

Optimalisasi Grounding Berbasis Semen Konduktif untuk Menurunkan Tahanan Tanah dan Meningkatkan Keandalan

Firman Johan¹, Yuni Aryani Koedoes², Mustamin³, Tambi⁴, Agustinus Lolok⁵, Sahabuddin Hay⁶

^{1,4} Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo, ^{2,3,5,6} Teknik Elektronika, Universitas Halu Oleo

Copresent Author : firmanjohan23@gmail.com; must.ray@gmail.com

Abstract — A well-designed grounding system is characterized by low resistance values to ensure that surge currents, electromagnetic induction, and system imbalances can be rapidly dissipated into the earth. This prevents equipment damage and mitigates risks to human safety. According to IEC 60364 and PUIL, the ideal grounding resistance ranges from 1–5 ohms, or even lower for specialized installations. This study aims to analyze the effect of conductive cement (bentonite) on reducing grounding system resistance across various soil types. The research was conducted at four locations with different soil characteristics: rocky soil, sandy soil, clay soil, and peat soil. The method involved soil treatment using bentonite in three placement configurations relative to the ground rod electrode. Resistance measurements were carried out using the three-point method with an earth tester. The results show that the addition of bentonite significantly reduced grounding resistance in all soil types, with the largest reduction observed in rocky soil at 47.6%. The effectiveness of resistance reduction was influenced by bentonite placement, with the lowest values obtained when bentonite was applied directly beneath the electrode tip. Based on analytical calculations, using 10 kg of bentonite in rocky soil beneath the electrode tip significantly reduced the required depth and number of electrodes to achieve resistance below 1 ohm. These findings indicate that soil treatment with bentonite provides a safe, reliable, and environmentally friendly solution for grounding electrical installations in coarse aggregate soils with high resistivity.

Keyword — Agregat, bentonite, grounding, resistance, Soil treatment.

Abstrak — Sistem grounding yang dirancang dengan baik ditandai oleh nilai tahanan rendah untuk memastikan arus surja, induksi elektromagnetik, dan ketidakseimbangan sistem dapat segera dialirkan ke tanah. Hal ini mencegah kerusakan peralatan serta memitigasi risiko terhadap keselamatan manusia. Mengacu pada IEC 60364 dan PUIL, nilai tahanan grounding ideal berada pada kisaran 1–5 ohm, atau bahkan lebih rendah untuk instalasi khusus. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh semen konduktif (bentonit) dalam menurunkan tahanan sistem grounding pada berbagai jenis tanah. Penelitian dilakukan di empat lokasi dengan karakteristik tanah berbeda, yaitu tanah berbatu, tanah berpasir, tanah liat, dan tanah gambut. Metode yang digunakan melibatkan perlakuan tanah menggunakan bentonit dengan tiga konfigurasi penempatan terhadap elektroda batang bumi. Pengukuran tahanan dilakukan menggunakan metode tiga titik dengan earth tester. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bentonit secara signifikan menurunkan tahanan grounding pada semua jenis tanah, dengan penurunan terbesar pada tanah berbatu sebesar 47,6%. Efektivitas penurunan tahanan dipengaruhi oleh posisi bentonit, dengan nilai terendah diperoleh saat bentonit ditempatkan tepat di bawah ujung elektroda. Berdasarkan perhitungan analitis, penggunaan 10 kg bentonit pada tanah berbatu di bawah ujung elektroda secara signifikan

mengurangi kedalaman dan jumlah elektroda yang dibutuhkan untuk mencapai tahanan di bawah 1 ohm. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan tanah menggunakan bentonit merupakan solusi grounding yang aman, andal, dan ramah lingkungan untuk instalasi listrik pada tanah beragregat kasar dengan resistivitas tinggi.

Kata kunci — Agregat, bentonit, pembumian, tahanan, perlakuan tanah.

I. PENDAHULUAN

Indonesia, yang terletak di jalur khatulistiwa, memiliki frekuensi hari guruh yang tinggi, berkisar antara 100 hingga 200 hari per tahun. Penyaluran energi listrik umumnya dilakukan melalui saluran udara tegangan tinggi dan dilanjutkan distribusinya dengan tegangan menengah 20 kV menuju pusat beban. Desain menara serta tiang distribusi yang bersifat terbuka membuatnya rentan tersambar petir. Sambaran petir tersebut dapat mengganggu kontinuitas penyaluran daya, menurunkan kualitas tegangan, memicu ketidakstabilan sistem, membahayakan keselamatan manusia, serta merusak peralatan listrik dan elektronik. Oleh karena itu, diperlukan sistem pembumian yang andal, efektif, dan sesuai standar untuk menjamin keselamatan, keandalan, dan keberlanjutan operasional sistem tenaga listrik [1],[2],[3],[4]

Dalam sistem pembumian yang dirancang secara optimal, semakin rendah tahanan pembumian, semakin efektif kemampuan sistem dalam menyalurkan arus ke tanah. Dengan demikian, arus gangguan dapat dialihkan sehingga tidak mengalir ke peralatan dan menimbulkan kerusakan. Standar keandalan sistem pembumian umumnya menuntut tahanan tanah berada pada kisaran 1–5 ohm, atau bahkan lebih rendah pada kondisi tertentu [2],[4]. Nilai resistivitas tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, di mana tidak semua jenis tanah memiliki karakteristik yang sesuai untuk pembumian. Faktor seperti kerapatan, tingkat kontaminasi, lokasi geografis, dan kondisi lingkungan menjadi penentu utama nilai resistivitas tersebut [5].

Pada lokasi dengan kondisi tanah berbatu dan keras, nilai resistivitas tanah umumnya sangat tinggi, sehingga pemasangan sistem pembumian dengan batang vertikal menjadi sulit dilakukan [6]. Tahanan tanah dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk jenis tanah, kandungan kimia dan garam, kadar air, suhu, serta ukuran dan distribusi butiran tanah. Salah satu metode untuk menurunkan resistivitas tanah adalah dengan melakukan perlakuan khusus, seperti

menambah jumlah elektroda atau mengganti tanah di sekitar elektroda dengan bahan kimia atau material yang memiliki kemampuan menyerap air dan meningkatkan konduktivitas [7],[8],[9]. Penggunaan bahan kimia berupa semen konduktif terbukti efektif dalam menurunkan tahanan pembumian yang optimal. Keunggulan semen konduktif terletak pada sifatnya yang tidak menyusut, tidak mengering, serta tidak mengalami perubahan resistivitas akibat variasi kelembaban tanah [10],[11],[12].

Berdasarkan perhitungan analitis, penggunaan 10 kg bentonit yang ditempatkan pada tanah berbatu di bawah ujung elektroda secara signifikan mengurangi kedalaman serta jumlah elektroda yang diperlukan untuk mencapai nilai tahanan di bawah 1 ohm. Temuan ini menegaskan bahwa perlakuan tanah dengan bentonit merupakan solusi sistem pembumian yang aman, andal, dan ramah lingkungan, khususnya untuk instalasi listrik pada tanah beragregat kasar dengan resistivitas tinggi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pembumian

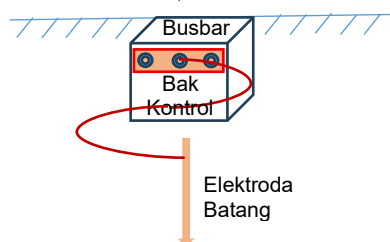
Sistem pembumian adalah komponen krusial dalam menjaga keamanan sistem tenaga listrik, terutama ketika terjadi gangguan arus atau tegangan berlebih. Pada kondisi tersebut, sistem ini berfungsi menyalurkan arus gangguan langsung ke tanah dan menyebarkan secara merata ke segala arah dengan cara yang aman. Tujuan utama penerapan sistem ini adalah memberikan perlindungan terhadap manusia, peralatan, dan instalasi listrik dari potensi bahaya listrik yang tidak diinginkan, sekaligus menjaga keandalan dan keberlanjutan operasi sistem tenaga listrik [13].

B. Jenis-jenis Elektroda Pembumian

Beberapa tipe elektroda dapat digunakan sebagai bagian dari sistem pembumian [3],[7],[13],[14],[15].

1) Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang adalah jenis elektroda yang dibuat dari pipa atau baja profil yang ditanamkan ke dalam tanah. Jenis ini merupakan bentuk paling awal dalam penerapan sistem pembumian, di mana berbagai teori dasar pembumian dikembangkan berdasarkan penggunaannya..

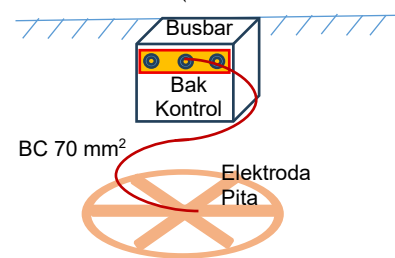


Gambar 1. Elektroda batang

Elektroda batang banyak digunakan pada instalasi listrik rumah tinggal maupun perkantoran karena sifatnya yang praktis, mudah dipasang, dan efisien dalam penerapan sistem pembumian. Dari sisi teknis, pemasangannya relatif sederhana, yakni dengan memancang langsung elektroda ke dalam tanah tanpa memerlukan lahan yang luas, sehingga praktis digunakan di berbagai kondisi lokasi. Umumnya, elektroda batang memiliki panjang sekitar 2 meter; namun, jika nilai tahanan pembumian masih terlalu besar, kedalamannya dapat ditambah atau dipasang beberapa elektroda secara paralel dengan jarak antarbatang sekitar 1 meter, hingga tahanan yang dicapai memenuhi standar keselamatan dan keandalan sistem pembumian.

2) Elektroda Pita

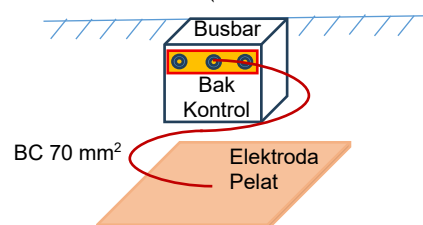
Elektroda pita terbuat dari hantaran berbentuk pita, berpenampang bulat, atau berupa hantaran pilin, yang umumnya dipasang dengan penanaman dangkal. Pemasangan elektroda ini dapat mengalami kendala apabila ditemukan lapisan tanah berbatu, karena selain sulit dalam pemancangan, juga menyulitkan pencapaian nilai tahanan tanah yang rendah. Secara teknis, elektroda pita dapat dipasang dengan dua metode. Pertama, menanam batang hantaran secara vertikal ke dalam tanah namun pada kedalaman terbatas. Kedua, menanam batang hantaran secara horizontal pada kedalaman dangkal.



Gambar 2. Elektroda pita

3) Elektroda Pelat

Elektroda pelat dibuat dari logam berbentuk pelat, baik solid maupun berlubang, atau dari kawat kasa. Biasanya dipasang lebih dalam di bawah permukaan tanah, bukan secara dangkal. Jenis elektroda ini digunakan saat diperlukan nilai tahanan pembumian sangat rendah yang sulit dicapai dengan tipe elektroda lain [7].



Gambar 3. Elektroda pelat

C. Model Penanaman Elektroda Pembumian

Metode pemasangan elektroda yang lazim diterapkan dalam sistem pembumian antara lain meliputi berikut [16].

1) Sistem Pembumian *Driven Rod*

Pada jenis tanah dengan kepadatan sedang atau tidak terlalu padat, metode *driven rod* dinilai efektif karena elektroda dipasang secara tegak lurus menembus permukaan tanah. Hasil penelitian Blattner (1995) dan Widianingsih (2011) mengungkapkan bahwa peningkatan kedalaman pemasangan elektroda berbanding lurus dengan penurunan nilai tahanan pembumian. Perhitungan tahanan pembumian pada metode ini dapat dilakukan menggunakan Persamaan (1) berikut.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{\alpha} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

R = Tahanan pembumian elektroda batang, Ω

π = 22/7 atau 3,14

ρ = Tahanan jenis tanah, Ωm

L = Panjang batang yang tertanam, m

α = Jari-jari elektroda pembumian, m

2) Sistem Pembumian *Grid*

Sistem pembumian tipe *grid* dapat dirancang dalam bentuk konfigurasi bujur sangkar maupun persegi panjang. Rancangan ini mampu menghasilkan impedansi pembumian yang rendah, sehingga gradien tegangan terdistribusi secara lebih merata. Dengan demikian, tingkat keselamatan manusia di sekitar area instalasi meningkat, khususnya terhadap risiko bahaya tegangan langkah.

3) Sistem Pembumian *Counterpoise*

Sistem pembumian *counterpoise* dilakukan dengan menempatkan konduktor secara sejajar di bawah permukaan tanah pada kedalaman beberapa puluh sentimeter. Teknik ini biasanya digunakan di lokasi dengan karakteristik tanah yang keras dan berbatu, atau di wilayah dengan nilai resistivitas tanah yang tinggi.

D. Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pembumian

1) Kadar Dalam Tanah

Kandungan garam yang larut dalam tanah berpengaruh terhadap nilai tahanan jenis tanah. Di wilayah dengan curah hujan tinggi, garam pada lapisan permukaan mudah larut dan terbawa air, sehingga nilai tahanan tanah cenderung meningkat. Oleh karena itu, elektroda sebaiknya ditanam lebih dalam untuk mencapai lapisan tanah yang masih memiliki kandungan garam yang stabil.

2) Pengaruh Kandungan Air (kelembaban)

Kelembaban tanah merupakan faktor penting yang memengaruhi nilai tahanan jenis, terutama ketika kadar air berada di bawah 20%. Semakin tinggi kelembaban tanah, semakin rendah nilai tahanannya. Namun, ketika kadar air telah melebihi 20%, penurunan tahanan tanah tidak lagi signifikan.

3) Pengaruh Temperatur

Secara umum, suhu tanah tidak banyak memengaruhi nilai tahanan jenis selama berada di atas titik beku (0°C). Namun, jika suhu turun di bawah titik beku, air dalam tanah

membeku sehingga konduktivitas listrik berkurang dan tahanan tanah meningkat. Sebaliknya, ketika suhu kembali naik dan es mencair, pergerakan molekul air dan ion menjadi lebih leluasa, sehingga nilai tahanan tanah menurun.

4) Sifat Geologi Tanah

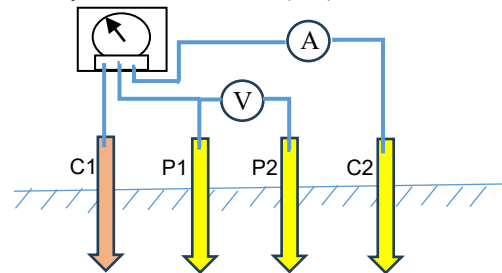
Jenis tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai tahanan. Tanah berbatu atau tanah dengan komposisi mineral yang kurang konduktif umumnya memiliki nilai tahanan yang tinggi.

E. Metode Pengukuran Tahanan Pembumian

Dalam pengukuran tahanan pembumian, terdapat dua metode yang umum digunakan [17], yaitu :

1) Metode Empat Titik

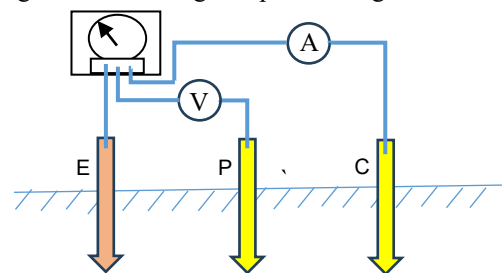
Pada metode pengukuran tahanan pembumian empat titik, digunakan empat batang elektroda pembumian, satu amperemeter, dan satu voltmeter yang terhubung dengan sumber daya arus bolak-balik (AC).



Gambar 4. Metode pengukuran empat titik

2) Metode Tiga Titik

Pada metode pengukuran tahanan pembumian tiga titik, digunakan tiga batang elektroda pembumian. Batang pertama berfungsi sebagai elektroda utama, sedangkan batang kedua dan ketiga berperan sebagai elektroda bantu.



Gambar 5. Metode pengukuran tiga titik

F. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah, yang disimbolkan dengan ρ (rho), merupakan parameter yang menggambarkan keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi di sekelilingnya. Besarnya nilai tahanan jenis tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) berikut.

$$\rho = \frac{2\pi L \cdot R_t}{\left(\ln \frac{4L}{\alpha} - 1 \right)} \quad (2)$$

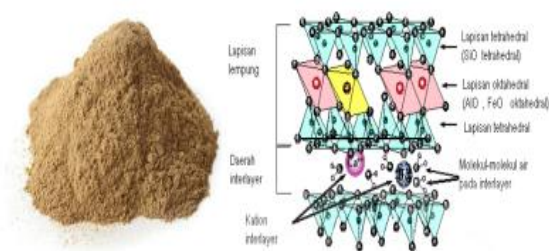
Keterangan:

- ρ = Tahanan jenis tanah, Ωm
 α = Jari-jari elektroda batang, m
 R_t = Tahanan elektroda terukur, Ω
 L = Panjang elektroda batang, m

G. Semen Konduktif (Bentonit)

Semen konduktif biasanya diaplikasikan pada tanah dengan tahanan tinggi, seperti tanah berbatu, berpasir, kering, daerah pegunungan, atau tanah beku, dengan tujuan menurunkan nilai tahanan agar sesuai dengan persyaratan sistem pembumian. Sistem pembumian yang andal umumnya ditargetkan memiliki tahanan $\leq 5 \Omega$ untuk memastikan aliran arus listrik ke tanah berlangsung secara optimal [18].

Bentonit merupakan endapan mineral yang terbentuk dari alterasi abu vulkanik, dengan komposisi utama berupa tanah liat montmorillonit yang memiliki rumus kimia umum $(Mg, Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$. Bentuk fisik bentonit beserta struktur montmorillonit dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentonit dan struktur montmorillonite [8]

Struktur montmorillonit terdiri atas lapisan lempung yang tersusun dari lapisan tetrahedral dan oktahedral, serta dilengkapi dengan daerah interlayer. Pada daerah interlayer inilah terjadi penyerapan molekul-molekul air [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan dengan memberikan perlakuan tanah menggunakan bentonit yang ditempatkan dalam tiga konfigurasi berbeda terhadap elektroda batang bumi. Tahanan pembumian diukur menggunakan metode tiga titik (three-point method) dengan alat earth tester, sehingga diperoleh data akurat mengenai pengaruh variasi konfigurasi penempatan bentonit terhadap nilai tahanan sistem pembumian.

A. Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada empat lokasi di wilayah Kota Kendari yang memiliki karakteristik tanah berbeda, yaitu tanah liat, tanah berpasir, tanah berbatu, dan tanah rawa.

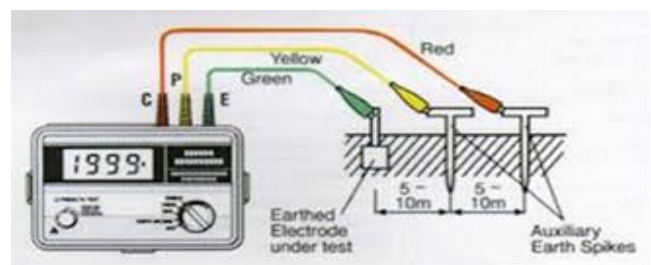
B. Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Satu unit Digital *Earth Tester* merek Kyoritsu model 4105A, dilengkapi dua pasak besi dan tiga kabel, digunakan untuk mengukur tahanan pembumian melalui batang elektroda yang telah dipasang.
- 2) Linggis, ember, timbangan, serta peralatan pendukung lainnya dimanfaatkan untuk pembuatan lubang pembumian, pencampuran semen konduktif, hingga proses pemasangan elektroda di dalam lubang.
- 3) Batang elektroda pembumian terbuat dari besi berlapis tembaga sebanyak 16 batang, masing-masing berukuran panjang 120 cm dengan diameter 8 mm.
- 4) Meter digunakan untuk mengukur dimensi lubang pembumian serta jarak antar pasak besi pada saat pengukuran menggunakan earth tester.
- 5) Semen konduktif jenis bentonit dengan variasi komposisi dan kedalaman pada setiap lubang pengukuran.

C. Pengujian Tahanan Pembumian

Pengujian tahanan pembumian adalah proses pengukuran nilai tahanan elektroda pembumian yang dilakukan setelah elektroda dipasang. Metode yang paling sering digunakan adalah metode tiga titik. Pada perancangan alat ukur tahanan digital ini, digunakan tiga batang elektroda yang ditanam di tanah, yaitu elektroda E (*Earth*), P (*Potential*), dan C (*Current*). Terminal E dihubungkan ke terminal ground yang akan diukur. Elektroda P dipasang pada garis lurus dari terminal E dengan jarak 5–10 meter, sedangkan elektroda C ditempatkan segaris dengan E dan P pada jarak 5–10 meter dari P, seperti terlihat pada Gambar 7.



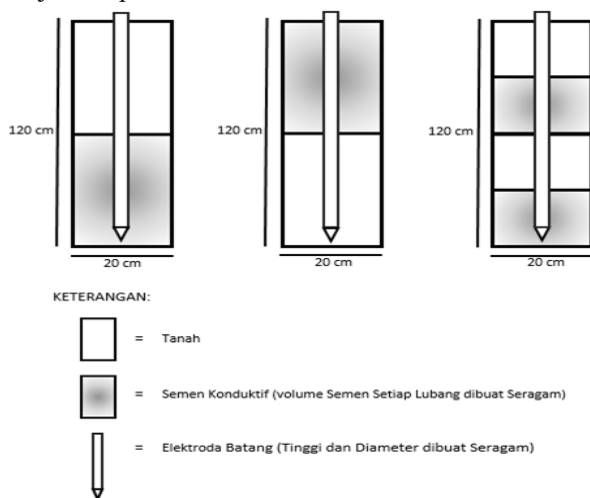
Gambar 7. Pemasangan earth tester metode tiga titik [19]

D. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode pengukuran tiga titik untuk menentukan tahanan pembumian di sekitar elektroda batang yang ditanam. Data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan tanpa kondisi pembebanan. Pengujian difokuskan pada analisis karakteristik pengaruh penggunaan semen konduktif terhadap perubahan nilai tahanan pembumian, dengan konfigurasi elektroda batang yang dipasang sebagai satu kesatuan sistem. Pengujian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu penanaman langsung elektroda batang tanpa semen

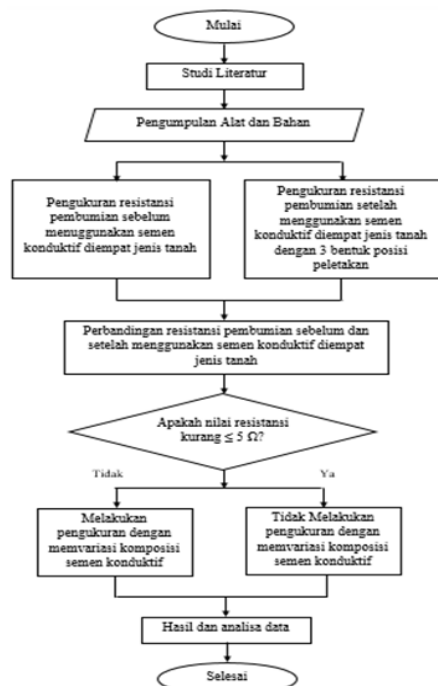
konduktif dan penanaman dengan semen konduktif pada berbagai jenis tanah.

Variabel utama yang dimodifikasi dalam penelitian ini adalah posisi pemasangan semen konduktif terhadap elektroda batang, dengan tujuan menentukan posisi paling efektif untuk menurunkan tahanan pembumian. Jika variasi posisi tersebut belum menghasilkan nilai tahanan sesuai standar PUIL (di bawah $5\ \Omega$), pengujian dilanjutkan dengan memvariasikan komposisi semen konduktif pada tanah betahanan tinggi, menggunakan posisi pemasangan yang telah terbukti paling efektif. Seluruh tahapan ini dilakukan melalui beberapa variasi model objek uji, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Variasi peleteakan semen konduktif pada obyek uji

D. Alur Penelitian

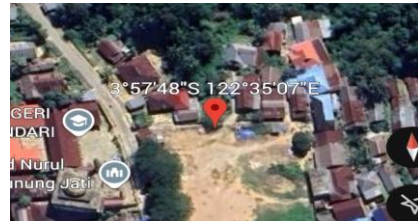


Gambar 9. Alur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

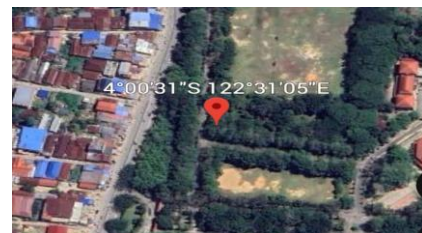
Penelitian ini dilakukan di empat lokasi yang mewakili perbedaan karakteristik jenis tanah, yakni tanah liat, tanah berpasir, tanah berbatu, dan tanah rawa, yang seluruhnya berada di wilayah Kota Kendari. Pelaksanaan kegiatan dimulai setelah seminar proposal dinyatakan tuntas.

1) Penelitian pada jenis tanah berbatu dilakukan di wilayah Gunung Jati, Kota Kendari, dengan titik koordinat $3^{\circ}57'48''$ LS dan $122^{\circ}35'07''$ BT.



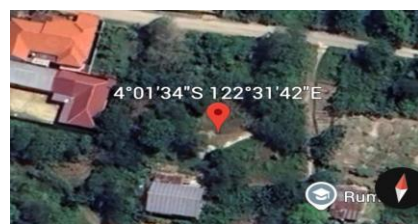
Gambar 10. Lokasi penelitian tanah berbatu

2) Penelitian pada jenis tanah berpasir dilakukan di wilayah Kambu, Kota Kendari, dengan titik koordinat $4^{\circ}00'31''$ LS dan $122^{\circ}31'05''$ BT.



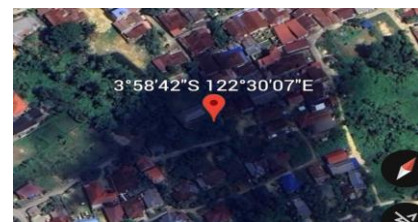
Gambar 11. Lokasi penelitian tanah berpasir

3) Penelitian pada jenis tanah liat dilakukan di wilayah Mokoau, Kota Kendari, dengan titik koordinat $4^{\circ}01'34''$ LS dan $122^{\circ}31'42''$ BT.



Gambar 12. Lokasi penelitian tanah liat

4) Penelitian pada jenis tanah rawa dilakukan di wilayah Mekar Damai, Kota Kendari, dengan titik koordinat $3^{\circ}58'42''$ LS dan $122^{\circ}30'07''$ BT



Gambar 13. Lokasi penelitian tanah rawa

A. Pengukuran Pengaruh Posisi Peletakan Semen Konduktif

1) Pengukuran Tanpa Penambahan Semen Konduktif

Hasil pengukuran elektroda batang tanpa penerapan semen konduktif, sebagaimana disajikan pada Tabel 1, memperlihatkan adanya variasi nilai tahanan tanah pada keempat jenis tanah yang diuji. Tanah berbatu memiliki tahanan tertinggi sebesar 112,8 Ω , diikuti tanah berpasir sebesar 69,5 Ω , dan tanah liat sebesar 35 Ω . Adapun tanah rawa menunjukkan tahanan terendah, yaitu 28,2 Ω

Tabel 1 Pengukuran tahanan tanah tanpa penambahan semen konduktif

No.	Jenis Tanah	Hari Percobaan	Hasil Pengukuran Tahanan (Ω)	Rata-Rata (Ω)
1.	Tanah Berbatu	H - 1	114,9	112,8
		H - 2	102,7	
		H - 3	120,9	
2.	Tanah Berpasir	H - 1	70,3	69,5
		H - 2	68,8	
		H - 3	69,4	
3.	Tanah Liat	H - 1	43,4	35,0
		H - 2	30,7	
		H - 3	31,1	
4.	Tanah Rawa	H - 1	27,4	28,2
		H - 2	28,8	
		H - 3	28,6	

2) Pengukuran Pengaruh Posisi Peletakan Semen Konduktif

a. Tanah Berbatu

Tabel 2 Pengukuran tahanan tanah berbatu dengan penambahan semen konduktif

No	Hari Percobaan	Hasil Pengukuran Dengan Posisi Peletakan (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	
1.	H - 1	48,3	-	-	57,4
2.	H - 2	50,9	-	-	
3.	H - 3	73,2	-	-	
4.	H - 1	-	56,7	-	60,5
5.	H - 2	-	53,7	-	
6.	H - 3	-	71,1	-	
7.	H - 1	-	-	49,5	59,5
8.	H - 2	-	-	71,5	
9.	H - 3	-	-	57,5	

Hasil pengukuran elektroda batang dengan penggunaan semen konduktif pada tanah berbatu, sebagaimana tercantum pada Tabel 2, menunjukkan bahwa variasi tiga posisi peletakan elektroda menghasilkan penurunan tahanan tanah dibandingkan kondisi sebelum penggunaan semen konduktif. Posisi ke-2 memiliki tahanan tertinggi sebesar

60,5 Ω , diikuti posisi ke-3 sebesar 59,5 Ω , sedangkan tahanan terendah pada posisi ke-1 dengan nilai 57,4 Ω .

b. Tanah Berpasir

Hasil pengukuran elektroda batang dengan penggunaan semen konduktif pada tanah berpasir, sebagaimana ditunjukkan pada tabel, memperlihatkan adanya penurunan tahanan tanah dibandingkan kondisi sebelum penggunaan semen konduktif. Variasi posisi peletakan menunjukkan bahwa posisi ke-2 memiliki tahanan tertinggi sebesar 52,3 Ω , diikuti posisi ke-3 sebesar 50,4 Ω , sedangkan tahanan terendah diperoleh pada posisi ke-1 dengan nilai 49,6 Ω .

Tabel 3 Pengukuran tahanan tanah berpasir dengan penambahan semen konduktif

No	Hari Percobaan	Hasil Pengukuran Dengan Posisi Peletakan (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	
1.	H - 1	51,5	-	-	49,6
2.	H - 2	48,9	-	-	
3.	H - 3	48,5	-	-	
4.	H - 1	-	54,4	-	52,3
5.	H - 2	-	51,5	-	
6.	H - 3	-	51,0	-	
7.	H - 1	-	-	52,4	50,4
8.	H - 2	-	-	49,6	
9.	H - 3	-	-	49,3	

c. Tanah Liat

Hasil pengukuran elektroda batang dengan penggunaan semen konduktif pada tanah liat, sebagaimana ditunjukkan pada tabel, menunjukkan adanya penurunan tahanan tanah dibandingkan kondisi sebelum penggunaan semen konduktif. Variasi posisi peletakan memperlihatkan bahwa posisi ke-2 menghasilkan tahanan tertinggi sebesar 32,9 Ω , diikuti posisi ke-1 sebesar 30 Ω , sedangkan tahanan terendah diperoleh pada posisi ke-3 dengan nilai 29,6 Ω .

Tabel 4 Pengukuran tahanan tanah liat dengan penambahan semen konduktif

No	Hari Percobaan	Hasil Pengukuran Dengan Posisi Peletakan (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	
1.	H - 1	35,0	-	-	30,0
2.	H - 2	27,3	-	-	
3.	H - 3	27,8	-	-	
4.	H - 1	-	38,8	-	32,9
5.	H - 2	-	29,5	-	
6.	H - 3	-	30,5	-	
7.	H - 1	-	-	32,1	29,6
8.	H - 2	-	-	28,4	
9.	H - 3	-	-	28,5	

d. Tanah Rawa

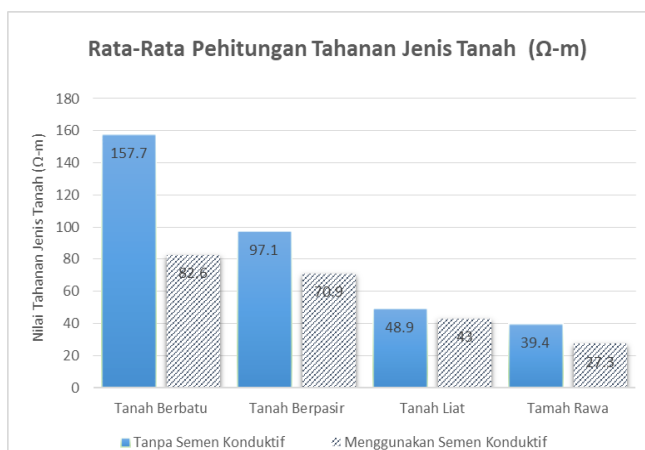
Pengukuran elektroda batang dengan penggunaan semen konduktif pada tanah rawa, sebagaimana ditunjukkan pada tabel, memperlihatkan penurunan tahanan tanah dibandingkan kondisi sebelum penggunaan semen konduktif. Variasi posisi peletakan menunjukkan bahwa posisi ke-1 menghasilkan tahanan tertinggi sebesar $20,7 \Omega$, diikuti posisi ke-3 sebesar $19,45 \Omega$, sedangkan tahanan terendah diperoleh pada posisi ke-2 dengan nilai $18,45 \Omega$.

Tabel 5 Pengukuran tahanan tanah rawa dengan penambahan semen konduktif

No	Hari Perco baan	Hasil Pengukuran Dengan Posisi Peletakan (Ω)			Rata-rata (Ω)
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	
1.	H - 1	20,5	-	-	20,7
2.	H - 2	20,4	-	-	
3.	H - 3	21,3	-	-	
4.	H - 1	-	17,2	-	18,4
5.	H - 2	-	19,3	-	
6.	H - 3	-	19,2	-	
7.	H - 1	-	-	19,1	19,5
8.	H - 2	-	-	20,1	
9.	H - 3	-	-	19,5	

B. Analisa Perbandingan Tahanan Jenis Tanah dengan Soil Treatment

Nilai resistivitas atau tahanan jenis tanah dapat ditentukan berdasarkan parameter hasil pengukuran yang diperoleh melalui metode tiga titik (*Driven Rod*), sebagaimana ditunjukkan pada tabel hasil pengukuran. Perhitungan tahanan jenis tanah dilakukan menggunakan Persamaan (2).



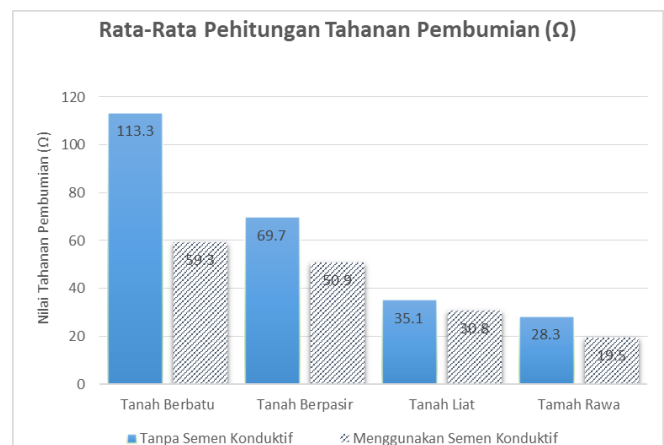
Gambar 14. Tahanan jenis tanah dengan soil treatment

Berdasarkan hasil perhitungan pada elektroda batang tunggal, diperoleh nilai rata-rata tahanan jenis tanah untuk setiap lokasi. Analisis pada empat jenis tanah, baik sebelum

maupun setelah penambahan semen konduktif, menunjukkan adanya penurunan nilai tahanan jenis tanah setelah penambahan semen konduktif. Rangkuman nilai rata-rata tahanan jenis tanah sebelum dan sesudah penggunaan semen konduktif, dengan tiga variasi posisi pada empat lokasi berbeda, disajikan pada Gambar 14.

C. Analisa Perbandingan Tahanan Pembumian dengan Soil Treatment

Berdasarkan analisis hasil perhitungan tahanan jenis tanah yang telah dilakukan, nilai tersebut dapat digunakan untuk menghitung tahanan pembumian pada elektroda batang tunggal dengan menggunakan Persamaan (1). Perhitungan tahanan pembumian pada empat jenis tanah, baik tanpa penambahan maupun setelah penambahan semen konduktif, menunjukkan adanya penurunan nilai tahanan pembumian setelah penambahan semen konduktif, sejalan dengan hasil pengukuran lapangan. Nilai rata-rata tahanan pembumian sebelum dan sesudah penggunaan semen konduktif, pada tiga variasi posisi di empat lokasi tanah yang berbeda, disajikan pada Gambar 15.

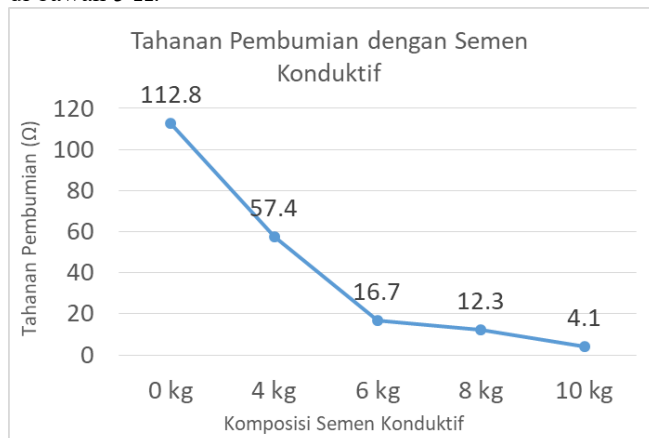


Gambar 15. Tahanan pembumian dengan soil treatment

D. Pengaruh Komposisi Semen Konduktif Disekitar Elektroda Batang

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pembumian pada empat jenis tanah, tanah berbatu menunjukkan kemampuan reduksi tahanan pembumian terbesar, yaitu sebesar 47,6%. Nilai rata-rata tahanan sebelum menggunakan semen konduktif sebesar $112,8 \Omega$ menurun menjadi $59,1 \Omega$ setelah penerapan semen konduktif pada posisi peletakan pertama, yakni semen konduktif ditempatkan di bagian bawah elektroda. Jenis tanah berbatu tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk menguji pengaruh variasi komposisi semen konduktif sebesar 4 kg, 6 kg, 8 kg, dan 10 kg, dengan tujuan memperoleh nilai tahanan optimal di bawah 5Ω sesuai standar PUIL, menggunakan panjang elektroda batang yang tetap, yaitu 1,2 meter.

Berdasarkan hasil pengukuran variasi komposisi semen konduktif di sekitar elektroda batang sepanjang 1,2 meter, penggunaan 10 kg semen konduktif berhasil mencapai standar PUIL dengan nilai tahanan di bawah 4,1 Ω . Untuk memperoleh nilai tahanan yang lebih rendah, penambahan semen konduktif melebihi 10 kg dapat dilakukan. Pengukuran elektroda batang dilakukan dengan variasi komposisi semen konduktif sebesar 0 kg, 4 kg, 6 kg, 8 kg, dan 10 kg pada posisi peletakan pertama, yakni semen konduktif ditempatkan di bawah elektroda. Grafik 16 hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tahanan pembumian menurun drastis seiring bertambahnya komposisi semen konduktif, mulai dari 112,8 Ω tanpa semen konduktif, menjadi 57,4 Ω pada penambahan 4 kg, 16,7 Ω pada 6 kg, 12,3 Ω pada 8 kg, dan mencapai 4,1 Ω dengan penambahan 10 kg semen konduktif. Berdasarkan penelitian ini, penambahan 10 kg semen konduktif terbukti efektif memenuhi standar PUIL dengan nilai tahanan pembumian di bawah 5 Ω .



Gambar 16. Korelasi komposisi semen konduktif terhadap tahanan grounding

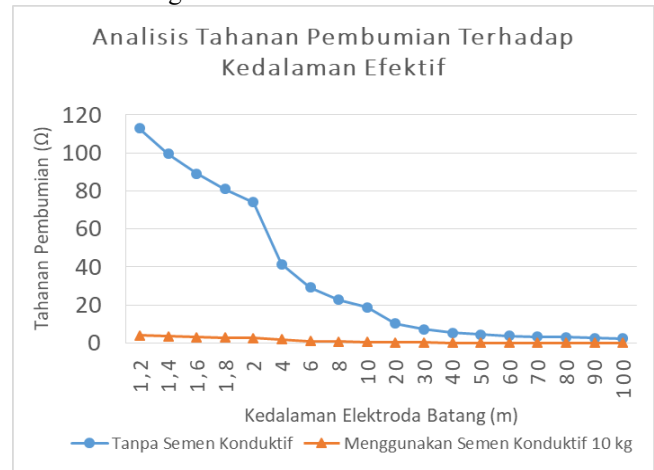
E. Hasil Analisa Perhitungan Efektifitas Kedalaman Penanaman Elektroda Batang

Penggunaan semen konduktif terbukti efektif secara signifikan dalam menurunkan tahanan pembumian pada sistem grounding. Penambahan 10 kg semen konduktif di sekitar elektroda memungkinkan kedalaman penanaman yang diperlukan untuk mencapai tahanan di bawah 1 ohm berkurang menjadi sekitar 8 meter.

. Hal ini memberikan efisiensi yang lebih baik dalam pemasangan elektroda, mengurangi kebutuhan penggalian yang dalam dan biaya material tambahan. Selain itu, penggunaan semen konduktif meningkatkan kestabilan tahanan tanah secara jangka panjang karena sifatnya yang dapat mempertahankan kelembaban dan konduktivitas, sehingga memberikan solusi grounding yang lebih andal dan ramah lingkungan.

Selain meningkatkan kedalaman penanaman elektroda, nilai tahanan pembumian juga dapat dikurangi secara efektif dengan memasang dua atau lebih elektroda yang

dihubungkan secara paralel. Metode ini meningkatkan luas area kontak tanah dan mengurangi tahanan total sistem grounding. Pendekatan ini sangat berguna terutama pada kondisi tanah dengan resistivitas tinggi, di mana peningkatan kedalaman saja tidak cukup efektif atau praktis. Dengan mengkombinasikan penggunaan semen konduktif dan konfigurasi elektroda paralel, sistem grounding dapat mencapai nilai tahanan yang rendah secara konsisten, meningkatkan keamanan, keandalan, dan efisiensi instalasi listrik di berbagai kondisi tanah.



Gambar 17 Perbandingan Tahanan Pembumian dengan Semen Konduktif

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perlakuan tanah menggunakan semen konduktif serta pengujian tahanan pembumian yang dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan dan perhitungan sesuai teori, dapat disimpulkan bahwa:

Penerapan semen konduktif pada empat jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap penurunan nilai tahanan pembumian. Pada tanah berbatu, penurunan tahanan mencapai 47,6%, tanah berpasir 27%, tanah liat 12%, dan tanah rawa sebesar 30,8%.

Dari tiga posisi peletakan semen konduktif pada lubang elektroda batang, ditemukan bahwa penurunan nilai tahanan pembumian bervariasi sesuai posisi dan jenis tanah. Pada tanah berbatu, posisi pertama menghasilkan tahanan terendah dengan pengukuran 57,4 Ω dan perhitungan 57,6 Ω . Pada tanah berpasir, posisi pertama juga menunjukkan nilai tahanan terendah dengan pengukuran 49,6 Ω dan perhitungan 49,8 Ω . Untuk tanah liat, posisi ketiga memberikan nilai tahanan terendah sebesar 29,6 Ω baik pada pengukuran maupun perhitungan. Sedangkan pada tanah rawa, posisi kedua menghasilkan nilai tahanan terendah sebesar 18,4 Ω pada kedua metode tersebut.

Hasil analisis perhitungan menunjukkan bahwa penambahan 10 kg semen konduktif pada tanah berbatu secara signifikan menurunkan tahanan pembumian. Dengan media tersebut, kedalaman penanaman elektroda batang

yang dibutuhkan untuk memperoleh tahanan di bawah 1 Ω dapat dikurangi hingga mencapai 8 meter.

DAFTAR ACUAN

- [1] T. S. Hutaeruk and T. Soantahon, "Pengetanahan netral sistem tenaga dan pengetanahan peralatan." Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://balaiyanpus.jogjaprovo.go.id/opac/detail-opac?id=1829>
- [2] R. A. Efriansah, "Jenis-jenis sistem pembumian (grounding) berdasarkan standar IEEE-Kelas Teknisi." Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.kelasteknisi.com/2021/08/jenis-jenis-sistem-pembumian.html>
- [3] Admin, "Jenis-jenis pembumian (sistem grounding)." Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://direktorilistrik.blogspot.com/2013/10/jenis-jenis-pembumian-sistem-grounding.html>
- [4] Badan Standarisasi Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)," 2011.
- [5] I. M. Yulistya Negara, D. Fahmi, D. A. Asfani, B. Prajanuarto, and A. M., "Analisis pengaruh semen konduktif sebagai media pembumian elektroda batang," Oct. 2014. Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <http://javajournal.its.ac.id/index.php/java/article/view/27/26>
- [6] Jamaaluddin, I. Anshory, and S. A. Eko, "Penentuan kedalaman elektroda pada tanah pasir dan kerikil kering untuk memperoleh nilai tahanan pembumian yang baik," 2015.
- [7] Zulhajji, A. Imran, and Harifuddin, "Analisis tahanan sistem pembumian elektroda batang berdasarkan jenis tanah," 2022.
- [8] Y. Martin, Despa Dikpride, and L. Afriani, *Pengaruh pencampuran gypsum sebagai zat aditif untuk penurunan nilai tahanan grounding pada elektroda batang tunggal*. Malang, 2018.
- [9] L. D. Purwantoro, "Studi pemanfaatan arang tempurung kelapa untuk perbaikan tahanan pembumian jenis elektroda batang," Aug. 2013.
- [10] I. Nugrahanto and L. E. Cahya Ningrum, "Pengaruh semen konduktif pada elektroda batang dalam sistem pembumian," Malang, 2018.
- [11] R. D. Setiawan and T. Rijanto, "Pengaruh penambahan bentonit untuk mereduksi nilai tahanan pembumian jenis elektroda batang berlapis tembaga dan pipa baja galvanis," 2019. [Online]. Available: www.antipetir.co.id
- [12] R. Apriadi, "Analisis pengaruh penambahan semen konduktif terhadap nilai tahanan pembumian pada elektroda batang di PT.PLN Rayon Lintau Sumatera Barat,," Jan. 2022.
- [13] A. Setyawan, I. G. Ngurah Janardana, and N. P. Satriya Utama, "Analisis sistem pembumian untuk mengamankan instalasi listrik di program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Jimbaran Bali,," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 191, May 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p05.
- [14] R. B. Carpenter, M. M. Drabkin, and J. A. Lanzoni, "Better grounding," 1997.
- [15] H. Sutawati, M. I. Arsyad, and Purwoharjono, "Studi pemanfaatan arang cangkang sawit untuk menurunkan resistansi pembumian jenis elektroda plat berbeentuk persegi," 2020.
- [16] R. Heriyansyah, Junaidi, and M. I. Arsyad, "Analisa penurunan tahanan pembumian menggunakan arang cangkang sawit dengan elektroda batang dilokasi jenis tanah liat dan gambut," Accessed: Aug. 13, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/j3eituntan/article/viewFile/50959/75676591311>
- [17] F. Agriyani and T. Tohir, "Perancangan dan pemasangan sistem pembumian untuk pengembangan laboratorium instalasi listrik Politeknik Negeri Bandung,," Bandung, Jul. 2023. [Online]. Available: <https://www.hioki.com/sg-en/products/ground->
- [18] Badan Standarisasi Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)," 2000.
- [19] D. M. Rian Sanjaya, C. G. Indra Partha, and I. G. Dyana Arjana, "Perencanaan sistem pembumian grid-rod pada gardu induk 150 kV New Sanur,," Dempasar, Mar. 2020.