

STUDI KOMPARATIF EFEKTIVITAS BERBAGAI JENIS ZAT ADITIF TERHADAP PERFORMA SISTEM PEMBUMIHAN PADA JENIS TANAH LIAT

Shahfaldi Rizki Gobel^{1*}, Lanto M. Kamil Amali², Yasin Mohamad³, Sardi Salim⁴, Arifin Matoka⁵, Jumiati Ilham⁶

^{1,2,3,4,5,6} Prodi Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo; Jl. Jenderal Sudirman No. 6 Kota Gorontalo, telp: (0435) 821183

Keywords:

Zat Aditif; Elektroda; Sistem Pembumihan.

Correspondent Email:

gobelalady24@gmail.com

Abstrak. Pada sistem tenaga listrik, sistem pembumihan mempunyai peranan yang penting dimana berfungsi untuk mengalirkan arus lebih dari sistem tenaga listrik ke tanah yang disebabkan karena adanya gangguan pada sistem tenaga listrik atau sambaran petir. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental lapangan untuk membandingkan efektivitas berbagai jenis zat aditif dalam meningkatkan performa sistem pembumihan. Berdasarkan hasil pengujian selama lima minggu, penelitian ini menganalisis efektivitas empat jenis zat aditif (Bentonit, Arang Tempurung, Garam (NaCl) dan Gypsum) dalam mereduksi nilai hambatan jenis tanah Semua zat aditif terbukti efektif menurunkan hambatan, namun dengan tingkat keberhasilan yang bervariasi; **Garam (NaCl)** menunjukkan performa terbaik dengan penurunan persentase tertinggi sebesar 97.08 % (dari 96 Ω menjadi 2.8 Ω), diikuti oleh **Bentonit** yang sangat efektif dengan penurunan sebesar 92.78 % (dari 97 Ω menjadi 7 Ω). Sementara itu, Gypsum dan Arang Tempurung menunjukkan efektivitas yang lebih rendah, masing-masing sebesar 77.32 % (dari 97 Ω menjadi 22 Ω) dan 67.37 % (dari 95 Ω menjadi 31 Ω). Hasil pengukuran akhir menunjukkan bahwa hanya ada satu nilai resistansi pada minggu ke-5 yang berhasil mencapai atau berada di bawah ambang batas 5 Ω sebagaimana dipersyaratkan oleh PUIL 2000 yaitu garam dengan nilai resistansi sebesar 2.8 Ω .

Abstract. In the electric power system, the grounding system has an important role where it functions to channel excess current from the electric power system to the ground caused by disturbances in the electric power system or lightning strikes. This study uses an experimental method in the field to compare the effectiveness of various types of additives in improving the performance of the grounding system. Based on the results of testing for five weeks, this study analyzes the effectiveness of four types of additives (Bentonite, Coconut Shell Charcoal, Salt (NaCl) and Gypsum) in reducing the resistance value of soil types. All additives are proven to be effective in reducing resistance, but with varying degrees of success; Salt (NaCl) shows the best performance with the highest percentage reduction of 97.08% (from 96 Ω to 2.8 Ω), followed by Bentonite which is very effective with a reduction of 92.78% (from 97 Ω to 7 Ω). Meanwhile, Gypsum and Coconut Shell Charcoal showed lower effectiveness, respectively 77.32% (from 97 Ω to 22 Ω) and 67.37% (from 95 Ω to 31 Ω). The final measurement results showed that there was only one resistance value in the 5th week that successfully reached or was below the 5 Ω threshold as required by PUIL 2000, namely salt with a resistance value of 2.8 Ω .



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

1. PENDAHULUAN

Pada sistem tenaga listrik, sistem pembumian mempunyai peranan yang penting dimana berfungsi untuk mengalirkan arus lebih dari sistem tenaga listrik ke tanah yang disebabkan karena adanya gangguan pada sistem tenaga listrik atau sambaran petir. [1]

Pada prinsipnya, desain pentanahan yang aman memiliki dua tujuan Sebagai sarana untuk mengalirkan arus listrik ke bumi di bawah kondisi normal dan gangguan tanpa melebihi batas operasi dan peralatan atau mempengaruhi kesinambungan layanan. Tujuan berikutnya adalah untuk mengurangi risiko seseorang di sekitar fasilitas yang terkena bahaya kejutan Listrik [2]

Sistem pembumian berfungsi krusial untuk mengalirkan arus gangguan (arus lebih dan sambaran petir) ke tanah demi keselamatan manusia dan peralatan listrik. Komponen sistem tenaga listrik mulai dari pembangkitan sampai dengan distribusi tidak luput dari adanya lonjakan arus dan tegangan. Oleh karena itu, sistem pembumian proteksi yang efektif merupakan kunci utama untuk mengurangi bahaya tersebut. [3] Keandalan sistem pembumian ditentukan oleh nilai resistansi elektroda, di mana nilai yang ideal adalah serendah mungkin, dengan acuan standar **PUIL 2000** sebesar maksimum **5 Ω** .

Untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang diharuskan tersebut ada beberapa faktor yang mempengaruhinya antara lain resistivitas tanah, kelembaban tanah, suhu tanah, bentuk sistem pentanahan, serta diameter elektroda yang dipakai. [4] sehingga diperlukan upaya mereduksi nilai tersebut.

Terdapat beberapa cara yang sering dilakukan untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan bila resistansinya tinggi, antara lain dengan mengganti elektroda pentanahan dengan yang lebih besar, menambah kedalaman penanaman elektroda, menambah jumlah elektroda kemudian memparalelkannya [5], dan ataupun bisa dengan menambahkan zat aditif pada tanah (soil treatment) [6].

Metode Soil Treatment dapat menurunkan resistansi pentanahan dengan merubah komposisi tanah menggunakan zat aditif yang

dimasukkan kedalam sebuah parit yang berbentuk tabung atau parit melingkar. Metode ini mampu menjaga kelembaban tanah dan mereduksi tahanan pentanahan sehingga nilai tahanan pentanahan dapat turun hingga 15%-90% dari nilai tahanan aslinya [7]. Zat aditif dapat memengaruhi nilai resistansi pada tanah. Zat aditif tersebut dapat berupa, gypsum, serbuk arang, garam, zeolit, dan bentonit. Bentonit merupakan salah satu zat aditif yang dapat digunakan untuk menurunkan nilai resistivitas pada tanah. Bentonit ini mampu untuk menyerap air dan menahannya untuk waktu yang cukup lama.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan zat aditif sebagai soil treatment dalam menurunkan resistansi elektroda batang pada sistem pembumian. Penelitian ini secara spesifik membandingkan efektivitas keempat zat aditif tersebut untuk menemukan solusi paling optimal dalam perancangan sistem pembumian pada tanah beresistivitas tinggi.

Penelitian yang dilakukan sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya salah satunya [8] Analisis Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dan Magnesium Sulfat Terhadap Penurunan Resistansi Pentanahan dimana dari hasil penelitian didapatkan bahwasanya Resistansi pentanahan elektroda batang tunggal dan paralel saat kondisi basah 394 Ω dan 211 Ω sedangkan kondisi kering 413 Ω dan 219 Ω . Setelah ditambahkan zat aditif nilai resistansi menurun signifikan dengan resistansi elektroda batang tunggal dan paralel saat kondisi basah 70,6 Ω dan 40 Ω , sedangkan kondisi kering 75 Ω dan 41,3 Ω . Penurunan resistansi terbesar terjadi pada elektroda batang paralel setelah ditambahkan zat aditif yaitu sebesar 89.8 % kondisi basah dan 90% kondisi kering. Dengan persentase penurunan tersebut, maka penelitian dengan metode soil treatment dapat dikatakan berhasil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan (Grounding System)

Salah satu cara untuk meminimalisir dampak yang dapat diakibatkan saat terjadinya

gangguan di saat pengoperasian sistem ketenagalistrikan adalah dengan membangun sistem pentanahan. Sistem pentanahan atau grounding system merupakan circuit yang menghubungkan antara sistem tenaga listrik dengan tanah.

Pada dasarnya sistem pentanahan digunakan pada seluruh komponen tenaga listrik, mulai dari pembangkitan, transmisi, distribusi, perumahan, dan juga industri. [9]

Secara garis besar tujuan dari sistem pentanahan sebagai berikut, yaitu : (1) Menyebarkan arus gangguan yang berasal dari petir dan lonjakan arus ke bumi (2) Untuk melindungi individu dari perangkat yang biasanya tidak mengalirkan listrik namun dapat mengalirkan listrik jika terjadi kerusakan (3) Jika terjadi gangguan, mekanisme grounding juga berfungsi untuk membatasi tegangan fasa utuh (4) Menjaga tingkat kinerja peralatan untuk pengoperasian sistem yang optimal. [10]

Fungsi pentanahan merupakan sistem yang dapat mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui suatu elektroda pembumian yang ditanam dalam tanah. Selain itu juga berfungsi sebagai pengaman bagi peralatan dan manusia dari bahaya listrik.

2.2 Tanah

Tanah merupakan faktor yang berpengaruh pada pentanahan. Jenis, karakter tanah berbeda satu daerah dengan daerah lain. Sistem yang digunakan jika akan menggunakan pentanahan harus sistem yang mampu mengalirkan gangguan secara cepat dan menyeluruh di tanah. Penelitian karakteristik tanah harus diukur agar faktor pentanahan yang digunakan baik untuk sistem pentanahan. Faktor yang mempengaruhi tanah antara lain jenis tanah, lapisan tanah, kandungan air/kelembaban tanah, temperatur tanah dan keasaman/pH tanah. Dalam sistem pentanahan jenis tanah sangat mempengaruhi baik atau buruknya sistem pentanahan tersebut, hal itu disebabkan karena tidak semua jenis tanah ini memiliki nilai resistansi pentanahan yang baik [11]

Selain itu, nilai resistansi tanah dipengaruhi oleh tinggi atau rendahnya resistivitas tanah itu sendiri. Berdasarkan PUIL tahun 2000, nilai tahanan jenis tanah dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Tanah

NO.	JENIS TANAH	RESISTANSI TANAH (Ωm)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

Pada **Tabel 2.1** diatas adalah urutan tanah dari tahanan tanah yang sangat rendah berdasarkan jenis tanah yang ada di indonesia, Resistivitas tanah sangat menentukan resistansi pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tanah yang memiliki kandungan air garam dapat menghasilkan tahanan tanah yang sangat rendah dibandingkan dengan jenis tanah yang lain, karena jenis tanah yang mengandung air garam memiliki zat adiktif yang tinggi sehingga dapat menghasilkan tahanan tanah yang rendah untuk sebuah sistem grounding resistivitas tanah diberikan dalam satuan Ω -meter.

2.3 Elektroda Pentanahan

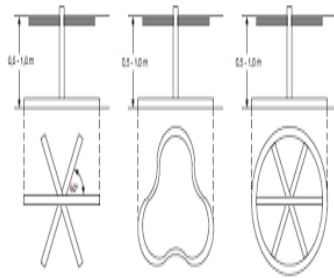
Elektroda pentanahan ini ditanam dan disambung dengan konduktor ke alat atau sistem yang telah dibuat. Bahan penghantar yang ditanam di tanah dan tidak terhubung dengan isolasi (seperti kawat tembaga) bahan elektroda pentanahan.

Karakteristik elektroda yang baik diantaranya (1) Memiliki kemampuan hantar (conductivity) yang mampu memperkecil tegangan sehingga aman digunakan. (2) Memiliki struktur bahan yang digunakan mampu bertahan terhadap masalah yang ada di lingkungan elektroda. (3) Mampu bertahan pada gangguan gelombang tegangan, arus gangguan pada waktu yang lama terhadap pelapukan bahan. Terdapat beberapa jenis Elektroda Pentanahan diantaranya :

1. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah jenis dari elektroda pentanahan yang umumnya dipakai pada wilayah dengan struktur tahanan jenis tanah yang landai atau bisa disebut cocok pada wilayah yang jarang mengalami kekeringan. Elektroda pita biasanya terbuat dari bahan logam yang dipilin.

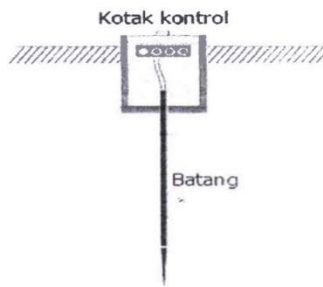
Gambar 2.2 Elektroda Pita



2. Elektroda Batang

Elektroda Batang adalah elektroda yang saat ini banyak dipakai di grounding. Pada Penggunaannya, jumlah dan ukuran elektroda batang dipilih dan disesuaikan dengan resistansi pada tanah yang dibutuhkan. Elektroda batang biasanya terbuat dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya.

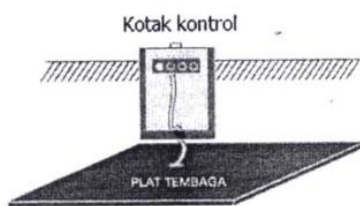
Gambar 2.2 Elektroda Batang



3. Elektroda Plat

Elektroda pelat terbuat dari lempengan pelat logam yang berbentuk persegi atau persegi panjang. Penanaman elektroda pelat di dalam tanah ditanam secara tegak lurus di dalam tanah sekurang-kurangnya ditanam sedalam 1,5 meter di dalam tanah.

Gambar 2.3 Elektroda Plat



2.4 Zat Aditif

Zat aditif digunakan sebagai upaya untuk merubah kondisi tanah agar bisa merubah nilai dari resistansi tanah. Dengan menggunakan metode Soil Treatment tanah bisa mengalami perubahan sesuai dengan jenis zat aditif yang ditambahkan. [12] Ada beberapa bahan kimia yang cocok untuk tujuan ini, menurut Standar IEEE yaitu penggunaan natrium klorida, magnesium, dan tembaga sulfat, atau kalsium

klorida, dapat meningkatkan konduktivitas tanah di sekitar elektroda. [13] Berikut bahan yang juga bisa digunakan pada Soil Treatment : (1) Bentonite ; Bentonit akan meningkatkan kelembapan tanah dan menjaga kandungan air di dalam tanah. [14] (2) Gypsum ; Gypsum merupakan batu putih yang terbentuk dari pengendapan air laut, mineral yang tersusun dari kalsium sulfat dehydrate, yang memiliki rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Komposisi Calcium Oksida (CaO) 32,57 %, Air (H_2O) : 20,93 %, dan Sulfur (S) 18,62 %, dengan komposisi calcium dan calcium oksida yang tinggi diharapkan gypsum dapat membantu mereduksi resistansi pentanahan. [15] (3) Arang tempurung kelapa dapat digunakan untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan karena memiliki poripori yang dapat menyimpan dan menyerap air sehingga dapat menjaga kelembapan tanah serta memiliki sifat konduktif. [8] (4) Garam (NaCl) ; Garam atau larutan garam yang merupakan suatu elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik ke dalam tanah sehingga dapat meningkatkan konduktivitas atau daya hantar listrik di dalam tanah yang cukup baik. Selain itu garam memiliki sifat yang dapat mengikat tanah sehingga dapat mengubah komposisi tanah menjadi lebih padat meningkatkan konduktivitas listrik dari suatu tanah.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental di lapangan dengan memasang elektroda batang sebagai elektroda yang diuji besarnya nilai resistansi pembumian dimana elektroda yang ditancapkan ketanah ini diberikan perlakuan berbeda, yaitu penggunaan zat aditif yang bervariasi. Dengan menggabungkan pendekatan komparatif dan eksperimental, penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang kuat mengenai jenis zat aditif mana yang paling efektif dalam meningkatkan performa sistem pembumian melalui penurunan nilai resistansi elektroda pembumian. Untuk mencapai tujuan penelitian, maka tahapan yang perlu dilakukan adalah dengan mempersiapkan hal-hal dibawah ini :

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat Penelitian

Alat Penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1-3.7

Gambar 3.1 Earth tester



Gambar 3.2 Thermometer



Gambar 3.3 Linggis



Gambar 3.4 Meter



Gambar 3.5 Palu



Gambar 3.6 Timbangan



Gambar 3.7 Elektroda Batang



3.1.2 Bahan Penelitian

Bahan Penelitian dapat dilihat pada gambar 3.8-3.11

Gambar 3.8 Serbuk Bentonite



Gambar 3.9 Serbuk Gypsum



Gambar 3.10 Arang Tempurung Kelapa



Gambar 3.11 NaCl (Garam Dapur)

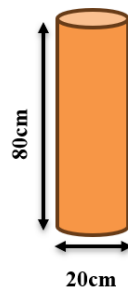


3.2 Tahap Pengujian

3.2.1 Membuat lubang pembeduan.

Pada tahap ini lubang dibuat sebanyak 4 lubang dengan jarak 250 cm setiap lubangnya. Kedalaman setiap lubang yakni 80 cm dengan diameter 20 cm. Alat yang digunakan untuk membuat lubang pada tanah yaitu linggis.

Gambar 3.12 Membuat Lubang Pembeduan



3.2.2 Penanaman Elektroda pembeduan

Setelah semua lubang dibuat, tahap selanjutnya menancapkan elektroda tembaga ke dalam lubang dengan cara dipukul memakai palu.

Gambar 3.13 Penanaman Elektroda Pembeduan



3.2.3 Pengukuran nilai resistansi elektroda pembeduan.

Gambar 3.14 Pengukuran Nilai Resistansi Pada Lubang 1-4 Minggu ke-0



3.3.3 Memberikan perlakuan ke tanah yang ditanami elektroda sebanyak 1 Kg (Metode Soil Treatment).

Gambar 3.15 Penambahan Zat Aditif Pada Lubang 1 dan 2 Minggu ke-0

Bentonite

Arang Tempurung Kelapa



Gambar 3.16 Penambahan Zat Aditif Pada Lubang 1 dan 2 Minggu ke-0

Gypsum

Garam (NaCl)



Gambar 3.17 Pengukuran Nilai Resistansi Pada Lubang 1-4 Minggu ke-1**Tabel 4.1 Nilai Resistansi Awal & Suhu Udara saat pengukuran**

No	Elektroda	Penanaman Elektroda (cm)	Resistansi (Ohm)	Suhu Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	80	97 Ω	38,2	Kering
2	B	80	95 Ω		
3	C	80	96 Ω		
4	D	80	97 Ω		

4.1.2 Nilai Resistansi Setelah Perlakuan Zat Aditif.**Tabel 4.2 Nilai Resistansi dengan penggunaan 1 Kg zat Aditif Minggu ke 1**

No	Elektroda	Zat Aditif	Resistansi Elektroda (Ohm)	Suhu Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	Bentonite	65 Ω	36,1	Kering
2	B	Arang Tempurung	84 Ω		
3	C	NaCl (Garam Dapur)	60 Ω		
4	D	Gypsum	72 Ω		

Tabel 4.2 Nilai Resistansi dengan Penggunaan 2 kg Zat Aditif Minggu Ke 2

No	Elektroda	Zat Aditif	Resistansi Elektroda (Ohm)	Suhu Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	Bentonite	47 Ω	37,5	Kering
2	B	Arang Tempurung	78 Ω		
3	C	NaCl (Garam Dapur)	29 Ω		
4	D	Gypsum	60 Ω		

Tabel 4.3 Nilai Resistansi dengan Penggunaan 3 kg Zat Aditif Minggu Ke 3

No	Elektroda	Zat Aditif	Resistansi Elektroda (Ohm)	Suhu Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	Bentonite	35 Ω	26,8	Kering
2	B	Arang Tempurung	60 Ω		
3	C	NaCl (Garam Dapur)	16 Ω		
4	D	Gypsum	40 Ω		

Tabel 4.4 Nilai Resistansi dengan Penggunaan 4 kg Zat Aditif Minggu Ke 4

No	Elektroda	Zat Aditif	Resistansi Elektroda (Ohm)	Suhu Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	Bentonite	19 Ω	33,2	Kering
2	B	Arang Tempurung	52 Ω		
3	C	NaCl (Garam Dapur)	6 Ω		
4	D	Gypsum	35 Ω		

3.3.4 Pengaplikasian secara berulang

Peneliti melakukan kembali proses penambahan zat aditif sebanyak 1Kg ke dalam lubang pembumian setelah tahap kelima (5) dilakukan, lalu diukur kembali nilai resistansi elektroda pembumiannya pada minggu berikutnya. Proses ini dilakukan sebanyak 5 kali, dengan rentan waktu 5 minggu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen ini dilaksanakan di Kampus 4 Bone Bolango, tepatnya di area belakang Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Lokasi ini dipilih karena aksesibilitasnya yang mudah dan kedekatannya dengan fasilitas laboratorium yang mendukung, memungkinkan pemantauan dan pengelolaan eksperimen secara efisien. Berdasarkan observasi visual, kondisi tanah di lokasi eksperimen berupa tanah liat, yang secara umum memiliki tingkat resistivitas yang cukup tinggi. Kedalaman muka air tanah bervariasi tergantung musim, namun pada umumnya berada di bawah 2 meter dari permukaan tanah selama periode eksperimen.

4.1 Hasil Pengukuran Resistansi Elektroda Pembumian**4.1.1 Nilai Resistansi Awal Tanpa Zat Aditif**

Tabel 4.5 Nilai Resistansi dengan Penggunaan 5 kg Zat Aditif Minggu Ke 5

No	Elektroda	Zat Aditif	Resistansi Elektroda (Ohm)	Substansi Udara (°C)	Kondisi Tanah
1	A	Bentonite	7 Ω	31,5	Kering
2	B	Arang Tempurung	31 Ω		
3	C	NaCl (Garam Dapur)	2,8 Ω		
4	D	Gypsum	22 Ω		

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Resistansi Elektroda Pembumian

No	Zat Aditif	Nilai Awal (Minggu ke-0)	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5	Persentase Penurunan (%)
1	Bentonite	97 Ω	65 Ω	47 Ω	35 Ω	19 Ω	7 Ω	92,78
2	Arang Tempurung	95 Ω	84 Ω	78 Ω	60 Ω	52 Ω	31 Ω	67,37
3	Garam (NaCl)	96 Ω	60 Ω	29 Ω	16 Ω	6 Ω	2,8 Ω	97,08
4	Gypsum	97 Ω	72 Ω	60 Ω	40 Ω	35 Ω	22 Ω	77,32

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Penurunan Nilai Resistansi Elektroda Pembumian

1. Kondisi Awal (Sebelum Penambahan Zat Aditif)

Pengukuran awal dilakukan terhadap 4 (empat) elektroda pembumian tanpa adanya zat aditif (minggu ke-0). Hasil pengukuran menunjukkan nilai resistansi yang cukup tinggi, yaitu :

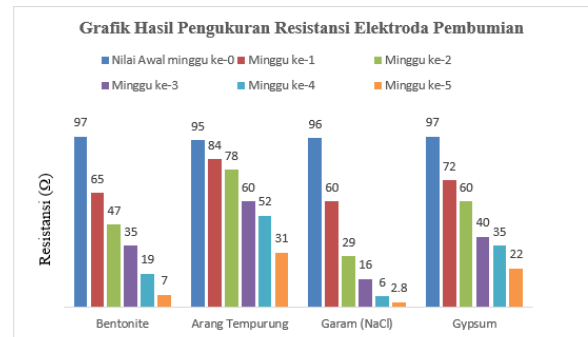
1. Elektroda A : 97 Ω
2. Elektroda B : 95 Ω
3. Elektroda C : 96 Ω
4. Elektroda D : 97 Ω

Nilai-nilai tersebut mencerminkan bahwa kondisi alami tanah tidak mendukung sistem pembumian yang baik dan memerlukan perlakuan khusus untuk menurunkan nilai resistansinya. Selain itu apabila pada kondisi normal, elektroda tidak mampu menghantarkan arus gangguan dengan efisien, yang dapat berpotensi membahayakan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

2. Perlakuan Penambahan Zat Aditif

Setiap elektroda diberi perlakuan dengan penambahan zat aditif yang berbeda, yaitu: Bentonit, Arang tempurung kelapa, Garam dapur (NaCl) dan Gypsum. Pemberian zat aditif dilakukan secara bertahap sebanyak 1 kg per minggu selama 5 minggu, langsung di sekitar area elektroda. Tujuan dari pemberian bertahap ini adalah untuk melihat pengaruh progresif dari tiap zat aditif terhadap nilai resistansi elektroda secara lebih rinci.

Gambar 3.18 Grafik Hasil Pengukuran Resistansi Elektroda Pembumian



Berdasarkan **Grafik** di atas, terlihat bahwa semua zat aditif yang digunakan mampu menurunkan nilai resistansi tanah secara signifikan, meskipun tingkat efektivitasnya bervariasi seperti diuraikan sebagai berikut :

1. **Bentonite** nilai resistansinya dimulai pada 97 Ω pada awal pengukuran (Minggu ke-0). Terjadi penurunan drastis pada Minggu ke-1 menjadi 65 Ω , kemudian berlanjut ke 47 Ω di Minggu ke-2, dan mencapai 35 Ω di Minggu ke-3. Penurunan yang lebih tajam terlihat pada Minggu ke-4 menjadi 19 Ω , dan akhirnya mencapai nilai terendah 7 Ω pada Minggu ke-5. Pola ini menunjukkan efektivitas Bentonit yang meningkat secara progresif, terutama di akhir periode pengujian. Bentonite menunjukkan penurunan yang sangat signifikan dengan persentase 92,78%, dari 97 Ω menjadi 7 Ω . Bentonit mampu menyerap dan menyimpan air dalam waktu lama, sehingga meningkatkan kelembapan tanah secara konsisten dan menurunkan resistansi secara stabil. Selain itu, bentonit relatif aman bagi lingkungan dan tidak merusak elektroda.
2. **Arang Tempurung**, resistansi awal adalah 95 Ω pada awal pengukuran (Minggu ke-0). Penurunan awal relatif moderat, yaitu menjadi 84 Ω di Minggu ke-1, dan kemudian 78 Ω di Minggu ke-2. Namun, terjadi penurunan signifikan pada Minggu ke-3 menjadi 60 Ω , yang kemudian berlanjut menjadi 52 Ω di Minggu ke-4. Pada Minggu ke-5, penurunan melambat, dengan resistansi mencapai 31 Ω . Arang tempurung kelapa menunjukkan penurunan resistansi hingga 67,37%, dari 95 Ω

menjadi 31 Ω . Meskipun hasilnya tidak setajam bahan lainnya, arang tempurung memiliki keunggulan sebagai bahan ramah lingkungan, tidak korosif, serta memiliki sifat konduktif sehingga dapat meningkatkan konduktivitas atau daya hantar listrik di dalam tanah. Meskipun menunjukkan penurunan, nilai akhirnya tidak serendah Bentonit atau Garam.

3. **Garam dapur (NaCl)** menunjukkan kinerja yang paling cepat dan efektif dalam menurunkan resistansi. Dimulai dari 96 Ω di Minggu ke-0, resistansinya langsung anjlok menjadi 60 Ω pada Minggu ke-1. Penurunan tajam ini terus berlanjut ke 29 Ω di Minggu ke-2, dan kemudian menjadi 16 Ω di Minggu ke-3. Pada Minggu ke-4, resistansi turun lagi menjadi 6 Ω , dan mencapai nilai terendah di antara semua zat aditif, yaitu 2,8 Ω pada Minggu ke-5. Data ini menggaris bawahi kecepatan Garam dalam memodifikasi konduktivitas tanah secara signifikan. Garam memberikan penurunan tertinggi, dengan persentase 97,08% dari 96 Ω menjadi 2,8 Ω .

Hal ini dikarenakan NaCl merupakan senyawa elektrolit kuat yang menghasilkan ion-ion bebas (Na^+ dan Cl^-) yang sangat konduktif dalam tanah. Meskipun sangat efektif, penggunaan garam perlu dipertimbangkan dari sisi korosivitas terhadap elektroda dan dampak lingkungan jangka panjang.

4. **Gypsum** memulai pengukuran awal dengan nilai resistansi sebesar 97 Ω pada Minggu ke-0, yang merupakan nilai awal terendah di antara keempat zat aditif. Resistansinya menurun menjadi 72 Ω pada Minggu ke-1, dan kemudian 60 Ω pada Minggu ke-2. Pada Minggu ke-3 menjadi 40 Ω , Gypsum kembali menunjukkan penurunan pada Minggu ke-4 menjadi 35 Ω , dan akhirnya mencapai 22 Ω pada Minggu ke-5. Meskipun nilai akhirnya lebih tinggi dari Bentonit dan Garam, Gypsum tetap menunjukkan kemampuan yang konsisten dalam menurunkan resistansi seiring waktu. Gypsum menghasilkan penurunan resistansi hingga 77,32%, dari 97 Ω menjadi 22 Ω . Meskipun tidak seefisien bentonit atau garam, dengan

adanya kalsium klorida gypsum mampu menurunkan nilai resistansi.

4.2.2 Analisis Nilai Resistansi Elektroda Terhadap PUIL 2000

Analisis hasil pengukuran resistansi elektroda pembedaan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai jenis zat aditif dalam menurunkan nilai resistansi tanah mendekati batas maksimum yang diperbolehkan oleh **Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL)**. PUIL 2000, yang mengatur ketentuan sistem pembedaan dalam instalasi tenaga listrik, menetapkan bahwa nilai resistansi pembedaan harus berada pada nilai tahanan pembedaan yang baik sebesar ≤ 5 Ohm untuk menjamin keselamatan sistem kelistrikan, perlindungan peralatan, dan keamanan bagi manusia dari risiko sengatan listrik akibat kebocoran arus atau gangguan hubungan tanah. [16]

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan selama 5 (lima) minggu secara berkala, diperoleh data bahwa semua jenis zat aditif yakni Bentonite, Arang Tempurung Kelapa, Garam Dapur (NaCl), dan Gypsum menunjukkan tren penurunan resistansi dari minggu ke minggu. Penurunan ini mencerminkan adanya peningkatan konduktivitas tanah akibat kehadiran zat-zat aditif tersebut, yang berfungsi memperbaiki struktur dan kelembaban tanah di sekitar elektroda pembedaan. Namun, hasil pengukuran akhir menunjukkan bahwa hanya ada satu nilai resistansi pada minggu ke-5 berhasil mencapai atau berada di bawah ambang batas 5 Ω , sebagaimana dipersyaratkan oleh PUIL 2000.

Secara rinci, nilai resistansi pada minggu ke-5 untuk masing-masing bahan adalah Bentonite sebesar 7 Ω , Arang Tempurung Kelapa sebesar 31 Ω , Garam Dapur (NaCl) sebesar 2,8 Ω dan Gypsum sebesar 22 Ω . Jika dibandingkan dengan standar PUIL 2000, ada beberapa nilai yang masih tergolong sangat tinggi, yaitu 6 kali lipat dari batas maksimum yang diizinkan. Dengan kata lain, sistem pembedaan yang hanya menggunakan bahan aditif ini belum layak dinyatakan memenuhi standar nasional, meskipun telah menunjukkan efektivitas relatif dalam menurunkan nilai resistansi dibandingkan dengan nilai awal. Garam dapur (NaCl) merupakan zat aditif yang

memberikan penurunan resistansi tertinggi hingga mencapai 97,08% persentase penurunannya dari nilai awal, dan hasil akhirnya mampu memenuhi standar PUIL 2000, yakni 2,8 Ω .

Selanjutnya, nilai resistansi terendah kedua diperoleh dari penggunaan Bentonite dengan persentase penurunan sebesar 92,78% yakni sebesar 7 Ω , namun nilai tersebut belum memenuhi standar. Diikuti oleh Gypsum dengan nilai resistansi akhir sebesar 22 Ω , dan nilai resistansinya masih tergolong tinggi adalah Arang Tempurung yaitu sebesar 31 Ω . Semua bahan menunjukkan kemampuan dalam menurunkan resistansi secara bertahap, namun ada beberapa penurunan nilai resistansinya yang masih belum efisien untuk memenuhi spesifikasi teknis sistem pembumian menurut PUIL 2000.

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap masih tingginya nilai resistansi ini adalah sifat alami dari tanah dan keterbatasan pengaruh dari satu jenis zat aditif. Selain itu, faktor-faktor lain seperti curah hujan, kelembaban tanah, suhu lingkungan, serta desain elektroda (kedalaman, diameter, jumlah batang) turut mempengaruhi efektivitas sistem pembumian secara keseluruhan. Oleh karena itu, berdasarkan analisis terhadap hasil data yang diperoleh, memodifikasi tanah dengan memberikan perlakuan bahan aditif sudah dapat dikatakan efektif walaupun ada beberapa yang belum mampu untuk mencapai ketentuan nilai resistansi pembumian yaitu $\leq 5 \Omega$, sebagaimana dipersyaratkan PUIL 2000.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh penggunaan berbagai jenis zat aditif terhadap nilai resistansi elektroda pembumian, serta analisis perbandingan dengan standar PUIL 2000, maka peneliti menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Seluruh zat aditif yang diuji Bentonite, Arang tempurung kelapa, Garam dapur (NaCl), dan Gypsum terbukti efektif untuk menurunkan nilai resistansi elektroda pembumian secara signifikan selama periode lima minggu pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa zat aditif memiliki peran positif

dalam memperbaiki karakteristik tanah di sekitar elektroda pembumian.

2. Zat aditif dengan efektivitas penurunan resistansi tertinggi adalah Garam dapur (NaCl), dengan persentase penurunan sebesar 97,08%, diikuti oleh Bentonite (92,78%), Gypsum (77,32%), dan Arang Tempurung (67,37%). Efektivitas ini dipengaruhi oleh sifat kimia dan kemampuan masing-masing bahan dalam meningkatkan konduktivitas tanah.
3. Meskipun terjadi penurunan resistansi yang cukup besar, nilai resistansi akhir dari beberapa zat aditif masih berada jauh di atas standar maksimal yang ditetapkan oleh PUIL 2000, hanya garam dapur (NaCl) yang mampu memenuhi standar yaitu $\leq 5 \Omega$ (PUIL 2000).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan yang turut memberikan masukan, arahan, dan bantuan sehingga penelitian serta penulisan jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Hakim, A. Syakur, and A. Nugroho, "Analisis Pengaruh Penambahan Bentonit dan Garam NaCl untuk Mereduksi Resistansi Pentanahan dengan Variasi Kedalaman Elektroda Dan Variasi Konsentrasi," *Transient*, vol. 7, no. 2, pp. 1-7 ISSN: 2302-9927, 523. <https://doi.org/10.14710, 2018>.
- [2] D. J. Sinaga *et al.*, "Dengan Menggunakan Etap Dan Matlab," *Anal. Sist. Pembumian Gardu Induk Dengan Menggunakan ETAP DAN MATLAB*, vol. 13, no. 3, pp. 1118–1123, 2021.
- [3] M. Wahba, M. Abdel-Salam, M. Nayel, and H. A. Ziedan, "Experimental characterization of contact resistance of desert soil with waste-enhancement materials in grounding systems," *Results Eng.*, vol. 23, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102707.
- [4] H. Yuliadi, S. Hardi, and Rohana, "Analisis Perbandingan Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Batang Dan Plat Untuk Perbaikan Nilai Resistansi Pembumian," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 68–74, 2021.
- [5] D. Setiawan, A. Syakur, and A. Nugroho, "Analisis Pengaruh Penambahan Garam Dan

- Arang Sebagai Soil Treatment Dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda,” *Transient*, vol. 7, no. 2, pp. 416–423, 2018.
- [6] R. R. Fazrin, T. Trisnawiyana, and T. Tohir, “Penguujian Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang dengan Zat Aditif Bentonit dan Tanpa Bentonit,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, pp. 103–108, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5369.
- [7] W. Meifiefita, “Soil Treatment Terhadap Tahanan Pentanahan dengan Abu Cangkang Sawit,” *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.*, pp. 2579–5406, 2020.
- [8] A. Defri, “Analisis Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dan Magnesium Sulfat Terhadap Penurunan Resistansi Pentanahan,” *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2024.
- [9] F. Arifin, *Perancangan Dan Simulasi Sistem Pentanahan Menggunakan Etap*, vol. 2, no. 3. 2006.
- [10] D. Andini, Y. Martin, and H. Gusmedi, “Perbaikan Tahanan Pentanahan dengan Menggunakan Bentonit Teraktivasi,” *Electr. – J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 44–53, 2016.
- [11] V. D. Andhika, “Studi Tentang Efektivitas Beberapa Macam Zat Terhadap Nilai Resistansi Sistem Pentanahan (Grounding),” *J. Tek. Elektro*, pp. 501–510, 2020.
- [12] “HANIF ABDUL,” *Pharmacogn. Mag.*, vol. 75, no. 17, pp. 399–405, 2021.
- [13] S. Committee, *IEEE Guide for Safety*, vol. 2000, no. February. 2000.
- [14] R. D. Setiawan, “Pengaruh penambahan bentonit untuk mereduksi nilai resistansi pentanahan jenis elektroda batang berlapis tembaga dan pipa baja galvanis,” *J. Tek. Elektro. Vol. 08 Nomor 02 Tahun 2019*, 437–44, pp. 437–444, 2019.
- [15] E. Yuniarti, “Gypsum Sebagai Soil Treatment dalam Mereduksi Tahanan Pentanahan di Tanah Ladang,” *Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek*, no. November, pp. 1–7, 2016.
- [16] PUIL, “PerPUIL. (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Standar Nasional Indonesia DirJen Ketenagalistrikan, 2000(Puil), 562.syaratn Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000),” *Standar Nas. Indones. DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2000, no. Puil, p. 562, 2000.