Two-Component Grout Applications. *Case Studies In Construction Materials*, 16. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Cscm.2022.E00901>.
- Zhao, J., Meng, X., Ren, X., Li, S., Zhang, F., Yang, X., Xu, J., & Yuan, Y. (2024). Review On Soil Corrosion And Protection Of Grounding Grids. In *Materials* (Vol. 17, Issue 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <Https://Doi.Org/10.3390/Ma17020507>.