

ANALISIS SISTEM PENTANAHAN BERDASARKAN JENIS TANAH DAN NILAI RESISTANSI: STUDI KASUS RT 16 KELURAHAN DAMAI BAHAGIA, BALIKPAPAN

Taqiyuddin¹, Wisyahyadi²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Uniba¹²
Email: taqiyuddin@uniba-bpn.ac.id¹, wisyahyadi@uniba-bpn.ac.id²

ABSTRACT

An effective grounding system is a crucial aspect of electrical safety, as it can prevent electrical accidents and equipment damage. However, proper grounding planning requires a thorough understanding of the soil type and resistivity values at the site. Different soil types have varying characteristics, such as moisture content, density, and chemical composition, which can affect the soil resistivity. Sample data were collected in RT 16, Damai Bahagia subdistrict, Balikpapan City. The depth of the main rod to be measured was varied at current electrode distances of 10 m and 14 m, then at varying depths between 0.5 m and 1.75 m. A linear regression approach was used to determine resistivity values of 5 ohms or lower. The results showed that at different current electrode distances, grounding resistivity values of less than 5 ohms were achieved at relatively similar depths, namely 2.1 m or greater. This was influenced by the relatively uniform type of guard in each soil layer, namely swampy soil.

Keywords: Grounding System, Linear Regression, Soil Resistance, Soil Resistivity, Soil Type

INTISARI

Sistem pentanahan yang efektif merupakan salah satu aspek penting dalam keselamatan listrik, karena dapat mencegah kecelakaan listrik dan kerusakan peralatan. Namun, perencanaan sistem pentanahan yang tepat memerlukan pemahaman yang baik tentang jenis tanah dan nilai resistansi di lokasi tersebut. Jenis tanah yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda, seperti tingkat kelembaban, kepadatan, dan komposisi kimia, yang dapat mempengaruhi nilai resistansi tanah. Pengambilan sampel data di lingkungan RT 16 kelurahan Damai Bahagia Kota Balikpapan. Kedalaman penanaman Rod utama yang akan diukur tahanannya divariasikan pada jarak elektroda arus sebesar 10 m dan 14 m, kemudian masing-masing pada variasi kedalaman antara 0,5 m s.d. 1,75 m. Penentuan nilai tahanan sebesar 5 ohm atau lebih rendah menggunakan pendekatan regresi linier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jarak elektroda arus yang berbeda, tahanan pentanahan yang lebih kecil dari 5 ohm dapat diperoleh pada kedalaman yang cenderung sama, yakni kedalaman 2,1 m atau lebih besar. Hal ini dipengaruhi oleh tahanan jenis yang cenderung seragam pada setiap lapisan tanah yakni berupa tanah rawa.

Kata kunci: Jenis Tanah, Regresi linier, Resistansi Tanah, Sistem Pentanahan, Tahanan Jenis Tanah

I. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan (*grounding system*) merupakan elemen krusial dalam instalasi tenaga listrik yang berfungsi untuk menjamin keselamatan peralatan dan manusia dari gangguan arus lebih maupun sambaran petir. Kinerja sistem pentanahan ditentukan oleh nilai resistansi tanah (*ground resistance*), yang dipengaruhi oleh kedalaman batang pentanahan (*grounding rod*), konfigurasi elektroda, serta karakteristik resistivitas tanah di lokasi pemasangan [1]–[3].

Secara teoritis dan empiris, peningkatan kedalaman batang pentanahan akan menurunkan nilai resistansi tanah karena elektroda dapat mencapai lapisan tanah dengan resistivitas lebih rendah dan kadar air yang lebih stabil [1], [4], [5]. Namun demikian, penurunan resistansi tersebut tidak selalu signifikan pada kedalaman tertentu akibat adanya fenomena *diminishing returns* serta keterbatasan volume tanah konduktif yang efektif [6], [7]. Selain itu, konfigurasi elektroda seperti batang miring (*slanting rods*) juga dilaporkan dapat meningkatkan efektivitas penurunan resistansi dibandingkan batang vertikal pada kondisi tanah berlapis [8], [9].

Karakteristik jenis tanah memiliki pengaruh yang sangat dominan terhadap nilai resistansi pentanahan. Tanah liat umumnya memiliki resistivitas rendah ($10\text{--}100\ \Omega\cdot\text{m}$), sedangkan tanah berpasir memiliki resistivitas yang jauh lebih tinggi ($100\text{--}2000\ \Omega\cdot\text{m}$) [2], [10], [11]. Variasi ini semakin kompleks pada kondisi tanah berlapis (*multilayer soil*), di mana setiap lapisan memiliki nilai resistivitas yang berbeda sehingga memengaruhi distribusi arus ke dalam tanah [12], [13]. Selain itu, faktor lingkungan seperti kelembaban, temperatur, dan musim juga menyebabkan fluktuasi resistansi yang signifikan, terutama pada elektroda dengan kedalaman dangkal [14]–[17].

Dalam praktiknya, banyak perancangan sistem pentanahan masih menggunakan asumsi tanah homogen atau nilai resistivitas rata-rata. Pendekatan ini seringkali menghasilkan perbedaan yang cukup

besar antara hasil perhitungan dan kondisi aktual di lapangan, terutama pada tanah yang bersifat heterogen [18]–[20]. Pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode konvensional seperti Wenner atau Schlumberger juga memiliki keterbatasan dalam menangkap variasi resistivitas terhadap kedalaman secara detail [21]–[23]. Akibatnya, informasi mengenai hubungan antara kedalaman elektroda, nilai resistansi, dan jenis lapisan tanah menjadi kurang akurat.

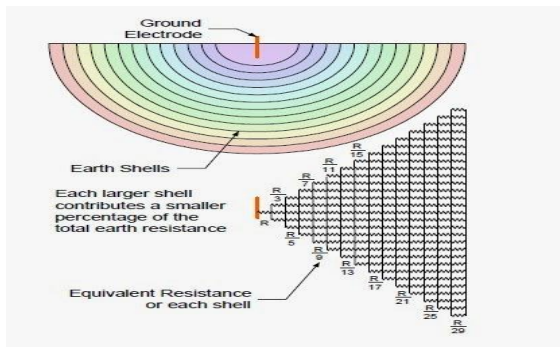
Selain itu, perkembangan metode pemodelan seperti *Finite Element Method* (FEM) dan algoritma optimasi (PSO, GA) telah menunjukkan peningkatan akurasi dalam analisis sistem pentanahan pada tanah berlapis [24]–[26]. Namun, penerapan metode tersebut masih terbatas karena kurangnya data lapangan yang detail serta belum adanya standar yang mengintegrasikan pengukuran resistansi berbasis kedalaman dengan interpretasi jenis tanah [20], [27].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kedalaman batang pentanahan dengan nilai resistansi tanah secara eksperimental dan menentukan karakteristik atau jenis tanah berdasarkan variasi nilai tahanan pada setiap lapisan tanah.

II. LANDASAN TEORI

A. Resistansi Sistem Pentanahan

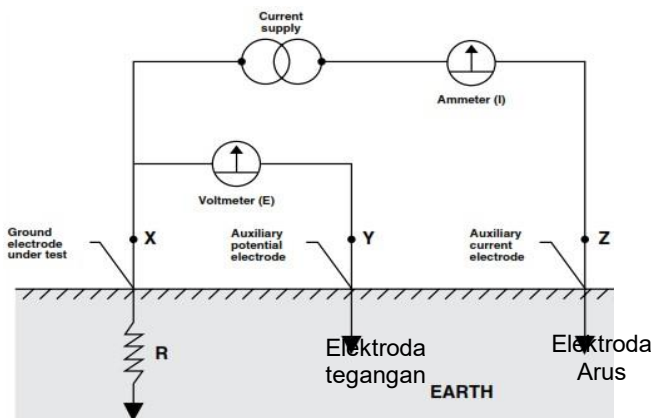
Secara umum resistansi pentanahan dipengaruhi oleh 2 faktor utama yakni: a) Resistansi jenis tanah, dan b) Bentuk dan ukuran elektroda pentanahan (rod). Gambar 2.1, menunjukkan bahwa semakin jauh bagian/lapisan tanah dari rod, arus listrik semakin mudah mengalir. Pada jarak yang lebih jauh, lapisan tanah dapat diabaikan karena pengaruhnya terhadap resistansi pentanahan semakin kecil.



Gambar 2.1 Pengaruh bagian/lapisan tanah terhadap resistansi pentanahan.

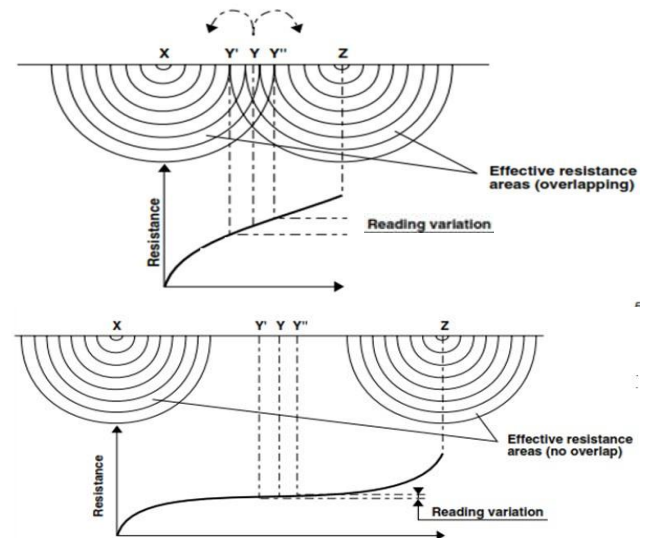
Pengukuran resistansi pentanahan dilakukan dengan menggunakan 2 elektroda bantu (Gambar 2.2), yaitu elektroda arus (Z) dan elektroda tegangan (Y). Elektroda bantu arus berfungsi untuk memberikan arus ke tanah, sedangkan elektroda tegangan berfungsi untuk mengukur tegangan yang timbul antara elektroda utama (X) dengan titik-titik tertentu pada permukaan tanah. Arus dan tegangan tersebut akan diproses oleh alat ukur untuk memperoleh resistansi pentanahan elektroda utama, yaitu:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

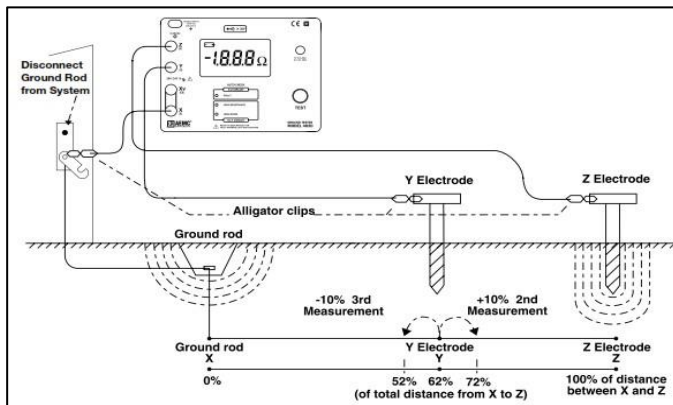


Gambar 2.2 Prinsip pengukuran resistansi pentanahan

Pengaruh *overlapping* lapisan tanah dapat dikurangi dengan memaksimalkan jarak X dan Z. Secara matematis, pengaruh *overlapping* dapat dihilangkan jika jarak X dan Y adalah 62% dari jarak X dan Z pada Gambar 2.3. Jadi agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat, elektroda Y diletakkan pada jarak 62% terhadap elektroda X. Variasi pengukuran dapat diperiksa dengan menggeser elektroda Y sebesar $\pm 10\%$ seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Pengaruh jarak elektroda terhadap *overlapping* lapisan tanah.



Gambar 2.4. Metode pengukuran resistansi pentanahan

B. Komponen Elektroda Pentanahan dan Hal-hal yang Mempengaruhi Resistansi Pentanahan

Komponen elektroda pentanahan meliputi:

- Konduktor tanah
- Koneksi antara konduktor arde dan elektroda arde
- Elektroda arde

a. Elektroda arde dan koneksinya

Resistansi elektroda arde dan sambungannya umumnya sangat rendah. Batang tanah umumnya terbuat dari bahan yang sangat konduktif / resistansi rendah seperti baja atau tembaga.

National institute of standards (sebuah lembaga pemerintah dalam Departemen Perdagangan AS) telah menunjukkan resistansi ini hampir dapat diabaikan asalkan elektroda ground bebas dari cat, minyak, dll. dan bahwa elektroda ground berada dalam kontak yang kuat dengan bumi.

b. Hambatan bumi di sekitarnya

Elektroda tanah dikelilingi oleh bumi yang secara konseptual terdiri dari cangkang konsentris yang semuanya memiliki ketebalan yang sama. Cangkang (lapisan) yang paling

dekat dengan elektroda ground memiliki jumlah area terkecil yang menghasilkan tingkat resistansi terbesar. Setiap cangkang berikutnya menggabungkan area yang lebih besar sehingga menghasilkan resistansi yang lebih rendah. Ini akhirnya mencapai titik di mana cangkang tambahan menawarkan sedikit resistansi terhadap tanah di sekitar elektroda tanah (pembahasan lebih lanjut dapat dilihat pada sub bagian 2.2).

Standar NEC (1987, 250-83-3) membutuhkan panjang elektroda tanah minimum 2,5 meter (8,0 kaki) untuk bersentuhan dengan tanah [28]. Tetapi, ada empat variabel yang mempengaruhi resistansi tanah dari sistem pentanahan:

1. Panjang/kedalaman elektroda arde
2. Diameter elektroda ground
3. Jumlah elektroda arde (rod)
4. Desain model sistem pentanahan

c. Jenis dan Tahanan Jenis Tanah

Berdasarkan karakteristik perbedaan jenis tanah akan menghasilkan nilai yang berbeda pada tahanan jenis ($\Omega.m$). Hal ini dapat diamati pada Tabel 2.1 berdasarkan standar nasional Indonesia yang tercantum pada bagian 3.18.3.1 PUIL 2000 [29]. Kondisi tersebut menjadi landasan yang tepat dalam mencari jenis tanah yang tepat dalam penggunaan sebagai pelapis cathodic dari kondisi yang ingin dicapai.

Tabel 2.1 Tahanan jenis tanah (PUIL 2000)

Jenis Tanah	Tahanan Jenis ($\Omega.m$)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1.000
Tanah berbatu	3.000

Tabel 2.1 tersebut, menjadi alat membantu untuk memasang batang arde yang akan memenuhi persyaratan resistansi spesifik. Namun demikian, hal ini hanya digunakan sebagai aturan praktis, karena tanah berlapis-lapis dan jarang homogen. Nilai resistansi akan sangat bervariasi.

Tujuan pengukuran pentanahan berdasarkan standar *IEEE recommended practice for system grounding of industrial and commercial power system* [30] yaitu:

- Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
- Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

Nilai tahanan jenis tanah adalah salah satu nilai variable untuk menghitung nilai tahanan elektroda batang. Nilai tahanan tanah yang diperoleh akan digunakan mendapatkan nilai tahanan jenis tanah setelah dimasukan pada sebuah persamaan. Kalkulasi perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan H.B Dwight [31].

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

dengan:

ρ = Tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)

R = Tahanan elektroda batang (Ω)

L = Panjang pasak ke tanah (m)

a = Jari-jari penampang pasak (m)

Rumus H.B Dwight di atas menunjukkan, bahwa tahanan elektroda merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan tanah dan pada kedalaman berapa elektroda tersebut harus ditanam di dalam tanah untuk memperoleh tahanan pentanahan yang rendah. Nilai tahanan tanah

sangat bervariasi. Hal ini tergantung pada iklim, kandungan elektrolit dan jenis tanahnya.

C. Regresi Linier Sederhana

Regresi linier merupakan salah satu perhitungan time series metode kuantitatif dimana waktu digunakan sebagai dasar prediksi. Berikut persamaan dasar metode regresi linier sederhana [32]:

$$Y = a + b * X \quad (2)$$

Dengan Y adalah variabel terikat, X adalah variabel bebas, a sebagai intersep, dan b sebagai koefisien variabel X

Selanjutnya digunakan persamaan berikut untuk mencari intersep dan koefisien variabel [5]:

$$a = \frac{(\sum X^2)(\sum Y) - (\sum XY)(\sum X)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (4)$$

Dengan n = banyak data

III. METODE PENELITIAN

Observasi lapangan yang dilakukan di area tertentu yang menjadi tempat pengambilan sampel data di lingkungan RT 16 kelurahan Damai Bahagia Balikpapan, diperoleh data sebagaimana di tampilkan pada Tabel 3.1. Kedalaman penanaman Rod utama yang akan diukur tahananannya pada jarak elektroda arus (Z), jarak 10 m, digunakan sebagai variabel (pada kedalaman 0,5 m s.d. 1,75 m). Demikian pula ketika jarak elektroda arus (Z) ditambahkan menjadi jarak 14 m.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Resistansi Rod

Panjang Rod - Kedalaman (m)	Nilai Tahanan (Ohm) pada Jarak Elektroda	
	10 m	14 m
1,00	90	90
1,25	70	70
1,50	60	60

1,75	40	39
1,50	32	31
1,75	29	28

Berdasarkan Tabel 3.1 di atas, menunjukkan bahwa nilai tahanan yang diperoleh belum dicapai batas nilai 5 ohm, baik ketika menggunakan jarak elektroda arus (Z) sejauh 10 m maupun 14 m. Hal ini dikarenakan panjang Rod utama hanya mencapai 2 m, sehingga tidak memungkinkan untuk diteruskan pengambilan datanya. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan interpolasi ataupun regresi linier untuk menentukan pada jarak (kedalaman rod) berapa akan diperoleh nilai resistansi sebesar 5 ohm atau lebih kecil.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Resistansi Pentanahan Berbasis Regresi Linier

Data pada Tabel 3.1 dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi data yang dibutuhkan untuk keperluan analisis regresi linier, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data regresi linier, jarak elektroda 10 m

n	X	X ²	Y	X*Y
1	0,50	0,25	90	45
2	0,75	0,5625	70	52,5
3	1,00	1	60	60
4	1,25	1,5625	40	50
5	1,50	2,25	32	48
6	1,75	3,0625	29	50,75
Jumlah (Σ)	6,75	8,6875	321	306,25

Tabel 4.2 Data regresi linier, jarak elektroda 14 m

n	X	X ²	Y	X*Y
1	0,50	0,25	90	45
2	0,75	0,5625	70	52,5

3	1,00	1	60	60
4	1,25	1,5625	39	48,75
5	1,50	2,25	31	46,5
6	1,75	3,0625	28	49
Jumlah (Σ)	6,75	8,6875	318	301,75

Berdasarkan Tabel 4.1 tersebut, maka dapat diperoleh nilai koefisien-koefisien persamaan garis sesuai dengan Persamaan (3) dan Persamaan (4) sebagai berikut:

$$a = \frac{8,6875 * 321 - 306,25 * 6,75}{6 * 8,6875 - (6,75)^2}$$

$$a = 109,9429$$

dan

$$b = \frac{6 * 306,25 - 6,75 * 321}{6 * 8,6875 - (6,75)^2}$$

$$b = -50,1714$$

Sehingga diperoleh persamaan garis sebagaimana pada Persamaan (2) sebagai berikut:

$$Y = 109,9429 - 50,1714 * X$$

Atau dalam hal ini yang akan ditentukan adalah kedalaman (X) berapa akan diperoleh nilai resistansi (Y) sebesar 5 ohm atau lebih kecil, maka persamaan menjadi:

$$X = 2,19 - 0,02 * Y$$

dengan nilai resistansi $Y = 5$ ohm atau lebih kecil, maka kedalaman menjadi:

$$X = 2,19 - 0,02 * 5$$

$$= 2,09 \text{ m} \cong 2,1 \text{ m}$$

Sehingga pada kedalaman 2,1 m atau lebih besar (dalam) akan diperoleh nilai tahanan sebesar 5 ohm atau lebih kecil.

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, maka dapat nilai koefisien-koefisien persamaan garis sesuai dengan Persamaan (3) dan Persamaan (4) sebagai berikut:

$$a = \frac{8,6875 * 318 - 301,75 * 6,75}{6 * 8,6875 - (6,75)^2}$$

$$a = 109,9429$$

dan

$$b = \frac{6 * 301,75 - 6,75 * 318}{6 * 8,6875 - (6,75)^2}$$

$$b = -50.1714$$

Sehingga diperoleh persamaan garis sebagaimana pada persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$Y = 109,9429 - 50.1714 * X$$

Atau dalam hal ini yang akan ditentukan adalah kedalaman (X) berapa akan diperoleh nilai resistansi (Y) sebesar 5 ohm atau lebih kecil, maka persamaan menjadi:

$$X = 2,2 - 0,02 * Y$$

dengan nilai resistansi $Y = 5$ ohm atau lebih kecil, maka kedalaman menjadi:

$$X = 2,2 - 0,02 * 5 \\ = 2,1 \text{ m}$$

Sehingga pada kedalaman 2,1 m atau lebih besar (dalam) akan diperoleh nilai tahanan sebesar 5 ohm atau lebih kecil.

Dengan demikian, area yang jadi tempat pengambilan data pengukuran tahanan pada lingkungan RT.16, Kelurahan Damai Bahagia, Balikpapan, pada jarak elektroda arus (Z) yang berbeda diperoleh kedalaman yang cenderung sama, yakni kedalaman 2,1 m atau lebih jika menginginkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil dari 5 ohm.

B. Jenis dan Tahanan Jenis Tanah

Dengan menggunakan data hasil pengukuran yang sama sebagaimana pada Tabel 4.1, yang kemudian dituliskan ulang dengan hanya menggunakan data pada jarak elektroda bantu (Z) 14 m, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Pentanahan

No	Panjang Rod - Kedalaman (m)	Nilai Tahanan (Ohm)
1	0,50	90
2	0,75	70
3	1,00	60
4	1,25	39
5	1,50	31

6	1,75	28
---	------	----

Berdasarkan Tabel 4.3 di atas, maka dapat dihitung lebih lanjut jenis tanah berdasarkan tahanan jenis pada setiap lapisan tanah, sesuai data tahanan dari tiap-tiap kedalaman rod. Perhitungan ini mengacu pada Persamaan (1).

Batang pentanahan sebagai elektroda utama yang digunakan memiliki diameter 5/8 inci sehingga dengan 1 inci = 0,0254 meter, maka:

$$D = 5/8'' = 5/8 * 0,0254 \text{ m} = 0,015875$$

Sedangkan jari-jari (a) adalah setengah dari diameter, sehingga:

$$a = \frac{1}{2} D = \frac{1}{2} * 0,015875 = 0,0079374 \text{ m}$$

Dengan demikian, perhitungan lebih lanjut terhadap tahanan jenis tanah pada setiap pemancangan batang elektroda utama dapat diperoleh berdasarkan data pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Kedalaman (L) 0,5 m dan $R = 90$ ohm

$$\rho = (2\pi * 0,5 * 90) / \{\ln(4 * 0,5 / 0,0079374) - 1\} \\ = 62,4 \text{ ohm-m.}$$

Maka jenis tanah pada lapisan tersebut berdasarkan tahanan jenis tanah pada Tabel 2.1 adalah lebih dekat ke tanah rawa. Dan dengan cara perhitungan yang sama, maka hasil tahanan jenis dan jenis tanah pada setiap data pada Tabel 4.3, secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Jenis dan tahanan jenis tanah

No	Kedalaman (m)	Tahanan Jenis (ohm.m)	Jenis Tanah (menyerupai)
1	0,50	62,4	Tanah Rawa
2	0,75	66,8	Tanah Liat dan Ladang
3	1,00	72,1	Tanah Liat dan Ladang
4	1,25	56,2	Tanah Rawa

5	1,50	51,9	Tanah Rawa
6	1,75	53,2	Tanah Rawa

Dengan demikian, area yang jadi tempat pengambilan data pengukuran tahanan pada lingkungan RT.16, Kelurahan Damai Bahagia, Balikpapan dapat dinyatakan sebagai area yang memiliki karakteristik tanah yang bagus untuk dipasangkan sistem pentanahan.

C. Pembahasan

Analisis sistem pentanahan berdasarkan variasi kedalaman batang elektroda dan jenis tanah menunjukkan bahwa kedalaman pemasangan elektroda menjadi faktor utama yang memengaruhi nilai resistansi pentanahan. Pengujian dilakukan pada dua variasi jarak elektroda arus, yaitu 10 meter dan 14 meter, untuk mengetahui pengaruh konfigurasi pengukuran terhadap hasil resistansi. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan metode regresi linier sehingga diperoleh estimasi kedalaman optimum yang mampu menghasilkan nilai resistansi sesuai standar instalasi listrik.

Metode regresi linier digunakan karena panjang batang pentanahan yang tersedia hanya mencapai 2 meter, sedangkan hasil pengukuran belum memperoleh nilai resistansi di bawah 5 Ω . Berdasarkan hasil analisis, baik pada jarak elektroda 10 meter maupun 14 meter diperoleh kecenderungan yang hampir sama, yaitu nilai resistansi sebesar 5 Ω atau lebih kecil diperkirakan dapat dicapai pada kedalaman sekitar 2,1 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan jarak elektroda arus tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap estimasi kedalaman optimum pada lokasi penelitian.

Perhitungan tahanan jenis tanah menggunakan persamaan *H.B. Dwight* menunjukkan bahwa setiap lapisan tanah memiliki nilai resistivitas yang relatif seragam dan sebagian besar berada pada rentang karakteristik tanah rawa. Beberapa lapisan memiliki

sifat yang mendekati tanah liat dan ladang, namun secara keseluruhan kondisi tanah masih didominasi oleh jenis tanah dengan resistivitas rendah. Karakteristik tersebut mendukung penyebaran arus gangguan ke dalam tanah sehingga sistem pentanahan dapat bekerja lebih efektif dibandingkan pada tanah yang memiliki resistivitas tinggi, seperti tanah berbatu atau pasir kering.

Hasil penelitian membuktikan bahwa analisis karakteristik tanah sebelum pemasangan sistem pentanahan sangat penting untuk menentukan kedalaman elektroda yang optimal. Pendekatan regresi linier dapat digunakan sebagai alternatif dalam memperkirakan kedalaman pemasangan ketika pengukuran langsung belum memenuhi nilai resistansi yang dipersyaratkan. Dengan demikian, proses perancangan sistem pentanahan menjadi lebih efisien, ekonomis, serta mampu meningkatkan keandalan dan keselamatan instalasi tenaga listrik pada lokasi yang memiliki karakteristik tanah serupa.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sistem pentanahan berdasarkan jenis tanah dan nilai resistansi pada area yang menjadi sampel pengambilan data di lingkungan R.T. 16, Kelurahan Damai Bahagia, kota Balikpapan, dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada jarak elektroda arus (Z) yang berbeda diperoleh kedalaman yang cenderung sama, yakni kedalaman 2,1 m atau lebih jika menginginkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil dari 5 ohm.
2. Tahanan jenis yang diperoleh cenderung seragam dan lebih condong menyerupai tanah rawa pada setiap lapisan tanah.
3. area tersebut memiliki karakteristik tanah yang baik untuk dipasang sistem pentanahan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis sistem pentanahan berdasarkan jenis tanah dan nilai

resistansi, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan akurasi hasil analisis maupun penerapannya pada kondisi lapangan yang lebih beragam. Oleh karena itu, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengukuran pada berbagai kondisi musim, seperti musim hujan dan musim kemarau, agar pengaruh kelembapan tanah terhadap nilai resistansi dapat dianalisis secara lebih komprehensif.
2. Pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan membandingkan beberapa metode analisis, seperti *Finite Element Method* (FEM) atau algoritma optimasi, sehingga hasil estimasi kedalaman elektroda menjadi lebih akurat.
3. Pengujian pada berbagai jenis tanah dan lokasi yang berbeda perlu dilakukan untuk memvalidasi hasil penelitian serta meningkatkan tingkat keandalan penerapan sistem pentanahan pada kondisi lapangan yang memiliki karakteristik tanah yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zeng, R., He, J., Wang, Z., Gao, Y., Su, Q. (2000) *Analysis on influence of long vertical grounding electrodes on grounding system for substation*. PowerCon 2000 - 2000 International Conference on Power System Technology, Proceedings.
<https://doi.org/10.1109/ICPST.2000.898188>
- [2] Muhammad, U., Zaid, H., Ahmad, N.N., Aman, F. (2024) *Evaluation of steady-state ground resistance by field measurement and CDEGS computation*. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.
<https://doi.org/10.11591/eei.v13i5.7603>
- [3] Lim, S.C., Gomes, C., Nourirad, G., Kadir, M.Z.A. (2014) *Significance of localized soil resistivity in designing a grounding system*. Proceedings of the 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference, PEOCO 2014.
<https://doi.org/10.1109/PEOCO.2014.6814448>
- [4] Silva, C.L.B.D., Pires, T.G., Silva Filho, A.M., (...), Calixto, W.P. (2025) *Methodology for optimizing electrical grounding grids in stratified soils using advanced calculation techniques and evolutionary algorithms*. Swarm and Evolutionary Computation.
<https://doi.org/10.1016/j.swevo.2025.101953>
- [5] de Araújo, A.R.J., Colqui, J.S.L., de Seixas, C.M., (...), Kordi, B. (2021) *Computation of ground potential rise and grounding impedance of simple arrangement of electrodes buried in frequency-dependent stratified soil*. Electric Power Systems Research.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107364>
- [6] Lim, S.C., Gomes, C., Kadir, M.Z.A. (2013) *Electrical earthing in troubled environment*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.058>
- [7] Wang, S., Wang, Y., Zhang, J., (...), Lv, X. (2018) *Optimal Arrangement of Long Vertical Rods to Reduce Ground Resistance considering Their Shielding Effect*. ICHVE 2018 - 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application.
<https://doi.org/10.1109/ICHVE.2018.8641852>
- [8] Yang, F., Wang, S., Li, Z., (...), Zeng, R. (2011) *The new three-dimensional structure of long grounding rod for large-scale substation*. 2011 7th Asia-Pacific International Conference on Lightning, APL2011.
<https://doi.org/10.1109/APL.2011.6110240>
- [9] El-Drieny, S.A., Metwally, I.A., El-Saadawi, M.M. (2003) *Influence of driven rods on performance of grounding grids in stratified soils*. Proceedings of the 2003 International Joint Power Generation Conference.
<https://doi.org/10.1115/ijpgc2003-40115>
- [10] Abdus Salam, M.A., Rahman, Q.M., Ang, S.P., Wen, F. (2017) *Soil resistivity and ground*

- resistance for dry and wet soil. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy.*
<https://doi.org/10.1007/s40565-015-0153-8>
- [11] Martineac, C., Hasanah, R.N. (2019) *Influence of soil resistivity on substations earth grounding system*. Proceedings of 2019 8th International Conference on Modern Power Systems, MPS 2019.
<https://doi.org/10.1109/MPS.2019.8759796>
- [12] Chen, L.-H., Chen, J.-F., Liang, T.-J., Wang, W.-I. (2008) *Calculation of ground resistance and step voltage for buried ground rod with insulation lead*. Electric Power Systems Research.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2007.07.008>
- [13] Lee, H.-S., Kim, J.-H., Dawalibi, F.P., Ma, J. (1998) *Efficient ground grid designs in layered soils*. IEEE Transactions on Power Delivery.
<https://doi.org/10.1109/61.686969>
- [14] Sena, S., Goyal, R., Tyagi, S.K. (2025) *Numerical modelling for improved prediction of ground temperature in seasonal snow-cover regions*. Cold Regions Science and Technology.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2025.104578>
- [15] A Bukit, F.R.A., Hidayat, M. (2023) *Analysis of the Effect of Addition of Bentonite Zeolite Bunch Ash and Coconut Kernel Oil as Earthing Media*. Proceeding - ELTICOM 2023: 7th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering: Sustainable and Resilient Communities with Smart Technologies.
<https://doi.org/10.1109/ELTICOM61905.2023.10443150>
- [16] Wyatt, B.S. (2010) *Practical application of cathodic protection*. Shreir's Corrosion.
<https://doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00155-4>
- [17] Coelho, V.L., Piantini, A., Domínguez, H.A.D., (...), Paulino, J.O.S. (2015) *The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems*. Electric Power Systems Research.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2014.07.027>
- [18] Peng, Q., Yao, X., Liu, P., (...), Su, J. (2011) *Analysis on grounding resistance affected by heterogeneous soil*. Proceedings - 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2011.
<https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2011.125>
- [19] Ziemba, R. (2014) *Modeling of the grounding systems buried in heterogeneous soil*. Przegląd Elektrotechniczny.
<https://www.scopus.com/pages/publications/84892395495>
- [20] Permal, N., Osman, M., Mohd Ariffin, A.M., Kadir, M.Z.A. (2021) *The impact of substation grounding grid design parameters in non-homogenous soil to the grid safety threshold parameters*. IEEE Access.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3063018>
- [21] Ahmed, N.O., Nik Daud, N.N., Okunlola, I.A. (2024) *Geoelectrical soil mapping for subsurface hydrocarbon contaminant characterization and remediation site zoning at Alode, Central Niger Delta, Nigeria*. Physics and Chemistry of the Earth.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103726>
- [22] Wyatt, B.S. (2010) *Practical application of cathodic protection*. Shreir's Corrosion.
<https://doi.org/10.1016/B978-044452787-5.00155-4>
- [23] Islam, T., Chik, Z. (2013) *Improved near surface soil characterizations using a multilayer soil resistivity model*. Geoderma.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.015>