

## **Estimasi Resistivitas Tanah Menggunakan Komputasi Interpolasi Linear untuk Perancangan Sistem Pembumian di Kawasan Vulkanik**

**Rendi Rendi<sup>1</sup>, Bragas Afrizaldhi Pratama<sup>2</sup>, Nadya Glaudira<sup>3</sup>**

<sup>123</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Jalan Mugarsari, Kecamatan Tamansari, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46196, Indonesia

Korespondensi: [247002111002@student.unsil.ac.id](mailto:247002111002@student.unsil.ac.id)

### **ARTICLE HISTORY**

*Received: 19-05-2026*

*Revised: 22-06-2026*

*Accepted: 22-06-2026*

### **Abstrak**

Estimasi tahanan jenis tanah yang akurat krusial dalam perancangan sistem pentanahan (grounding), namun sering terkendala ketiadaan data pada kedalaman tertentu (*blind spot*). Penelitian ini bertujuan memvalidasi metode komputasi interpolasi linear berbasis MATLAB untuk mengestimasi resistivitas tanah pada area *blind spot*. Sebagai langkah validasi model, data sekunder dari penelitian Rukmana dkk. Pada kawasan vulkanik di kedalaman 0,5 meter dan 1,5 meter digunakan untuk memprediksi nilai pada kedalaman 1,0 meter, yang kemudian diuji komparasinya dengan data aktual lapangan. Hasil komputasi menunjukkan nilai estimasi berkisar antara 13,105  $\Omega\text{m}$  hingga 19,965  $\Omega\text{m}$ . Analisis galat relatif membuktikan tingkat akurasi yang bervariasi, dengan simpangan terkecil 4,42% pada tren linear dan terbesar 26,99% akibat anomali kelembapan tanah vulkanik. Secara teknis, nilai resistivitas tersebut memenuhi batas aman Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020. Berdasarkan pengujian ini, metode interpolasi linear terbukti cukup representatif untuk estimasi awal perancangan. Direkomendasikan penggunaan konfigurasi elektroda batang tunggal pada lokasi tersebut tanpa memerlukan rekayasa penambahan zat aditif.

**Kata kunci:** *Blind Spot*, Grounding, Interpolasi Linear, MATLAB, PUIL 2020.

### ***Estimation of Soil Resistivity Using Linear Interpolation Computation for Grounding System Design in Volcanic Areas***

### **Abstract**

*Accurate estimation of soil resistivity is crucial in the design of grounding systems, yet it is often constrained by the lack of data at specific depths (blind spot). This study aims to validate a MATLAB-based linear interpolation computational method for estimating soil resistivity in blind spot areas. For validation purposes, secondary data from the study by Rukmana et al. in a volcanic area at depths of 0.5 meters and 1.5 meters were used to predict the value at 1.0 meter, which was then comparatively tested against the actual field data. Computational results show that the estimated values range from 13.105  $\Omega\text{m}$  to 19.965  $\Omega\text{m}$ . Relative error analysis demonstrates varying accuracy levels, with the smallest deviation of 4.42% in linear trends and the largest at 26.99% due to volcanic soil moisture anomalies. Technically, these resistivity values meet the safety limits of the General Requirements for Electrical Installations (PUIL) 2020 standard. Based on this*

*testing, the linear interpolation method proves to be sufficiently representative for preliminary design estimation. It is recommended to use a single rod electrode configuration at the location without the need for additional additive engineering.*

**Key words:** *Blind Spot, Linear Interpolation, MATLAB, PUIL 2020.*

## 1. Pendahuluan

Sistem pentanahan (*grounding*) yang andal merupakan komponen krusial dalam melindungi instalasi kelistrikan dari gangguan arus lebih dan tegangan kejut. Perancangan dan pemasangan sistem ini di Indonesia wajib mengacu pada standar regulasi yang memberikan prinsip fundamental keamanan guna menjamin proteksi terhadap manusia maupun peralatan, yakni sesuai dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020[1]. Kinerja utama dari sebuah sistem pentanahan sangat ditentukan oleh karakteristik tanah tempat elektroda ditanam[2]. Terdapat hubungan korelasi yang kuat antara resistivitas tanah dengan efisiensi *grounding*; semakin rendah nilai resistivitas tanah, maka semakin mudah arus gangguan disalurkan dan dinetralkan ke bumi, sehingga dimensi dan elektroda yang dibutuhkan menjadi lebih efisien[3]. Secara teoritis maupun praktis di lapangan, tahanan pentanahan selalu bervariasi bergantung pada jenis tanah, kedalaman, dan waktu pengukuran yang sangat dipengaruhi oleh suhu serta kelembapan[2].

Kondisi geografis dan struktur geologi suatu daerah memberikan tantangan tersendiri dalam perancangan sistem pentanahan yang aman. Sebagai studi kasus, di Kawasan Universitas Padjadjaran Jatinangor, karakteristik tanah pada lapukan vulkanik didominasi oleh tanah dengan besar butir halus yaitu lanau hingga lempung yang memiliki kadar air tinggi[4]. Karakteristik lingkungan vulkanik ini menyebabkan nilai tahanan jenis menurun seiring bertambahnya kedalaman, dari 0,5 meter hingga 1,5 meter[4]. Pengukuran resistivitas ini juga sering digunakan dalam investigasi struktur bawah permukaan lainnya, seperti identifikasi bidang gelincir pada zona rawan bencana[5]. Namun, dalam eksekusi perancangan di lapangan, pengukuran resistivitas tanah seringkali terbatas pada interval kedalaman tertentu, sehingga menimbulkan persoalan berupa adanya *blind spot* atau titik kedalaman krusial yang luput dari pengukuran secara empiris.

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengatasi tantangan perancangan melalui berbagai pendekatan komputasi. Penelitian Rukmana dkk. (2020) telah melakukan pengukuran resistivitas secara empiris menggunakan metode manual di kawasan Jatinangor[4]. Di sisi lain, Sembiring dkk. (2021) berfokus pada analisis manual mengenai dampak kelembapan terhadap nilai tahanan di Lampung Selatan[2]. Pendekatan komputasi juga pernah ditanusulkan melalui algoritma numerik yang lebih kompleks untuk memodelkan profil resistivitas tanah berdasarkan metode *driven-rod*[6]. Serta simulasi berbasis Graphical User Interface (GUI) pada MATLAB untuk otomatisasi jumlah elektroda[7]. Meskipun berbagai studi telah dilakukan, masih terdapat celah penelitian (*research gap*) mengenai metode komputasi yang sederhana namun terkalibrasi secara statistik untuk menaksir data *blind spot* tanpa harus melakukan pengukuran ulang di lapangan. Penggunaan program MATLAB sendiri telah terbukti

andal dalam menyelesaikan berbagai persoalan analisis numerik, termasuk melalui prosedur interpolasi variabel secara berurutan[8].

Berdasarkan tinjauan tersebut, kebaruan (*novelty*) utama pada penelitian ini terletak pada integrasi pemodelan estimasi interpolasi linear berbasis MATLAB dengan validasi analisis galat komparatif terhadap data empiris lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji keandalan algoritma interpolasi dalam memprediksi nilai tahanan jenis tanah. Sebagai skenario validasi (*testing parameter*), program MATLAB digunakan untuk mengestimasi nilai pada kedalaman 1,0 meter berdasarkan data batas 0,5 meter dan 1,5 meter. Hasil estimasi ini kemudian dikomparasikan secara langsung dengan data aktual di kedalaman 1,0 meter dari dataset Rukmana dkk. untuk mendapatkan persentase akurasi model[9]. Melalui mekanisme pengujian yang terukur ini, hasil estimasi dievaluasi kelayakannya berdasarkan ambang batas aman PUIL 2020[1]. Guna memastikan bahwa model komputasi ini valid dan aman sebelum diterapkan secara nyata pada area *blind spot* yang benar-benar tidak memiliki data rujukan.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis komputasi numerik untuk memprediksi nilai tahanan jenis tanah pada kedalaman tertentu. Kelayakan hasil estimasi divalidasi secara statistik dengan membandingkannya secara langsung terhadap data observasi lapangan dan standar keamanan instalasi listrik.

### 2.1 Alat

Tahapan simulasi dalam penelitian ini menggunakan perangkat keras berupa laptop untuk pemrosesan data, serta perangkat lunak MATLAB. MATLAB dipilih sebagai instrumen komputasi utama karena keandalan dalam mengeksekusi algoritma analisis numerik secara presisi, efisien, dan repetitif[10].

### 2.2 Bahan

Bahan utama yang diobservasi dalam proses komputasi adalah data sekunder nilai tahanan jenis lapukan vulkanik di kawasan Universitas Padjadjaran Jatinangor. Data empiris tersebut bersumber dari publikasi penelitian Yanwar Yusup Rukmana dkk. [4]. Pengukuran pada referensi tersebut dilakukan menggunakan metode *soil box* pada tiga variasi kedalaman konstan, yaitu 0,5 meter, 1,0 meter, dan 1,5 meter.

**Tabel 1. Data Ukur Nilai Tahanan Jenis Tanah Vulkanik Kawasan Jatinangor**

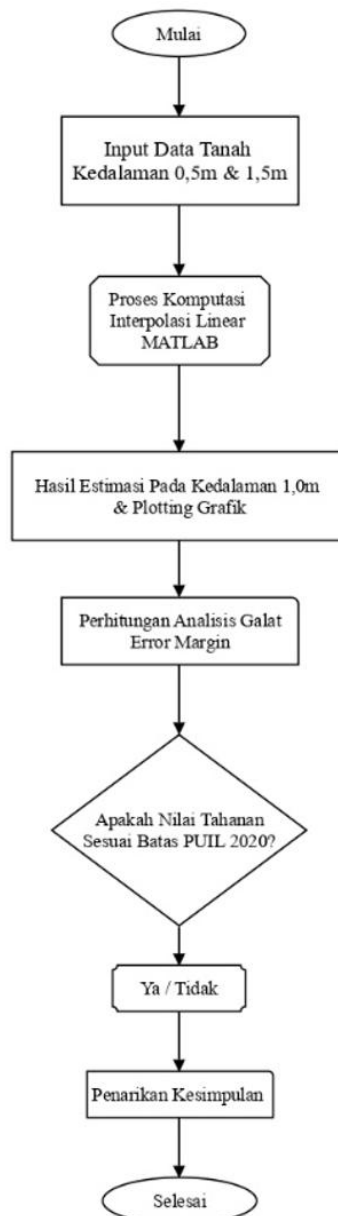
Titik Sampel	Kedalaman 0,5 m ( $\Omega m$ )	Kedalaman 1,0 m ( $\Omega m$ )	Kedalaman 1,5 m ( $\Omega m$ )
S.01	24,500	19,120	15,430
S.02	14,210	10,320	12,000
S.03	22,320	17,320	16,770

Meskipun referensi asli memuat enam titik sampel pengukuran (S.01 hingga S.06), pemodelan komputasi pada penelitian ini dibatasi pada tiga titik sampel (S.01, S.02, dan

S.03). Pemilihan ketiga sampel ini dilakukan melalui teknik *purposive sampling* karena ketiganya dinilai secara statistik paling representatif untuk mewakili tiga perilaku karakteristik tanah vulkanik yang berbeda, yaitu: penurunan linear yang stabil (S.01), deviasi anomali sedang (S.03), dan fluktuasi ekstrem (S.02). Penggunaan tiga sampel ini dinilai sudah memadai untuk menguji tingkat sensitivitas algoritma. Rincian sampel data mentah yang digunakan sebagai parameter masukan komputasi ditunjukkan pada Tabel 1.

### 2.3 Prosedur

Tahapan penelitian dirancang secara sistematis, dimulai dari perumusan model matematis hingga evaluasi standar kelayakan. Alur penyelesaian masalah komputasi ini divisualisasikan melalui *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. *flowchart* algoritma simulasi interpolasi linear

Pemodelan matematika yang divisualisasikan pada diagram alir tersebut menggunakan metode interpolasi linear. Metode ini merupakan salah satu Teknik analisis numerik yang digunakan untuk menaksir nilai tengahan yang tidak diketahui di antara dua titik data batas dengan cara menarik garis lurus[9]. Persamaan polinomial derajat satu pembentuk dasar algoritma interpolasi linear ditunjukkan pada persamaan (1).

$$p_1(x) = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (1)$$

Dalam skenario komputasi, program MATLAB mengeksekusi algoritma persamaan (1) dengan menetapkan parameter kedalaman 0,5 meter, dan 1,5 meter sebagai titik batas data ukur aktual ( $x_0$  dan  $x_1$ ), guna mengestimasi angka tahanan jenis tanah pada area *blind spot* (titik  $x$ ) di kedalaman 1,0 meter. Setelah nilai prediksi diperoleh melalui simulasi grafis, tahapan selanjutnya adalah melakukan uji validasi dengan mencari selisih persentase galat relatif hampiran (*error margin*) antara nilai keluaran program dengan nilai ukur asli di lapangan pada kedalaman 1,0 meter[9]. Evaluasi akhir dilakukan dengan mengkaji implikasi teknis dari angka resistivitas hasil simulasi terhadap ambang batas aman perancangan pembedaan instalasi listrik yang diatur dalam PUIL 2020[1].

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menguraikan eksekusi algoritma komputasi, evaluasi tingkat akurasi model, komparasi dengan penelitian terdahulu, serta implikasi teknisnya terhadap standar kelayakan sistem pentanahan.

#### 3.1. Tahapan Pemodelan Komputasi MATLAB

Simulasi prediksi nilai tahanan jenis tanah pada area *blind spot* dieksekusi melalui serangkaian instruksi kode pada perangkat lunak MATLAB. Secara sekuensial, algoritma tersebut dirancang melalui tiga tahapan utama:

1. **Inisialisasi Parameter (Input):** Memasukkan variabel kedalaman ( $x$ ) dan matriks data nilai resistivitas aktual ( $y$ ) yang bersumber dari referensi lapangan.
2. **Proses Pomutasi (Interpolasi):** Program mengeksekusi fungsi bawaan *interp* dengan argumen pendefinisi '*linear*' untuk mengkalkulasikan titik tengah di kedalaman 1,0 meter.
3. **Analisis Galat (Output Numerik):** Merumuskan operasi matematika untuk mencari persentase galat antara keluaran komputasi dengan angka aktual lapangan.

```
% Data Kedalaman (Variabel x)
x_batas = [0.5, 1.5]; % Titik batas untuk interpolasi
x_target = 1.0; % Kedalaman area blind spot yang dicari
x_plot = [0.5, 1.0, 1.5]; % Kedalaman untuk keperluan plotting aktual

% Data Aktual Tahanan Jenis (Variabel y) dari referensi Rukmana dkk.
y_aktual_S01 = [24.50, 19.12, 15.43];
y_aktual_S02 = [14.21, 10.32, 12.00];
y_aktual_S03 = [22.32, 17.32, 16.77];

% Data Batas untuk Interpolasi (y pada 0.5m dan 1.5m)
y_batas_S01 = [24.50, 15.43];
y_batas_S02 = [14.21, 12.00];
y_batas_S03 = [22.32, 16.77];
```

**Gambar 2.** Inisialisasi parameter masukan pada *script* MATLAB

```

% Komputasi Interpolasi Linear menggunakan fungsi interp1
y_est_S01 = interp1(x_batas, y_batas_S01, x_target, 'linear');
y_est_S02 = interp1(x_batas, y_batas_S02, x_target, 'linear');
y_est_S03 = interp1(x_batas, y_batas_S03, x_target, 'linear');

% Perumusan Persentase Galat Relatif (%)
% Rumus: |(Nilai Estimasi - Nilai Aktual) / Nilai Aktual| * 100%
galat_S01 = abs((y_est_S01 - y_aktual_S01(2)) / y_aktual_S01(2)) * 100;
galat_S02 = abs((y_est_S02 - y_aktual_S02(2)) / y_aktual_S02(2)) * 100;
galat_S03 = abs((y_est_S03 - y_aktual_S03(2)) / y_aktual_S03(2)) * 100;

% Menampilkan hasil estimasi dan galat di Command Window
fprintf('Hasil Estimasi S.01: %.3f Ohm.m (Galat: %.2f%%)\n', y_est_S01, galat_S01);
fprintf('Hasil Estimasi S.02: %.3f Ohm.m (Galat: %.2f%%)\n', y_est_S02, galat_S02);
fprintf('Hasil Estimasi S.03: %.3f Ohm.m (Galat: %.2f%%)\n', y_est_S03, galat_S03);

```

**Gambar 3.** Eksekusi algoritma interpolasi dan perumusan galat komputasi

### 3.2. Analisis Akurasi Estimasi

Untuk menjamin transparansi data, evaluasi akurasi dihitung menggunakan rumus galat relatif hampiran seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$e = \left| \frac{N_{estimasi} - N_{aktual}}{N_{aktual}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Untuk memperjelas implementasi matematis yang dijalankan dalam program, berikut disajikan contoh perhitungan estimasi pada titik sampel S.01. Diketahui nilai batas  $y_0 = 24,50 \Omega m$  (pada  $x_0 = 0,5 m$ ) dan  $y_1 = 15,43 \Omega m$  (pada  $x_1 = 1,5 m$ ). Estimasi nilai pada kedalaman  $x = 1,0 m$  dihitung sebagai berikut :

$$p_1(1,0) = 24,50 + \frac{15,43 - 24,50}{1,5 - 0,5} (1,0 - 0,5)$$

$$p_1(1,0) = 24,50 + (-4,535) = 19,965 \Omega m$$

Berdasarkan hasil estimasi tersebut, persentase galat untuk titik sampel S.01 dihitung dengan membandingkan nilai estimasi terhadap nilai aktual lapangan ( $19,12 \Omega m$ ) menggunakan persamaan (2).

$$e = \left| \frac{19,965 - 19,120}{19,120} \right| \times 100\% = 4,42\%$$

**Table 2.** Perbandingan nilai aktual dan estimasi tahanan jenis tanah pada kedalaman 1,0 meter

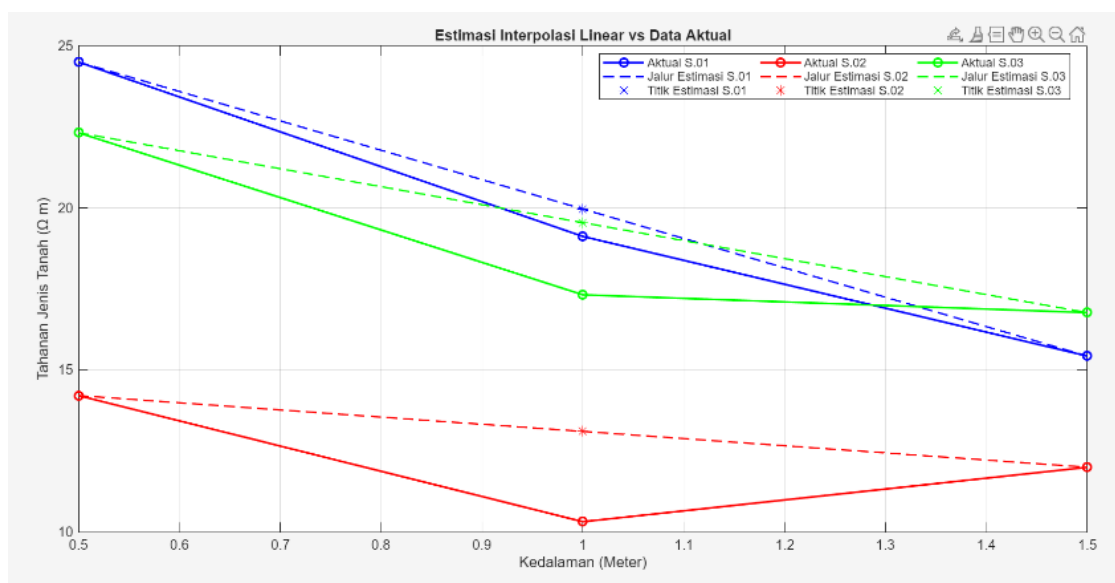
Titik Sampel	Nilai Aktual ( $\Omega m$ )	Nilai Estimasi ( $\Omega m$ )	Persentase Galat (%)
S.01	19,120	19,965	4,42
S.02	10,320	13,105	26,99
S.03	17,320	19,545	12,885

Dengan menggunakan prosedur perhitungan yang sama untuk seluruh sampel data, hasil perbandingan antara nilai aktual lapangan dengan nilai estimasi keluaran MATLAB dirangkum dalam Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa metode interpolasi linear memberikan hasil yang sangat mendekati pada sampel S.01 dengan galat hanya 4,42%. Sebaliknya, simpangan terbesar terjadi pada S.02 sebesar 26,99%.

### 3.3. Visualisasi Hasil Estimasi

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perbandingan tren antara data aktual dan hasil komputasi, dilakukan visualisasi menggunakan fitur *plotting* MATLAB. Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan resistivitas terhadap variasi kedalaman untuk ketiga titik sampel.



**Gambar 4. Grafik perbandingan nilai aktual dengan nilai estimasi**

Grafik pada Gambar 2 memvisualisasikan mekanisme interpolasi melalui garis putus-putus (*dashed line*) yang menghubungkan 2 titik batas (0,5 m dan 1,5 m), dengan tanda bintang menunjukkan titik estimasi pada kedalaman 1,0 m. Sementara itu, garis tegas (*solid line*) merepresentasikan tren penurunan nilai tahanan aktual di lapangan. Pada sampel S.01 (biru), titik estimasi berhimpit hampir sempurna dengan jalur data aktual. Namun pada sampel S.02 (merah), terlihat deviasi yang signifikan di mana garis aktual anjlok menjauhi jalur estimasi lurus. Perbedaan ini mengonfirmasi bahwa tanah lapukan vulkanik di jatininggor memiliki variabilitas butir halus dan anomali kelembapan tinggi, sehingga profil resistivitasnya tidak selalu menurun secara linear.

### 3.4. Komparasi dengan Penelitian Terdahulu

Kajian komparatif secara spesifik difokuskan terhadap penelitian Rukmana dkk. (2020) [4] Yang merupakan sumber dataset empiris dalam studi ini. Pada penelitian tersebut, perolehan nilai resistivitas di setiap kedalaman sangat bergantung pada proses

pengukuran fisik secara langsung menggunakan *soil box* di lapangan. Berbeda dengan pendekatan manual tersebut, implementasi komputasi interpolasi linear pada penelitian ini menawarkan keunggulan komparatif berupa efisiensi akuisisi data. Metode komputasi ini terbukti mampu merekonstruksi atau memprediksi nilai pada kedalaman *blind spot* secara cepat tanpa memerlukan survei fisik tambahan, dengan tingkat akurasi yang tinggi (galat 4,42%) pada profil geologi yang stabil. Hal ini secara signifikan dapat mereduksi beban waktu dan biaya operasional dalam tahap estimasi awal (*preliminary design*).

### 3.5. Evaluasi Terhadap Standar PUIL 2020

Evaluasi akhir dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi terhadap standar keselamatan instalasi listrik di Indonesia. Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020[1]. Perancangan sistem pembumian idealnya menghasilkan nilai tahanan pentanahan akhir di bawah  $5\Omega$ . Hasil estimasi resistivitas tanah pada kedalaman 1,0 m yang berkisar antara  $13,105\ \Omega\text{m}$  hingga  $19,965\ \Omega\text{m}$  menunjukkan bahwa kawasan tersebut memiliki konduktivitas yang sangat baik. Dengan angka tahanan jenis yang relatif rendah di lapisan dangkal ini, arus gangguan dapat disalurkan ke bumi dengan sangat efisien. Oleh karena itu, perancangan menggunakan konfigurasi elektroda batang tunggal diprediksi sudah memadai untuk mencapai ambang batas aman  $5\Omega$  tanpa memerlukan rekayasa perlakuan tanah (penambahan zat aditif) yang kompleks.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian komputasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode interpolasi linear berbasis MATLAB valid dan mumpuni untuk menaksir nilai tahanan jenis tanah pada kedalaman *blind spot* 1,0 meter, dengan rentang estimasi  $13,105\ \Omega\text{m}$  hingga  $19,965\ \Omega\text{m}$ . Persentase galat terkecil tercatat sebesar 4,42% pada sampel S.01, yang menegaskan bahwa metode ini sangat representatif untuk profil tanah dengan penurunan linear. Secara teknis, angka resistivitas hasil estimasi tersebut memenuhi standar aman Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020, sehingga perancangan sistem pembumian menggunakan elektroda batang tunggal sangat layak direalisasikan. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu keandalan model linear menjadi kurang akurat (menghasilkan deviasi hingga 26,99%) apabila diterapkan pada tanah vulkanik yang memiliki anomali fluktuasi kelembapan ekstrem. Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan penggunaan algoritma komputasi non-linear seperti Cubic Spline Interpolation guna mengakomodasi fluktuasi anomali data tanah secara lebih presisi, serta menambah variasi titik kedalaman ukur agar pemodelan visual menjadi lebih komprehensif.

## Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ibu Nadya Glaudira, selaku dosen pembimbing atas segala arahan dan evaluasi kritisnya yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Apresiasi yang tinggi juga disampaikan kepada Bragas Afrizalddhi Pratama atas kerja sama tim yang solid, dedikasi, serta diskusi teknisnya dalam menyelesaikan simulasi komputasi. Selain itu, penulis juga

mengucapkan rasa terima kasih kepada seluruh rekan-rekan mahasiswa keluarga besar Teknik Elektro Universitas Siliwangi Angkatan 2024 atas segala bentuk dukungan moral, motivasi, dan kebersamaan yang telah diberikan dari awal hingga selesainya artikel ini.

### Daftar Pustaka

- [1] BSN, "Puil 2020," 2020, [Online]. Available: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- [2] Jaka Persada Sembiring and Gading Dwi Arianto, "Analisis Perbandingan Pengaruh Nilai tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis Tanah, Kelembapan Tanah dan Temperatur Tanah (Studi Kasus : Desa Merak Belantung, Kecamatan Kalianda, Lampung Selatan, Lampung)," *J. ICTEE*, vol. 3, no. 2, pp. 11–19, 2021.
- [3] C. P. Sari, Budiman, and Y. Ridal, "Studi analisa pemasangan panjang dan jarak elektroda batang pada sistem pentanahan," *J. Mesil (Mesik Elektro Sipil)*, vol. 5, no. 2, pp. 147–159, 2024.
- [4] Y. Y. Rukmana, Z. Zakaria, D. Muslim, and N. Seraphine, "KOROSIFITAS PADA TANAH LAPUKAN VULKANIK BERDASARKAN NILAI TAHANAN JENIS TANAH DI KAWASAN UNPAD JATINANGOR, KABUPATEN SUMEDANG, JAWA BARAT," *J. Geosaintek*, vol. 6, no. 2, 2020, doi: 10.12962/j25023659.v6i2.6581.
- [5] V. N. Azizah, A. Afdal, and D. Hadiyansyah, "Investigasi Bidang Gelincir Tanah Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger di Kecamatan Barangin Kota Sawahlunto," *J. Fis. Unand*, vol. 13, no. 2, pp. 275–281, 2024, doi: 10.25077/jfu.13.2.275-281.2024.
- [6] G. Denche, E. Faleiro, G. Asensio, and J. Moreno, "Grounding electrodes with internal resistance: application to feasibility study of the driven-rod method for modeling the soil electrical resistivity profile," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 11, 2021, doi: 10.3390/app11115032.
- [7] J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Tidar, "Skripsi perancangan proteksi petir pada menara bts," 2021.
- [8] I. K. S. Blegur, "Kritik Sebaran F Berbantuan Program Matlab," vol. 2, no. 1, 2021.
- [9] R. Munir, "Metode Numerik Revisi Kelima," *Inform. Bandung*, pp. 1–439, 2021.
- [10] A. Fuadi, "pengantar analisis numerik menggunakan MATLAB," 2021.