

# Pembuatan Sistem *Grounding Axle Counter* Berdasarkan Tahanan Jenis Tanah dan Kedalaman *Grounding*

## Manufacture of *Grounding Axle Counter* System Based on Resistance of Soil Type and Depth of *Grounding*

Ghalif Widi Setya Nugraha<sup>1</sup>, Sunardi<sup>2,\*</sup>, Teguh Arifianto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknologi Elektro Perkeretaapian  
Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Jl. Tirta Raya, Pojok,  
Nambangan Lor, Manguharjo, Madiun, Jawa Timur, Indonesia

\*<sup>2</sup>Penulis Korespondensi: sunardi@ppi.ac.id

<sup>1</sup>ghalif.tep1913@taruna.ppi.ac.id, <sup>3</sup>teguh@ppi.ac.id

Received on 28-08-2022, accepted on 29-12-2022, published on 31-01-2023

### Abstrak

*Axle counter* merupakan peralatan pendeteksi kereta api dengan memancarkan frekuensi gelombang untuk menghitung jumlah gandar pada sarana yang melewatinya. Pada Resort Sintel 4. 1 Tegal sering terjadi kerusakan *axle counter* karena imbas petir yang mengakibatkan kerusakan komponen pada *axle counter*. Pada prinsipnya arus berlebih tersebut dapat langsung dibumikan tanpa merusak komponen dengan sistem *grounding* yang baik. Dengan latar belakang tersebut peneliti merencanakan sistem *grounding* yang baik untuk mengantisipasi kejadian tersebut. Perencanaan yang dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan *grounding* dengan metode seri dan paralel, dengan parameter jenis tanah, kedalaman, dan diameter *grounding* sehingga dapat direncanakan nilai tahanan pentanahan yang sesuai. Peneliti juga mendesain sistem *grounding* menggunakan *software Aspix* yang dapat disimulasikan menyerupai kondisi yang sama pada lapangan. Pengukuran langsung nilai tahanan pentanahan diperlukan untuk memvalidasi hasil perhitungan perencanaan dan simulasi desain *grounding* untuk mengetahui faktor kesalahan dari perencanaan yang dilakukan peneliti. Hasil dari penelitian ini adalah sistem *grounding* berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan. Sistem paralel memiliki nilai tahanan pentanahan paling kecil terdapat pada tanah sawah dengan kedalaman 2,5 meter dan diameter 25mm<sup>2</sup>. Jadi untuk menentukan nilai tahanan pentanahan yang sesuai, kedalaman penanaman berpengaruh terhadap sistem *grounding* yang digunakan karena semakin dalam penanaman maka akan semakin mendekati air tanah. Sistem *grounding* yang efektif untuk sistem seri pada kedalaman 1 meter dengan jenis tanah sawah.

**Kata kunci:** *axle counter*, *grounding*, kereta api, *software Aspix*, tahanan pentanahan

### Abstract

An *axle counter* is a tool for detecting trains by emitting frequency waves to count the number of axles on the means that pass through them. At the Sintel 4.1 Tegal Resort, damage to the *axle counter* often occurs due to lightning effects, resulting in component damage to the *axle counter*. In principle, the excess current can be directly grounded without damaging the components with a good *grounding* system. With this background, the researchers planned a good *grounding* system to anticipate the incident. Planning considers the need for *grounding* through series and parallel methods, with the parameters of soil type, depth, and diameter, so that the appropriate *grounding* resistance value can be planned. The researcher also designed a *grounding* system using the *Aspix* software, which can be simulated to resemble the same conditions in the field. Direct measurement of the value of *grounding* resistance is needed to validate the results of planning calculations and *grounding* design simulations

to determine the error factor of the planning carried out by the researcher. This research shows that the grounding system affects the grounding resistance value. The parallel system has the smallest grounding resistance value in paddy fields with a depth of 2.5 meters and a diameter of 25mm<sup>2</sup>. So to determine the appropriate grounding resistance value, the planting depth affects the grounding system used because the deeper the casing, the closer it will be to groundwater. An effective grounding system for a series system at a depth of 1 meter with a paddy field soil type.

**Keywords:** axle counter, grounding, rail, Aspix software, earth resistance

## I. PENDAHULUAN

*Axle counter* merupakan salah satu pendeteksi keberadaan kereta api dengan menghitung jumlah gandar yang masuk dan keluar pada suatu daerah pendeteksi kereta api kemudian mengevaluasi perhitungan. Setelah jumlah gandar masuk dan keluar sama banyak, maka *track* kembali normal tidak terduduki. Terdapat dua komponen utama pada *axle counter* yaitu peralatan luar dan peralatan dalam. Peralatan luar terdiri dari pendeteksi roda dan *Wheel Device Equipment (WDE)*. Kedua peralatan tersebut saling terhubung yang nanti akan mengirimkan informasi menuju evaluator dan menyalurkan catu daya dari unit evaluasi menuju WDE. Kemudian peralatan dalam yang dimaksud ditempatkan pada *equipment room* yang terdiri dari modul- modul yang memiliki fungsi masing- masing. Setiap peralatan luar ruangan persinyalan kereta api harus memiliki sistem proteksi arus berlebih [1] untuk mengamankan komponen di dalamnya.

Di bidang teknik listrik, *grounding* merupakan rangkaian aliran listrik yang terhubung ke dalam tanah untuk menghilangkan perbedaan potensial dari tegangan listrik maupun arus petir dengan cara menyalurkannya pada suatu titik tertentu secara langsung menuju tanah. Pemasangan sistem *grounding* menggunakan kabel konduktor dan elektroda pembumian dengan rangkaian khusus di luar sistem instalasi listrik lainnya. *Grounding* berfungsi sebagai pengaman arus dan tegangan listrik berlebih sehingga dapat melindungi komponen elektronik dan jaringan listrik dari kebocoran arus dan melindungi manusia dari sengatan listrik [2]. Pada prinsipnya sistem *grounding* bertujuan untuk menyediakan saluran listrik menuju ke tanah baik saat kondisi normal maupun terjadi gangguan tanpa mengakibatkan kerusakan pada peralatan dan untuk mengurangi resiko bahaya sengatan arus listrik di sekitarnya [3].

### A. Sistem Proteksi Axle Counter

Seluruh peralatan persinyalan luar ruangan harus memiliki sistem proteksi terhadap arus berlebih [1] untuk melindungi peralatan dari gangguan arus berlebih dan induksi listrik agar tidak membahayakan peralatan maupun komponen elektronik di dalamnya [2]. Pada WDE (*Wheel Device Equipment*), *axle counter* memiliki sistem proteksi internal dan eksternal yaitu dengan *arrester* dan *grounding*. Sistem proteksi eksternal *axle counter* berupa *ground rod* yang dihubungkan dengan kabel konduktor yang berfungsi untuk mengamankan WDE dari induksi listrik yang dapat merusak komponen mikro di dalam modul dengan mengalirkan arus berlebih langsung menuju titik pentanahan [3].

### B. Standar Grounding

*Grounding* berfungsi sebagai pengaman arus dan tegangan listrik berlebih sehingga dapat melindungi komponen elektronik dan jaringan listrik dari kebocoran arus dan melindungi manusia dari sengatan listrik [2]. Standard *grounding* diatur dalam PUIL 2011 untuk melindungi peralatan maupun keamanan di sekitar area proteksi dengan tahanan pentanahan maksimum 5  $\Omega$ . Menurut PM 44 Tahun 2018 mengatur tahanan pentanahan maksimum pada *axle counter* sebesar 5  $\Omega$  sesuai spesifikasi untuk melindungi peralatan dari gangguan arus berlebih [1].

### C. Sistem Grounding

#### 1. Metode Seri

Pada sistem seri menggunakan batang elektroda tunggal yang ditanam di dalam tanah. Penggunaan batang elektroda tunggal memiliki efektifitas yang tinggi untuk memperoleh nilai pentanahan yang rendah

[4]. Dalam perencanaan sistem *grounding* seri terdapat persamaan 1 untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan [5] yaitu sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \log \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (1)$$

## 2. Metode Paralel

Pada sistem paralel menggunakan dua batang elektroda yang ditanam di dalam tanah. Penggunaan sistem paralel dapat mengurangi nilai tahanan pentanahan secara signifikan [4] pada area proteksi yang terbatas. Dalam perencanaan sistem *grounding* paralel terdapat persamaan 2 untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan [5] yaitu sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \times \log \left( \frac{2l}{\sqrt{a \times S}} \right) \quad (2)$$

## D. Resistivitas Tanah

Kondisi geografi berpengaruh pada nilai resistivitas tanah karena bahan-bahan pembentuk permukaan bumi memiliki konduktivitas listrik yang rendah [6], [7], [8]. Nilai resistivitas tanah dipengaruhi oleh cuaca dan musim [6] sehingga menyebabkan heterogenitas besar pada aliran arus menuju ke dalam tanah [5]. Variasi tersebut tergantung pada kedalaman batang elektroda dengan parameter kelembaban, perubahan suhu, kadar garam tanah, dan nilai resistivitas tanah lebih kecil di bawah permukaan permukaan air tanah [4], [9]. Hal tersebut terkait dengan tujuan *grounding* yaitu dapat secepatnya mendistribusikan arus berlebih ke dalam tanah [10]. Karakteristik tanah berhubungan dengan nilai resistivitas tanah dan pengukuran tahanan pentanahan.

Penambahan garam pada tanah merupakan perawatan untuk mengurangi nilai resistivitas tanah dengan sementara yang efektif namun tidak bertahan lama karena garam tambahan tersebut dapat habis terurai [5].

Tabel 1. Nilai resistivitas tanah

Jenis Tanah	Resistivitas ( $\Omega/m$ )
Tanah sawah	10
Tanah rawa	30
Tanah liat	100
Pasir basah	200
Kerikil basah	500
Pasir dan kerikil kering	1000
Tanah berbatu	3000

Tabel 1 merupakan nilai resistivitas tanah berdasarkan jenis tanah mulai dari tanah pertanian, tanah lempung, tanah kering, dan tanah berbatu [6] dengan satuan resistivitas Ohm-Meter ( $\Omega/m$ ). Nilai resistivitas tanah dapat berubah tergantung unsur kimia yang terkandung.

### 1. Tanah Sawah

Tanah sawah adalah jenis tanah yang terbentuk dari pelapukan bahan organik yang berada pada lapisan tanah bagian atas dengan daya serap air tinggi. Memiliki tekstur yang gembur karena memiliki unsur hara tinggi dari pelapukan bahan organik sehingga sangat subur untuk ditanami. Tanah sawah nilai resistivitas sebesar 10  $\Omega/m$ .

### 2. Tanah Rawa

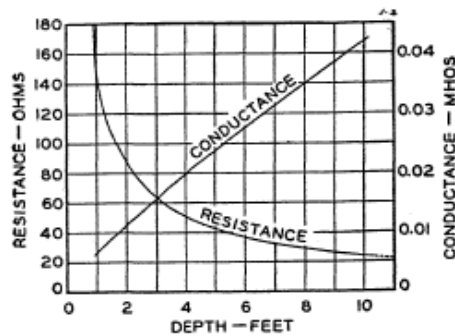
Tanah rawa adalah jenis tanah yang terbentuk dari pelapukan tanaman yang tidak sempurna pada lahan basah dengan daya serap air yang rendah. Memiliki tekstur yang lembek dan berair yang bersifat asam sehingga tidak subur untuk ditanami. Tanah rawa memiliki nilai resistivitas sebesar 30  $\Omega$ /m.

### 3. Tanah Liat

Tanah liat adalah jenis tanah yang terbentuk dari pelapukan batuan mineral. Memiliki tekstur lengket dan dapat mengeras jika kering karena sulit dilalui air [6] sehingga cocok digunakan sebagai bahan gerabah. Tanah liat memiliki nilai resistivitas sebesar 100  $\Omega$ /m.

### E. Kedalaman Grounding

Sistem *driven grounds* menggunakan *grounding* seri merupakan jenis sistem *grounding* dengan cara menanam satu batang elektroda di dalam tanah sesuai kedalaman yang diinginkan. Karakteristik sistem *driven grounds* yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan yaitu kedalaman penanaman batang elektroda [4]. Menurut PUIL 2011, sistem *grounding* di Indonesia memiliki beberapa spesifikasi minimal dengan panjang elektroda batang minimal dari 1-5 m [11].

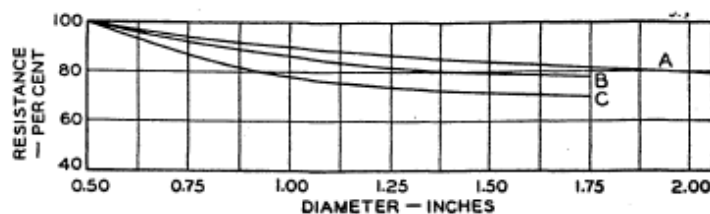


Gambar 1. Kedalaman grounding [4]

Kedalaman *grounding* berpengaruh terhadap konduktifitas dan resistansi sistem *grounding* yang berbanding terbalik, semakin dalam penanaman konduktifitas bertambah besar dan resistansinya berkurang.

### F. Diameter Grounding

Diameter batang elektroda berpengaruh terhadap persentase nilai resistansi pentanahan. Semakin besar diameter batang elektroda, semakin kecil nilai persentase resistansi pentanahan. *Standards technologic paper 108 (A)* digunakan untuk membandingkan pengaruh diameter batang elektroda dengan laboratorium uji di *Chicago (B)* dan *Pittsburgh (C)* [4]. Menurut PUIL 2011, sistem *grounding* di Indonesia memiliki spesifikasi minimal diameter batang elektroda dari 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup>, dan 35 mm<sup>2</sup> [11].

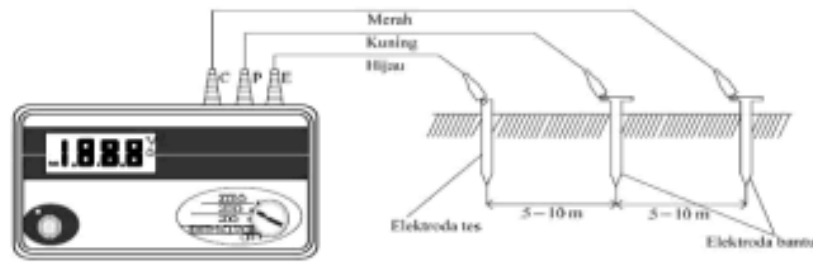


Gambar 2. Diameter grounding [4]

### G. Earth Tester

*Earth tester* adalah instrumen pengukuran untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan dengan menyalurkan hambatan listrik ke dalam tanah [2]. Kedalaman sistem *grounding* dan jenis tanah

mempengaruhi nilai tahanan pentanahan [4]. Fungsi batang elektroda pembantu sebagai penguat hambatan listrik agar tidak mempengaruhi nilai pengukuran.



Gambar 3. Earth tester

## H. Percent Error

Kesalahan pengukuran dapat berasal dari faktor lingkungan. Mengetahui *error* nilai tahanan pentanahan dapat menguatkan data dalam penelitian ini karena perbedaan hasil perencanaan, simulasi, dan pengujian. *Experimental value* yang digunakan adalah data hasil perencanaan dan simulasi, sedangkan *accepted value* diambil dari data pengujian langsung. *Percent error* dapat dihitung menggunakan persamaan (3) [12].

$$\text{Error} = \frac{|\text{data penunjang} - \text{data pengujian}|}{\text{data pengujian}} \times 100\% \quad (3)$$

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Wu, dkk [13], membahas tentang analisis faktor kesalahan pada waktu arus dibumikan dan bentuk grounding yang digunakan sehingga menyebabkan arus gangguan pada gardu induk. Studi dilakukan menggunakan aplikasi ASPEN (Advanced Systems for Power Engineering) dengan mensimulasikan sistem grounding untuk mendapatkan data secara spesifik tentang arus gangguan dengan potensi arus gangguan maksimal. Kesimpulan dari penelitian ini berupa nilai tegangan sentuh maksimal yang dapat diterima tubuh sesuai ambang batas sehingga dapat merencanakan sistem grounding yang efektif.

Penelitian yang dilakukan oleh Wu, dkk [14], pada gardu induk untuk melindungi transformator dengan jarak berjauhan pada struktur tanah yang berbeda. Perencanaan dilakukan menggunakan aplikasi ASPEN menggunakan dua strategi pendekatan yang berbeda yaitu menghitung potensi tegangan sentuh tertinggi sesuai pemodelan sistem grounding dan perhitungan potensi tegangan sentuh dengan tiga struktur tanah berbeda. Hasilnya strategi pertama digunakan untuk merancang sistem grounding yang optimal dengan verifikasi hasil sesuai strategi kedua.

Penelitian tentang pengaruh arus liar pada kabel transmisi data karena sistem grounding tower telekomunikasi yang tidak efektif menyebabkan gangguan pada pembacaan sensor yang tidak menentu, kegagalan komunikasi, sekering meledak, dan kesalahan transfer data [15]. Nilai resistivitas tanah yang tinggi menyebabkan sistem grounding tidak efektif sehingga struktur logam bangunan dan komponen elektronik rentan dialiri arus liar. Studi yang dilakukan yaitu dengan menganalisa faktor kesalahan yang terjadi sehingga diperoleh hasil untuk menambah jumlah batang elektroda dan pemasangan arrester pada komponen elektronik.

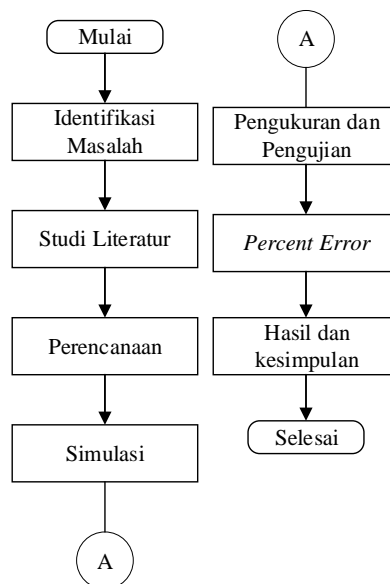
Pengaruh kedalaman penanaman batang elektroda dan kabel penghantar terhadap pelepasan arus petir kedalaman tanah diteliti oleh Yamamoto, dkk [10]. Penelitian dilakukan menggunakan metode Finite Difference Time Domain (FDTD) untuk mengetahui potensi kenaikan tegangan. Pemodelan dilakukan menggunakan kondisi resistivitas tanah 0,1-1000  $\Omega$  dengan permisivitas relatif 10 dengan jaringan pentanahan berbentuk sawah berukuran 10 x 10 meter ditanam 1 meter di bawah permukaan tanah berdasar penelitian sebelumnya [16].

Penelitian yang dilakukan oleh Zhang, dkk [2], efek sistem grounding pada sambaran petir langsung dan tidak langsung menggunakan metode momen dan teori rangkaian. Resistivitas kompleks merupakan konsep utama dalam penelitian ini untuk memperhitungkan resistansi timbal balik antara tanah dan udara yang merupakan kombinasi dari permisivitas dan resistivitas. Validasi dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu tentang simulasi aliran listrik pada sangkar faraday [17].

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alir

Diagram alir menjelaskan alur penelitian dalam perencanaan sistem *grounding* sinyal. Dalam simulasi pengujian data peneliti menggunakan aplikasi *Aspix* dengan membuat pemodelan *grounding* menggunakan sistem seri dan paralel untuk mengetahui kelayakan sistem *grounding*.



Gambar 4. Diagram alir

#### B. Perencanaan *Grounding*

Sistem *grounding* yang direncanakan memiliki spesifikasi bahan yang sama pada UPT Resort 4.1 Tegal. Perencanaan dilakukan menggunakan model seri dan paralel dengan membandingkan nilai tahanan pentanahan pada dua jenis tanah yang berbeda karena menyesuaikan kondisi lintas Tegal. Dua jenis tanah tersebut adalah tanah sawah dan tanah rawa. Perencanaan dilakukan dengan menghitung kebutuhan tahanan pentanahan sistem *grounding* dari kedalaman 50 cm sampai 250 cm serta membuat pemodelan sistem *grounding* menggunakan *software Aspix* dan mensimulasikannya.

##### 1. *Perhitungan sistem grounding*

Peneliti melakukan perencanaan pada sistem *grounding* seri dan paralel dengan membuat parameter kedalaman penanaman dan diameter batang elektroda dengan kedalaman maksimal 250 cm, diameter batang elektroda 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup> pada tanah sawah, dan tanah rawa. Variasi tersebut untuk mengetahui dan menentukan tahanan pentanahan yang sesuai pada sistem *grounding*.

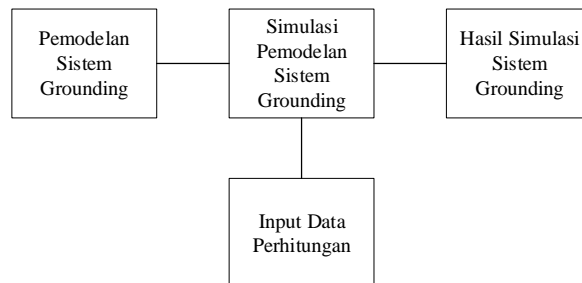
#### C. Software *Aspix*

Software *Aspix* adalah sebuah software khusus untuk pemodelan sistem *grounding*. Mengacu pada standard IEEE 80 “IEEE Guide For Safety in AC Substation Grounding”, software ini dapat menghitung resistansi pentanahan, tegangan sentuh, dan langkah pada berbagai model sistem *grounding*. Grafik dapat

disajikan dalam bentuk dua dimensi dan tiga dimensi sehingga dapat dengan aktual merencanakan sistem grounding yang dibuat untuk mengetahui efektifitas dan keamanan sistem grounding.

#### D. Block Diagram

Pemodelan sistem *grounding* menggunakan *software Aspix* dapat dijelaskan dalam *block diagram* pada gambar 5. Pertama peneliti membuat model sistem *grounding* kemudian menambahkan data pendukung seperti tahanan jenis tanah dan spesifikasi bahan yang digunakan sesuai PUIL 2011. Setelah semua data dimasukkan, sistem dapat mensimulasikan kemudian didapatkan hasil dari pemodelan yang dilakukan berupa grafik dan data angka.

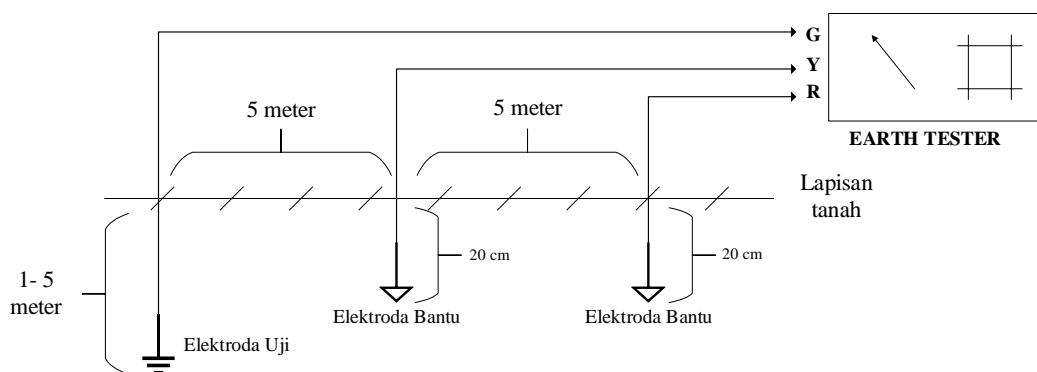


Gambar 5. Block diagram

#### E. Rangkaian Pengukuran dan Pengujian

Untuk mengetahui perbedaan pengukuran pemodelan sistem grounding yang dibuat peneliti melakukan pengujian dengan menanam langsung batang elektroda dengan interval jarak 50 cm sampai dengan kedalaman 250 cm menggunakan metode *fall of potential*. Pengujian dilakukan dengan menambah elektroda bantu pada sistem *grounding*. Penambahan elektroda bantu sebagai pembanding penurunan tegangan terhadap arus yang menyebabkan penurunan potensial sehingga dapat diketahui resistansinya. Penggunaan alat ukur *earth tester* memiliki prinsip yang sama tetapi menggunakan impedansi tinggi untuk mengetahui nilai resistansi tanah.

Pengukuran dilakukan pada jenis tanah sawah dan tanah rawa untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan dengan diameter batang elektroda 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, dan 25 mm<sup>2</sup>. Untuk mencapai kedalaman 250 cm peneliti menggunakan batang elektroda dengan panjang 120 cm yang ditanam bertahap dengan menyambungkan dua batang elektroda menggunakan *shock*. Penyambungan bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam mencapai kedalaman yang dibutuhkan karena keterbatasan alat. Pengujian dilakukan pada *axle counter* menggunakan sistem paralel dengan menyambungkan kabel BC pada sistem *grounding* yang digunakan dengan jarak 3 meter. Alat yang digunakan antara lain *earth tester*, batang elektroda dengan diameter 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup>, *shock batang elektroda*, kabel BC, dan palu.



Gambar 6. Rangkaian pengukuran dan pengujian

## F. Pemodelan Sistem *Grounding*

Sesuai spesifikasi bahan yang digunakan dan data yang diperoleh peneliti dapat membuat desain sistem *grounding*. Dalam pemodelan ini peneliti menggunakan dua jenis tanah yang berbeda sesuai kondisi lintas Tegal dengan area proteksi 10x10 meter dengan spesifikasi bahan seperti perencanaan yang dilakukan peneliti dengan diameter batang elektroda 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup> dengan kedalaman pemasangan 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm, 250 cm pada tiga struktur yang berbeda.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Perhitungan Perencanaan

#### 1. Sistem *Grounding* Seri

Tabel 2. Hasil perhitungan kebutuhan sistem *grounding* seri

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	16,85	6,66	6,04	50,57	20,01	18,13	168,58	153,51	61,97
1	9,53	3,81	3,50	28,60	11,44	10,51	95,37	87,86	43,12
1,5	6,78	2,73	2,52	20,36	8,19	7,57	67,89	62,89	33,29
2	5,32	2,14	1,99	15,96	6,44	5,98	53,21	49,46	27,34
2,5	4,39	1,78	1,65	13,19	5,34	4,97	43,99	40,99	23,33

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan kebutuhan tahanan pentanahan dari pemodelan *grounding* menggunakan sistem seri dengan variasi jenis tanah, kedalaman pemasangan, dan diameter batang elektroda. Sistem seri dipengaruhi kedalaman dan jenis tanah untuk mengurangi nilai tahanan pentanahan dengan signifikan hingga memperoleh nilai tahanan pentanahan sesuai standard.

#### 2. Sistem *Grounding* Paralel

Tabel 3. Hasil perhitungan kebutuhan sistem *grounding* paralel

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	2,42	2,10	1,79	7,27	6,30	5,37	24,25	21,00	17,91
1	1,69	1,53	1,37	5,08	4,59	4,12	16,92	15,29	13,75
1,5	1,31	1,21	1,10	3,94	3,62	3,31	13,15	12,06	11,04
2	1,09	1,00	0,93	3,26	3,01	2,78	10,86	10,04	9,27
2,5	0,93	0,87	0,80	2,79	2,60	2,41	9,30	8,65	8,03

Dari tabel 3 menjelaskan pengaruh kedalaman pemasangan, jenis tanah, dan diameter batang elektroda. Sistem paralel dapat mengurangi nilai tahanan pentanahan dengan signifikan hingga memperoleh nilai tahanan pentanahan sesuai standard. Pada tanah sawah seluruh data sudah sesuai dengan standard sedangkan tanah rawa pada kedalaman 2 meter dengan diameter batang elektroda 25 mm<sup>2</sup>.

### B. Hasil Simulasi *Software Aspix*

#### 1. Tanah Sawah

Pemodelan dilakukan dengan memasukkan parameter pada fitur *settings* dengan nilai *upper layer resistivity* = 10, *lower layer resistivity* = 10, dan *upper layer thickness* = 5.

#### 2. Tanah Rawa

Pemodelan dilakukan dengan memasukkan parameter pada fitur *settings* dengan nilai *upper layer resistivity* = 30, *lower layer resistivity* = 30, dan *upper layer thickness* = 5.

#### 3. Tanah Liat



Pemodelan dilakukan dengan memasukkan parameter pada fitur *settings* dengan nilai *upper layer resistivity* = 100, *lower layer resistivity* = 100, dan *upper layer thickness* = 5.

### C. Sistem Grounding Seri

Tabel 4. Hasil simulasi sistem *grounding* seri

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	16,85	6,66	6,04	26,05	25,31	15,22	56,76	55,12	53,31
1	9,53	3,81	3,50	21,12	20,27	12,19	44,54	42,37	40,01
1,5	6,78	2,73	2,52	17,54	16,71	10,13	35,42	33,61	31,83
2	5,32	2,14	1,99	14,38	13,49	8,70	29,56	27,96	26,43
2,5	4,39	1,78	1,65	11,69	11,01	7,62	25,37	23,96	22,64

Dari tabel 4 merupakan hasil simulasi tahanan pentanahan dari pemodelan *grounding* dengan variasi jenis tanah, kedalaman pemasangan, dan diameter batang elektroda. Kedalaman pemasangan dan jenis tanah sangat berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan, sedangkan diameter batang elektroda memiliki pengaruh yang kecil. Nilai tahanan pentanahan tertinggi terdapat pada jenis tanah liat dengan diameter 10 mm<sup>2</sup> dan nilai tahanan pentanahan terkecil pada jenis tanah sawah dengan diameter 25 mm<sup>2</sup>. Semakin dalam dan besar diameter batang elektroda semakin kecil nilai tahanan pentanahan.

### D. Sistem Grounding Paralel

Tabel 5. Hasil simulasi sistem *grounding* paralel

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	2,42	2,10	1,79	12,11	11,88	7,45	20,55	18,21	17,32
1	1,69	1,53	1,37	10,38	10,07	6,35	15,47	14,69	13,22
1,5	1,31	1,21	1,10	8,98	8,64	5,49	12,89	11,76	10,44
2	1,09	1,00	0,93	7,64	7,27	4,94	9,43	8,14	7,54
2,5	0,93	0,87	0,80	6,35	6,02	4,32	8,24	7,33	6,03

Dari tabel 5 menjelaskan pengaruh kedalaman pemasangan, jenis tanah, dan diameter batang elektroda. Sistem paralel dapat mengurangi nilai tahanan pentanahan dengan signifikan hingga memperoleh nilai tahanan pentanahan sesuai standard. Pada tanah sawah seluruh data sudah sesuai dengan standard sedangkan tanah rawa pada kedalaman 2 meter dengan diameter batang elektroda 25 mm<sup>2</sup>.

### E. Hasil Pengujian

#### 1. Hasil Pengujian Grounding Axle Counter Sistem Seri

Pengujian dilakukan dengan mengambil data pada tanah sawah, tanah rawa, dan tanah liat dengan standard pemasangan *grounding* pada PUIL 2011. Peneliti mengambil data pengukuran pada tanah sawah, tanah rawa, dan tanah liat dengan diameter batang elektroda 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup> untuk mengetahui pengaruh nilai tahanan pentanahan.



Gambar 7. Pengujian *axle counter* sistem seri

Tabel 6. Hasil pengujian *axle counter* sistem seri

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	19,38	10,79	7,61	56,43	24,33	20,57	47,12	44,19	40,52
1	11,76	5,56	4,42	31,71	16,59	13,21	28,57	23,73	21,31
1,5	9,45	4,14	3,56	23,86	10,25	7,94	18,28	17,23	15,36
2	6,19	2,91	2,14	15,65	7,12	5,72	15,62	13,61	12,68
2,5	5,83	2,45	1,94	12,48	5,93	4,88	13,23	11,73	9,37

Tabel 6 merupakan hasil pengukuran tahanan pentanahan langsung pada tanah sawah, rawa, dan liat. Hasil nilai *grounding* pada pengukuran langsung memiliki perbedaan dengan perhitungan dan simulasi karena unsur hara pada setiap daerah berbeda-beda. Kedalaman pemasangan dan jenis tanah sangat berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan, sedangkan diameter batang elektroda memiliki pengaruh yang kecil. Nilai tahanan pentanahan tertinggi terdapat pada jenis tanah liat dengan diameter 10 mm<sup>2</sup> dan nilai tahanan pentanahan terkecil pada jenis tanah sawah dengan diameter 25 mm<sup>2</sup>. Semakin dalam dan besar diameter batang elektroda semakin kecil nilai tahanan pentanahan.

## 2. Hasil Pengujian *Grounding Axle Counter Sistem Paralel*

Pengujian dilakukan pada *axle counter* dengan memasang kabel BC pada *axle counter* dan menanam batang elektroda pada ketiga jenis tanah, kemudian diukur menggunakan *earth tester* dengan kedalaman 50-250 cm pada batang elektroda berdiameter 10 mm<sup>2</sup>, 16 mm<sup>2</sup>, dan 25 mm<sup>2</sup>. Pada area perawatan Sintel 4. 1 Tegal memiliki jenis tanah sawah, rawa, dan liat sehingga pengujian dilakukan pada *axle counter* yang berbeda sesuai jenis tanah yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 8. Pengujian *axle counter* dengan sistem paralel

Tabel 7. Hasil pengujian *axle counter* sistem paralel

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	2,68	2,46	1,96	7,63	6,73	5,46	45,53	43,31	39,32
1	1,96	1,67	1,42	5,23	5,16	4,68	25,87	22,12	20,23
1,5	1,52	1,37	1,28	4,96	4,59	3,61	17,98	16,78	14,69
2	1,29	1,19	1,08	3,97	3,42	2,97	14,32	12,21	11,89
2,5	1,03	0,95	0,93	2,98	2,81	2,53	12,63	10,03	9,63

Dari tabel 7 menjelaskan pengaruh kedalaman pemasangan, jenis tanah, dan diameter batang elektroda. Kedalaman pemasangan dan jenis tanah sangat berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan, sedangkan diameter batang elektroda memiliki pengaruh yang kecil. Nilai tahanan pentanahan tertinggi terdapat pada jenis tanah liat dengan diameter 10 mm<sup>2</sup> dan nilai tahanan pentanahan terkecil pada jenis tanah sawah dengan diameter 25 mm<sup>2</sup>. Semakin dalam dan besar diameter batang elektroda semakin kecil nilai tahanan pentanahan.

**F. Percent Error**

Tabel 8. Hasil percent error perencanaan sistem seri

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	13,05%	38,28%	20,63%	10,38%	17,76%	11,86%	98,96%	95,11%	0,17%
1	18,96%	31,47%	20,81%	9,81%	31,04%	20,44%	82,92%	104,4%	22,67%
1,5	28,25%	34,06%	29,21%	14,67%	20,10%	4,66%	101,2%	98,96%	26,82%
2	14,05%	26,46%	7,01%	1,98%	9,55%	4,55%	82,14%	95,30%	22,40%
2,5	24,70%	27,35%	14,95%	5,69%	9,95%	1,84%	74,60%	84,14%	36,29%
Jumlah	99,03%	157,6%	92,62%	42,53%	88,40%	43,35%	439,8%	477,9%	108,3%
Rata- rata error	1,41%	5,04%	3,95%	0,26%	1,22%	0,79%	2,97%	3,56%	0,73%
Total error	2,22 %								

Tabel 8 menjelaskan tingkat kesalahan hasil dari perencanaan dan pengujian. Dari hasil yang telah diperoleh perbedaan hasil perencanaan dengan pengujian memiliki rata-rata *error* keseluruhan sebesar 2,22 %.

Tabel 9. Hasil percent error perencanaan sistem paralel

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	9,70%	14,63%	8,67%	4,72%	6,39%	1,65%	46,74%	51,51%	54,45%
1	13,78%	8,38%	3,52%	2,87%	11,05%	11,97%	34,60%	30,88%	32,03%
1,5	13,82%	11,68%	14,06%	20,56%	21,13%	8,31%	26,86%	28,13%	24,85%
2	15,50%	15,97%	13,89%	17,88%	11,99%	6,40%	24,16%	17,77%	22,04%
2,5	9,71%	8,42%	13,98%	6,38%	7,47%	4,74%	26,37%	13,76%	16,61%
Jumlah	62,51%	59,08%	54,12%	52,41%	58,03%	33,06%	35,98%	35,82%	37,34%
Rata- rata error	7,37%	7,73%	8,11%	2,12%	2,56%	1,72%	1,67%	1,70%	1,96%
Total error	3,88%								

Dari tabel 9 dijelaskan bahwa tingkat kesalahan hasil dari perencanaan dan pengujian. Dari hasil yang telah diperoleh perbedaan hasil perencanaan dengan pengujian memiliki rata- rata *error* keseluruhan sebesar 3,88 %.

Tabel 10. Hasil percent error simulasi sistem seri

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	13,05%	38,28%	20,63%	53,84%	4,03%	26,01%	20,46%	24,73%	31,56%
1	18,96%	31,47%	20,81%	33,40%	22,18%	7,72%	55,90%	78,55%	87,75%

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
1,5	28,25%	34,06%	29,21%	26,49%	63,02%	27,58%	93,76%	95,07%	107,2%
2	14,05%	26,46%	7,01%	8,12%	89,47%	52,10%	89,24%	105,4%	108,4%
2,5	24,70%	27,35%	14,95%	6,33%	85,67%	56,15%	91,76%	104,%	141,6%
Jumlah	99,03%	157,6%	92,62%	128,1%	264,3%	169,5%	351,1%	408,5%	476,6%
Rata- rata error	1,88%	6,10%	4,71%	0,91%	4,12%	3,24%	2,86%	3,69%	4,80%
Total error	3,59%								

Tabel 10 menjelaskan tingkat kesalahan hasil dari simulasi dan pengujian. Dari hasil yang telah diperoleh perbedaan hasil perencanaan dengan pengujian memiliki rata- rata error keseluruhan sebesar 3,59 %.

Tabel 11. Hasil percent error simulasi sistem paralel

Kedalaman (m)	Tanah Sawah			Tanah Rawa			Tanah Liat		
	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
0,5	9,70%	14,63%	8,67%	58,72%	76,52%	36,45%	54,86%	57,95%	55,95%
1	13,78%	8,38%	3,52%	98,47%	95,16%	35,68%	40,20%	33,59%	34,65%
1,5	13,82%	11,68%	14,06%	81,05%	88,24%	52,08%	28,31%	29,92%	28,93%
2	15,50%	15,97%	13,89%	92,44%	112,5%	66,33%	34,15%	33,33%	36,59%
2,5	9,71%	8,42%	13,98%	113,0%	114,2%	70,75%	34,76%	26,92%	37,38%
Jumlah	62,51%	59,08%	54,12%	443,7%	486,7%	261,2%	192,2%	181,7%	193,5%
Rata- rata error	7,37%	7,73%	8,11%	17,92%	21,43%	13,57%	1,65%	1,74%	2,02%
Total error	9,06%								

Tabel 11 menjelaskan tingkat kesalahan hasil dari simulasi dan pengujian. Dari hasil yang telah diperoleh perbedaan hasil perencanaan dengan pengujian memiliki rata- rata error keseluruhan sebesar 9,06 %.

## G. Analisa Hasil Perencanaan

### 1. Kelebihan

Penggunaan batang elektroda lebih mudah untuk diterapkan untuk sistem grounding axle counter karena keterbatasan tempat. Selain itu penggunaan batang elektroda lebih hemat dan mudah dalam pengantiannya. Sistem grounding seri paling efektif digunakan pada tanah sawah. Sistem paralel memiliki nilai tahanan pentanahan paling kecil dari jenis tanah sawah, rawa, dan liat.

### 2. Kekurangan

Perawatan sistem grounding diperlukan untuk menjaga nilai tahanan pentanahan axle counter sesuai dengan standard. Faktor korosi merupakan salah satu penyebab nilai tahanan pentanahan menjadi tinggi karena bahan batang elektroda. Penggunaan sistem seri pada tanah sawah sudah sesuai pada standar tetapi memiliki nilai tahanan pentanahan yang tinggi. Untuk sistem paralel memiliki nilai tahanan pentanahan paling kecil pada semua jenis tanah tetapi tidak efisien karena membutuhkan tempat dan biaya yang lebih daripada sistem seri.

## V. KESIMPULAN

Dari semua perencanaan, simulasi, dan pengujian yang telah dilakukan peneliti mengambil kesimpulan sebagai berikut: Tahanan jenis tanah berpengaruh pada nilai pentanahan. Tanah sawah memiliki nilai tahanan pentanahan terendah. Sistem *grounding* yang efektif untuk sistem seri pada jenis tanah sawah dan untuk sistem paralel pada jenis tanah sawah dan rawa. Kedalaman penanaman batang elektroda berpengaruh pada nilai tahanan pentanahan, semakin dalam penanaman semakin kecil nilai tahanan pentanahan. Untuk menentukan nilai tahanan pentanahan yang sesuai, kedalaman penanaman berpengaruh terhadap sistem *grounding* yang digunakan karena semakin dalam penanaman semakin mendekati air tanah. Sistem *grounding* yang efektif untuk sistem seri pada kedalaman 1 meter dengan jenis tanah sawah, sedangkan untuk sistem paralel pada kedalaman 50 cm dengan jenis tanah sawah, dan 100 cm pada jenis tanah rawa. Diameter batang elektroda berpengaruh sedikit pada nilai tahanan pentanahan. Semakin besar

batang elektroda semakin kecil nilai tahanan pentanahan yang diperoleh. Diameter 10 mm<sup>2</sup> memiliki nilai tahanan pentanahan terbesar, sedangkan pada diameter 25 mm<sup>2</sup> mempunyai nilai tahanan pentanahan terkecil pada setiap jenis tanah. Sistem seri lebih efektif dan hemat pada tanah sawah dibandingkan sistem paralel karena hanya membutuhkan satu batang elektroda dalam penerapannya, tetapi nilai tahanan pentanahan sistem seri lebih tinggi daripada sistem paralel.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sumadi, B. K., dan Adji, W., "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 44 Tahun 2018 tentang Persyaratan Teknis Peralatan Persinyalan Perkeretaapian", Jakarta, 2018, pp.1-102.
- [2]. Zhang, B., He, J., Zeng, R., dan Chen, S., 2010., *Effect of Grounding System on Electromagnetic Fields Around Building Struck by Lightning*, *IEEE Transactions on Magnetics*, 46 (8), pp.2955-2958. Available: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2010.2048307>.
- [3]. Keil, R. P., Stidham, C. R., Kulick, J. D., Law, D. J., Rosdah, J. W., Hulett, R. H., Karachalios, K., DeBlasio, R., Janezic, M., Messina, D., dan Spiewak, E., 2015., *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, pp.1-208, Available: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7109078>.
- [4]. Jensen, C., 1945., *Grounding Principles and Practice II – Establishing Grounds*, *Electrical Engineering*, 64 (2), pp.68-74, Available: <https://doi.org/10.1109/EE.1945.6440858>.
- [5]. Rüdtenberg, R., 1945., *Grounding Principles and Practice I – Fundamental Considerations on Ground Currents*, *Electrical Engineering*, 64 (1), pp.1-13, Available: <https://doi.org/10.1109/EE.1945.6440813>.
- [6]. Hardyani, P. V., Bahri, A. S., Hariyanto, T., Parnadi, W. W., Rosandi, Y., Sunardi, Alita, E. W., Widodo, A., dan Purwanto, M. S., 2021., *Groundwater Recharge Assessment using Geographic Information System APLIS Method in Donorojo Karst Area, Pacitan*, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 936 (1), pp.1-12, Available: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/936/1/012027>.
- [7]. Sunardi., Arifianto, T., Hartisa, A. L., Darmawan, A., dan Wirawan, W. A., 2020., Perancangan Sistem Peringatan Longsor dan Deteksi Pergeseran Tanah Menggunakan Metode Telemetri, *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 22 (2), pp.123-130, Available: <https://doi.org/10.25104/jptd.v22i2.1618>.
- [8]. Hartisa, A. L., Sunardi., dan Arifianto, T., 2020., Pengembangan *Linier Variable Differential Transformer* untuk Pergeseran Tanah Berdasarkan Derajat Korelasi *Linier*, *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi ke-23*, pp.890-898, Available: <https://ojs.fstpt.info/index.php/ProsFSTPT/article/view/666>.
- [9]. Sunardi, Arifianto, T., Cundoko, A., dan Istiantara, D. T., 2021., Sosialisasi Hasil Pengukuran Geolistrik dan Tata Guna Lahan Jalur Kereta Api Madiun – Slahung, *Madiun Spoor: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1 (2), pp.38- 45, Available: <https://doi.org/10.37367/jpm.v1i2.177>.
- [10]. Yamamoto, K., Yoshioka, K., Sumi, S., Yanagawa, S., dan Sekioka, S., 2015., Mutual Influence of a Deeply Buried Grounding Electrode and the Surrounding Grounding Mesh, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51 (6), pp.4900-4906, Available: <https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2409251>.
- [11]. Jarman., Tribosono, A., Hutajulu, J. P., Sayogo, B., Widjaja, F., Sinaga, S. T., Soemarjanto., Soetarman, D. S., Simangunsong, S., 2014., *Penjelasan PUIL 2011 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011)*, pp.1-249, Available: [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/d8197-buku-puil-2011.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/d8197-buku-puil-2011.pdf).
- [12]. de Silva, C. W., 2016., *Second Edition Sensor and Actuators Engineering System Instrumentation*, pp.1-799, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [13]. Wu, X., Simha, V., Xue, Y., dan Wellman, R. J., 2017., *Substation Grounding Studies with More Accurate Fault Analysis and Simulation Strategies*, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32 (2), pp.1106-1113, Available: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2598176>.
- [14]. Wu, X., Simha, V., dan Wellman, R. J., 2016., Strategies for Designing A Large EHV Station Ground Grid with Drastically Different Soil Structures, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, pp.1-5, Available: <https://doi.org/10.1109/TDC.2016.7519870>.
- [15]. Durham, M. O., dan Durham, R. A., 1997., *Grounding System Design for Isolated Locations and Plant Systems*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33 (2), pp.374-382, Available: <https://doi.org/10.1109/28.567998>.
- [16]. Okajima, H., Ametani, A., dan Yamamoto, K., 2011., Effects of Deeply Buried Grounding Electrodes Applied to A Mobile Phone Base Station, *2011 International Symposium on Lightning Protection*, pp.261-266, Available: <https://doi.org/10.1109/SIPDA.2011.6088416>.
- [17]. Angeli, M., dan Cardelli, E., 1997., An Approach to the Analysis of the Electromagnetic Interferences Radiated by Metallic Grids Struck by Lightning, *IEEE Transactions on Magnetics*, 33 (2), pp.1804-1807, Available: <https://doi.org/10.1109/20.582627>.