

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data-data dalam penelitian adalah data-data yang didapatkan dari hasil pengambilan data berupa pengukuran di lapangan. Langkah-langkah setelah mendapatkan data-data tersebut adalah menghitung dan menganalisis. Data-data yang telah didapatkan bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengaruh diameter tabung dan kedalaman elektroda batang terhadap perubahan nilai resistansi pentanahan. Sebelum pengambilan data tersebut perlu dilakukan pengujian mengenai karakteristik sifat-sifat kelistrikan elektrolit garam, sehingga dari pengujian dapat dianalisis :

- Pengaruh diameter tabung terhadap nilai resistansi pentanahan elektroda batang.
- Pengaruh kedalaman elektroda batang terhadap nilai resistansi pentanahan elektroda batang.

4.1. Jenis dan Tingkat Konsentrasi Elektrolit Garam

Pada penelitian pengaruh diameter tabung dan kedalaman elektroda batang dalam *Isolated Grounding System* terhadap resistansi pentanahan elektroda batang ini digunakan satu jenis elektrolit garam yaitu larutan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) yang memiliki konsentrasi 30% pada setiap pengujian.

4.1.1. Perhitungan Tingkat Konsentrasi Elektrolit Garam

Pada pengujian resistansi dan resistivitas dari elektrolit garam, garam kalsium klorida (CaCl_2) tersebut akan dilarutkan ke dalam $\frac{1}{2}$ liter air. Dimana tingkat konsentrasi dari garam tersebut di dalam larutan berdasarkan pada massa garam yang dilarutkan dalam air. Pada penelitian untuk mendapatkan nilai resistansi dan resistivitas dari garam tersebut tingkatan konsentrasi yang digunakan yaitu konsentrasi 30% setiap pengujiaanya.

Untuk mendapatkan konsentrasi garam 30% dalam larutan adalah dengan memasukkan 30% garam dari total massa air. Dimana diketahui bahwa massa dari 1 liter air adalah 1 kg.

1 liter air ~ 1 kg

$\frac{1}{2}$ liter air ~ 500 gram

Maka untuk mendapatkan 30% garam dalam larutan yang berisi $\frac{1}{2}$ liter atau 500 gram air menggunakan persamaan (2.1).

$$\text{Jumlah Garam}_{(\text{gram})} = \text{Konsentrasi } (\%) \times \text{Total Massa Air } (\text{gram})$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Garam}_{(\text{gram})} &= 30 \% \times 500 \text{ gram} \\ &= 150 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan 30% garam dalam larutan yang berisi $\frac{1}{2}$ liter air diperlukan 150 gram garam.

4.1.2. Penentuan Nilai Resistivitas Elektrolit Garam

Penentuan resistivitas elektrolit garam ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari resistivitas elektrolit garam, dimana nilai resistivitas tersebut diperoleh melalui perhitungan matematis berdasarkan data dari hasil pengukuran resistansinya. Rangkaian penentuan resistivitas dari elektrolit garam dapat dilihat pada Gambar 3.8 dimana ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansinya. Nilai resistansi yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai resistivitas elektrolit dengan menggunakan persamaan (2.9).

Pada pengukuran resistansi elektrolit, garam dilarutkan terlebih dahulu dalam air karena pada kondisi garam utuh tanpa dilarutkan terlebih dahulu, ohmmeter tidak mendeteksi besar nilai resistansinya. Hal ini disebabkan karena garam yang belum dilarutkan, ion-ion garam tersebut belum terbebas atau dengan kata lain garam belum terionisasi dengan sempurna.

Mengacu pada Gambar 3.8, data-data pengukuran yang dijadikan sebagai variabel tetap meliputi :

| | |
|--------------------------------|-----------------------|
| r (jari-jari tabung pengujian) | : 3,5 cm |
| l (tinggi tabung pengujian) | : 10,7 cm |
| V (volume tabung pengujian) | : $\frac{1}{2}$ liter |
| m (massa larutan garam uji) | : 500 gram |

Mengacu pada persamaan (2.9), perhitungan resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30 %, dimana diketahui resistansi rata-rata yang terukur sebesar 204 Ω , adalah sebagai berikut :

$$\rho = \frac{A \cdot R}{l} = \frac{\pi r^2 \cdot R}{l}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(3,14)(3,5)^2 (204)}{10,7} \\
 &= 733,35 \Omega \cdot \text{cm}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30 % sebesar $733,35 \Omega \cdot \text{cm}$

4.2. Penentuan Nilai Resistivitas Tanah

Penentuan resistivitas tanah menggunakan metode *Wenner*, yaitu metode penentuan nilai resistivitas tanah dengan menyusun empat buah elektroda batang pada satu garis dengan jarak yang sama antara elektroda batang yang satu dengan elektroda batang yang lainnya. Rangkaian pengukuran dengan menggunakan empat buah elektroda batang yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.9. Hasil pengukuran tegangan dan arus masing-masing akan terbaca pada alat ukur Voltmeter dan Ampermeter, setelah didapatkan besar tegangan dan arus yang terukur maka nilai resistivitas tanahnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16).

Data perhitungan resistivitas tanah yaitu :

| | |
|--|-----------|
| a (jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah) | : 300 cm |
| b (kedalaman penanaman elektroda batang) | : 20 cm |
| U (tegangan terukur pada Voltmeter) | : 0,027 V |
| I (arus terukur pada Ampermeter) | : 0,014 A |

Karena nilai dari a (jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah) jauh lebih besar jika dibandingkan dengan b (kedalaman penanaman elektroda batang) maka digunakan persamaan (2.14), yaitu :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{2\pi aU}{I} \\
 &= \frac{2(3,14)(300)(0,027)}{0,014} \\
 &= 3633,428 \Omega \cdot \text{cm}
 \end{aligned}$$

Jadi resistivitas tanah hasil pengukuran adalah $3633,428 \Omega \cdot \text{cm} \sim 3633,43 \Omega \cdot \text{cm}$.

Hasil perhitungan nilai resistivitas tanah dan hasil pengukuran berdasarkan analisis yang sama dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Penentuan Nilai Resistivitas Tanah

| Pengukuran ke- | a (cm) | b (cm) | U (volt) | I (ampere) | ρ (Ω .cm) |
|--------------------|--------|--------|--------------|--------------|------------------------|
| 1 | 300 | 20 | 0,027 | 0,014 | 3633,43 |
| 2 | | | 0,029 | 0,014 | 3902,57 |
| 3 | | | 0,025 | 0,014 | 3364,28 |
| Rata - Rata | | | 0,027 | 0,014 | 3633,43 |

 Sumber : Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran resistivitas tanah berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat tidak adanya perbedaan nilai resistivitas tanah yang mencolok di lahan tersebut (cenderung sama). Maka dari ketiga pengukuran tersebut diambil nilai rata-rata tegangan dan arus yaitu sebesar 0,027 volt dan 0,014 ampere dimana nilai resistivitas tanahnya adalah 3633,43 Ω .cm.

Berdasarkan Tabel 2.6 maka tanah yang digunakan dalam pengujian *Isolated Grounding System* diatas dengan resistivitas tanah 3633,43 Ω .cm termasuk dalam kategori campuran tanah liat, tanah kebun, dll dengan *range* nilai antara 500 Ω .cm sampai dengan 5.000 Ω .cm.

Hasil dari pengukuran resistivitas tanah tersebut akan digunakan sebagai data perhitungan nilai resistansi pentanahan baik sebelum pengkodisian *Isolated Grounding System* maupun setelah pengkodisian *Isolated Grounding System*.

4.3. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang

4.3.1. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System*

Pengukuran resistansi pentanahan pada skripsi ini akan digunakan dua buah perbandingan yaitu perbandingan antara pengukuran secara langsung di lapangan (praktek) dengan perhitungan secara analisis matematik (teori). Hal ini bertujuan untuk membandingkan nilai resistansi pentanahan yang didapatkan.

Pada pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkodisiaan *Isolated Grounding System*, tanah yang akan digunakan sebagai tempat pengukuran dan perhitungan adalah tanah murni yang masih belum ada pencampuran dengan bahan-bahan kimia (elektrolit garam) sehingga nilai resistivitas tanah yang didapatkan adalah resistivitas tanah murni.

4.3.1.1. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System*

Untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkodisian *Isolated Grounding System* perlu dilakukan pengukuran nilai resistansi pentanahan dilapangan. Pengukuran ini bertujuan untuk membandingkan nilai resistansi pentanahan hasil pengukuran dengan nilai resistansi pentanahan hasil perhitungan analisis matematik. Pengukuran resistansi pentanahan ini menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester* dan pengukurannya menggunakan metode 3 titik dimana digunakan tiga buah elektroda, satu elektroda utama dan dua elektroda bantu. Rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Pengujian resistansi pentanahan sebelum pengkodisian ini dilakukan pada lahan kosong yang memiliki nilai resistivitas tanah 3633,43 Ω .cm dan termasuk dalam kategori campuran tanah liat, tanah kebun, dll berdasarkan tabel 2.4.

Pengujian nilai resistansi pentanahan ini menggunakan elektroda batang yang dilapisi tembaga, dimana pada pengujian ini kedalaman penanaman elektroda batang kedalam tanah dibuat berubah-ubah yaitu 20 cm, 30 cm, 50 cm dan 80 cm. Masing-masing kedalaman akan dilakukan tiga kali pengukuran untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang akurat. Hasil dari pengujian nilai resistansi pentanahan ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System*

| Kedalaman Batang Elektroda (cm) | Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang (Ω) Pengukuran ke - | | | |
|-----------------------------------|--|------|------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | Rata-Rata |
| 80 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 50 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,9 |
| 30 | 39,3 | 39,3 | 39,3 | 39,3 |
| 20 | 50,4 | 50,4 | 50,4 | 50,4 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkodisian *Isolated Grounding System* yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, maka terlihat bahwa resistansi pentanahan pada lahan tersebut adalah stabil pada kedalaman tertentu. Semakin dalam penanaman batang elektroda maka semakin kecil nilai resistansi pentanahan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 pada kedalaman elektroda

batang 80 cm memiliki resistansi terkecil yaitu 24 Ω , sedangkan resistansi terbesar pada kedalaman batang elektroda 20 cm yaitu 50,4 Ω .

4.3.1.2. Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkondisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik

Pada perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian secara analisis matematik akan dilakukan perhitungan berdasarkan Gambar 2.6 yaitu tinjauan heterogenitas lapisan tanah. Dimana pada perhitungan resistansi pentanahan ini, tanah yang digunakan masih pada kondisi 100% tanah atau belum ada pengkondisian dengan menggunakan objek uji

Perhitungan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* secara analisis matematik berdasarkan pada Gambar 2.6. Dimana elektroda batang yang akan digunakan dalam pengujian diletakkan pada kedalaman 80 cm, 50 cm, 30 cm, dan 20 cm didalam tanah dan tanah yang digunakan dalam pengujian memiliki nilai resistivitas sebesar 3633,43 $\Omega \cdot \text{cm}$ berdasarkan Tabel 4.1. Perhitungan nilai resistansi tanah ini berdasarkan pada persamaan (2.11) dan (2.12).

Data perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang yaitu :

ρ (resistivitas tanah) : 3633,43 $\Omega \cdot \text{cm}$

l_n (tebal lapisan tanah ke-n) : 10 cm

dimana, $l_1 = l_2 = l_3 = l_n$

h (kedalaman penanaman elektroda batang)

dimana diubah-ubah 80 cm, 50 cm, 30 cm dan 20 cm.

r_n (jari-jari rata-rata lapisan tanah ke-n)

dimana, $r_1 = 5 \text{ cm}$; $r_2 = 15 \text{ cm}$

dengan penambahan 10 cm tiap lapisan tanah

Maka, mengacu pada Gambar 3.1 dengan data perhitungan yang ada digunakan persamaan (2.11) untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang dengan kedalaman 20 cm pada lapisan sel tanah ke-1.

$$R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi r_1^2)}$$

$$= \frac{(3633,43)(10)}{(2(3,14)(5)(20) + 2(3,14)(5)^2)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{36334,3}{(628 + 157)} \\
 &= 46,28573 \Omega
 \end{aligned}$$

Jadi, dari hasil perhitungan resistansi pentanahan pada lapisan sel tanah ke-1 kedalaman batang elektroda 20 cm berdasarkan Gambar 3.1 nilai resistansinya adalah 46,28573 Ω . Sedangkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang dengan kedalaman 80 cm pada lapisan sel tanah ke-1.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi r_1^2)} \\
 &= \frac{(3633,43)(10)}{(2(3,14)(5)(80) + 2(3,14)(5)^2)} \\
 &= \frac{36334,3}{(2512 + 157)} \\
 &= 13,61345 \Omega
 \end{aligned}$$

Jadi, dari hasil perhitungan resistansi pentanahan pada lapisan sel tanah ke-1 kedalaman batang elektroda 80 cm berdasarkan Gambar 3.1 nilai resistansinya adalah 13,61345 Ω .

Pada perhitungan resistansi pentanahan berdasarkan Gambar 3.10 digunakan metode 3 titik dimana jarak antara elektroda adalah 10 m sehingga total jarak dari elektroda utama sampai dengan elektroda bantu 1 adalah 20 m. Dengan demikian pada perhitungan resistansi pentanahan digunakan *range* sampai dengan 20 m atau 2000 cm. Karena tebal lapisan tanah yang digunakan tiap lapisannya (l) adalah 10 cm maka dalam perhitungan resistansi pentanahan digunakan sampai dengan 200 lapisan sel tanah dengan jari-jari mulai dari 10 cm sampai dengan 2000 cm.

Hasil perhitungan nilai resistansi tanah hasil pengukuran berdasarkan analisis yang sama yaitu persamaan (2.11) dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System* Pada Kedalaman Elektroda Batang 20 cm Secara Analisis Matematik

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 3633,428 | 10 | 46,28573 |
| 2 | | 20 | 57,30614 |
| 3 | | 30 | 62,44900 |
| 4 | | 40 | 65,45457 |
| 5 | | 50 | 67,43259 |
| 6 | | 60 | 68,83519 |
| 7 | | 70 | 69,88238 |
| 8 | | 80 | 70,69441 |
| 9 | | 90 | 71,34267 |
| 10 | | 100 | 71,87226 |
| 11 | | 110 | 72,31307 |
| 12 | | 120 | 72,68574 |
| 13 | | 130 | 73,00495 |
| 14 | | 140 | 73,28145 |
| 15 | | 150 | 73,52328 |
| 16 | | 160 | 73,73658 |
| 17 | | 170 | 73,92612 |
| 18 | | 180 | 74,09566 |
| 19 | | 190 | 74,24822 |
| 20 | | 200 | 74,38622 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 76,84919 | |
| 197 | 1970 | 76,85068 | |
| 198 | 1980 | 76,85215 | |
| 199 | 1990 | 76,85360 | |
| 200 | 2000 | 76,85504 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

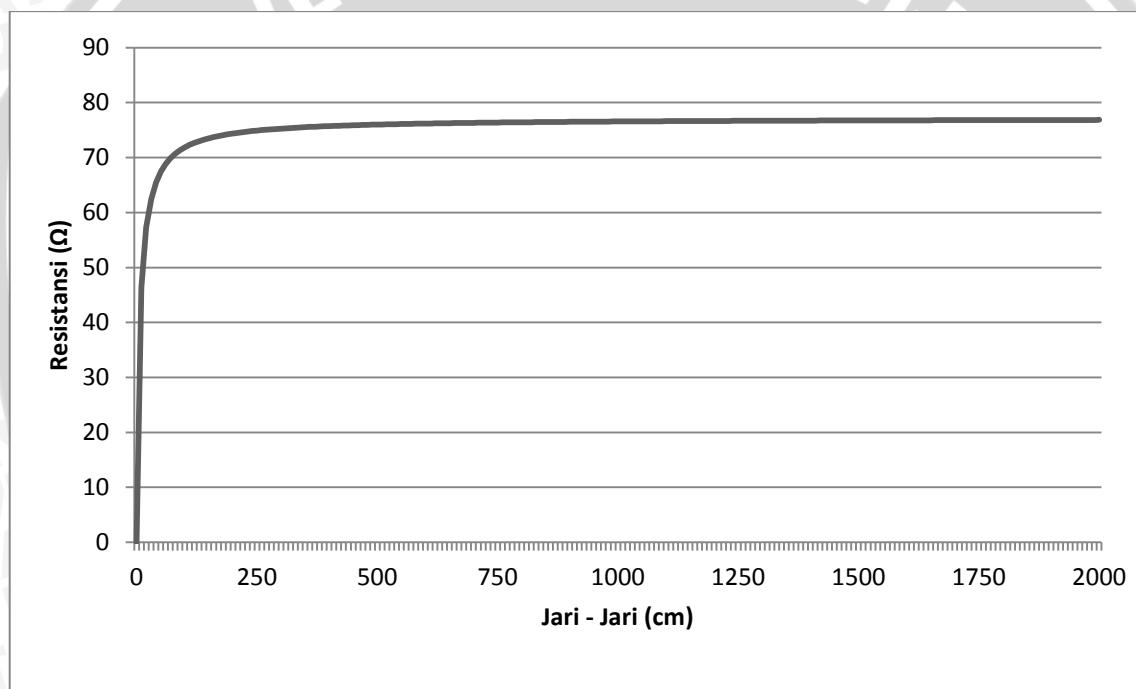
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System* Pada Kedalaman Elektroda Batang 80 cm Secara Analisis Matematik

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 3633,428 | 10 | 13,61345 |
| 2 | | 20 | 17,67360 |
| 3 | | 30 | 19,87769 |
| 4 | | 40 | 21,31513 |
| 5 | | 50 | 22,34370 |
| 6 | | 60 | 23,12292 |
| 7 | | 70 | 23,73679 |
| 8 | | 80 | 24,23449 |
| 9 | | 90 | 24,64702 |
| 10 | | 100 | 24,99503 |
| 11 | | 110 | 25,29288 |
| 12 | | 120 | 25,55088 |
| 13 | | 130 | 25,77667 |
| 14 | | 140 | 25,97600 |
| 15 | | 150 | 26,15334 |
| 16 | | 160 | 26,31218 |
| 17 | | 170 | 26,45530 |
| 18 | | 180 | 26,58496 |
| 19 | | 190 | 26,70297 |
| 20 | | 200 | 26,81086 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 28,95459 | |
| 197 | 1970 | 28,95603 | |
| 198 | 1980 | 28,95745 | |
| 199 | 1990 | 28,95886 | |
| 200 | 2000 | 28,96026 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

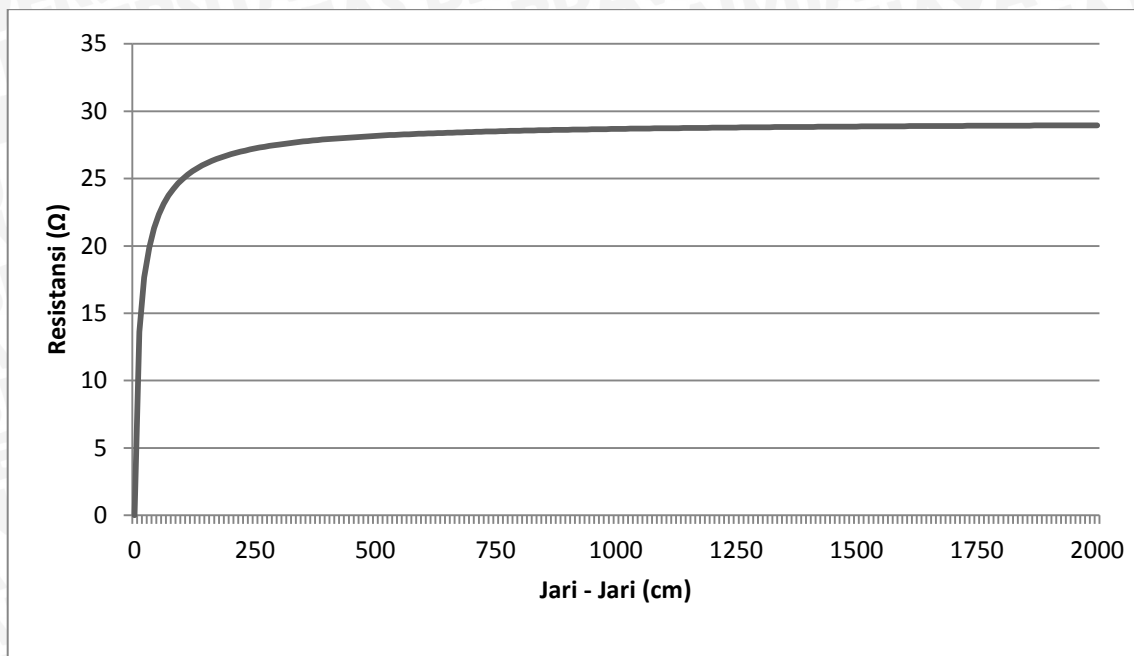
Dari hasil perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkodisian *Isolated Grounding System* pada kedalaman elektroda batang 80 cm secara analisis matematik pada Tabel 4.3 didapatkan besar nilai resistansi pentanahan adalah $28,96026 \Omega \sim 28,96 \Omega$. Sedangkan pada kedalaman elektroda batang 20 cm secara analisis matematik pada Tabel 4.4 didapatkan besar nilai resistansi pentanahan adalah $76,85504 \Omega \sim 76,86 \Omega$, nilai ini menunjukkan besar nilai resistansi pentanahan pada kondisi 100% tanah murni sebelum adanya pengkodisian.

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dilihat bahwa semakin besar nilai jari-jari lapisan tanah maka nilai resistansi pentanahannya semakin naik. Grafik nilai resistansi pentanahan elektroda batang secara perhitungan matematik ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Resistansi Pentanahan Kedalaman Elektroda Batang 20 cm Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.2 Grafik Resistansi Pentanahan Kedalaman Elektroda Batang 80 cm Sebelum Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari grafik pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dianalisis bahwa semakin besar jari-jari, nilai resistansi pentanahan semakin besar, tetapi tampak dari grafik Gambar 4.2 diatas bahwa kenaikan nilai resistansi pentanahan ini mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 750 cm. Sedangkan dari grafik pada Gambar 4.1 mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 250 cm. Hal ini menandakan bahwa besar nilai jari-jari diatas 250 cm sudah tidak efektif atau sudah tidak terlalu berpengaruh dalam resistansi pentanahan elektroda batang. Oleh sebab itu dalam melakukan suatu perlakuan untuk menurunkan resistansi pentanahan elektroda batang harus dilakukan pada jari-jari kurang dari 250 cm agar diperoleh nilai resistansi pentanahan elektroda batang yang kecil.

4.3.2. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System*

Berdasarkan tujuan dari skripsi ini adalah untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang sekecil mungkin, maka dilakukan sebuah *treatment* terhadap tanah yang dilakukan dalam pengujian. *Treatment* yang dimaksud adalah dengan menambahkan tabung yang berisi elektrolit garam di sekitar elektroda batang, hal ini

dilakukan karena resistansi tanah disekitar elektroda batang atau pada jari-jari lapisan tanah yang paling kecil memiliki nilai resistansi pentanahan yang tinggi, yaitu pada kedalaman elektroda batang 80 cm berdasarkan Tabel 4.4 sebesar 13,61345 Ω . Maka untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan yang kecil digunakan *Isolated Grounding System* yaitu dengan menambahkan tabung yang berisi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) disekitar elektroda batang yang memiliki nilai resistansi yang cukup besar dengan elektrolit garam yang memiliki nilai resistivitas yang lebih kecil bila dibandingkan nilai resistivitas tanah.

Dalam mendapatkan nilai dari resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan *Isolated Grounding System* digunakan dua buah perbandingan nilai, yaitu nilai dari hasil pengukuran resistansi di lapangan (praktek) dan juga dari hasil perhitungan resistansi secara analisis matematik (teori) dimana hal ini dilakukan untuk membandingkan besar nilai resistansi pentanahan.

Pengujian dan perhitungan nilai resistansi tanah ini menggunakan tiga buah tabung dengan diameter yang berbeda, yaitu 30 cm, 40 cm, 50 cm dan dengan menggunakan kedalaman elektroda batang yang berbeda, yaitu 20 cm, 30 cm, 50 cm dan 80 cm pada setiap pengujian dan perhitungannya. Tujuan dari pengukuran dan perhitungan nilai resistansi dari ketiga buah tabung dengan kedalaman yang berbeda adalah untuk menentukan besar diameter tabung dan kedalaman batang elektroda terbaik dalam sistem pentanahan yaitu yang memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling kecil.

Berdasarkan besar diameter tabung yang digunakan, kelompok pengukuran ini digolongkan dalam 3 macam pengukuran, yaitu :

1. Pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) pada tanah *treatment*.
2. Pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) pada tanah *treatment*.
3. Pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) pada tanah *treatment*.

Pada pengukuran resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* digunakan alat ukur *Earth Resistance Tester* dan pengukurannya menggunakan metode 3 titik dimana digunakan tiga buah elektroda, satu elektroda utama dan dua elektroda bantu. Rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.10. Dan untuk perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* secara analisis matematik akan dilakukan berdasarkan tinjauan heteroginitas lapisan tanah yang digambarkan pada Gambar 2.6.

4.3.2.1. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 30 cm

Pada pengukuran resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 30 cm didapatkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

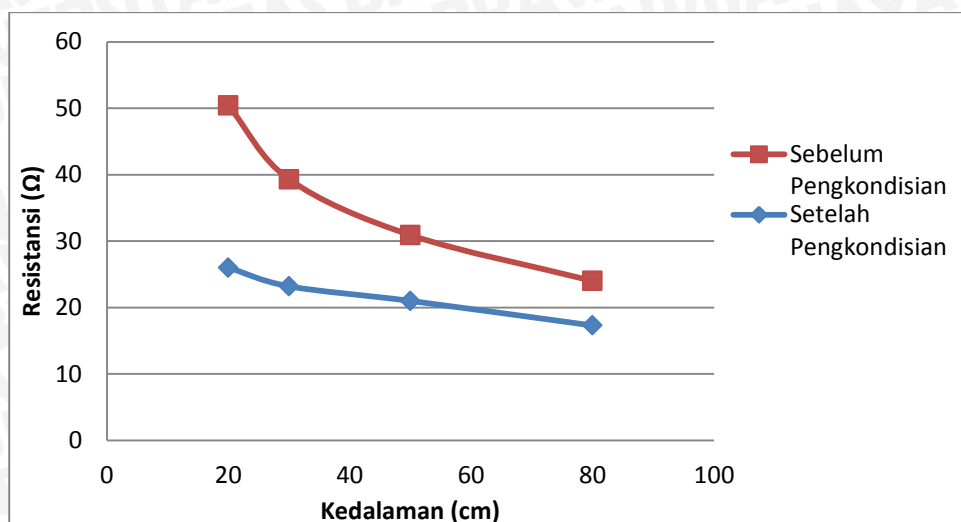
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 30 cm

| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | | |
|--|--------------------------|--|------|------|-----------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda (cm) | Nilai Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian (Ω) | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | Rata-Rata |
| 50,4 | 20 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 39,3 | 30 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 23,2 |
| 30,9 | 50 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 24 | 80 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 17,3 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Pada Tabel 4.5 nilai resistansi pentanahan elektroda batang mengalami perubahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm yaitu nilai resistansinya menurun. Penurunan ini berdasarkan Tabel 4.5 mengalami penurunan yang bertahap seiring dengan kedalaman elektroda batang.

Penurunan dari nilai pengukuran resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm ini dibandingkan dengan nilai resistansi pentanahan sebelum pengkondisian dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum Pengkondisian dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 30 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan menggunakan diameter tabung 30 cm. Saat sebelum dilakukan pengkondisian pada tanah pengujian, pada kedalaman elektroda batang 80 cm nilai resistansi tanah adalah 24 Ω, sedangkan setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm nilainya berubah menjadi 17,3 Ω. Hal ini juga terjadi pada kedalaman batang elektroda 20 cm, 30 cm, dan 50 cm. Terjadi penurunan nilai resistansi yang signifikan jika dibandingkan dengan nilai resistansi sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30. Nilai resistansi terus mengalami penurunan seiring dengan kedalaman elektroda batang, namun kedalaman elektroda batang setelah pengkondisian tidak berpengaruh besar dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan jika dibandingkan dengan sebelum pengkondisian.

Berdasarkan Tabel 4.5 dan Gambar 4.3 nilai penurunan nilai resistansi terbesar adalah setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm pada kedalaman elektroda batang 20 cm yaitu sebesar 24,4 Ω, dimana nilai resistansi pentanahan sebelum pengkondisian sebesar 50,4 Ω dan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian sebesar 26 Ω. Untuk melihat pengaruh kedalaman batang elektroda terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan pada *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm yang lain ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengaruh Kedalaman Batang Elektroda Pada Diameter Tabung 30 cm Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Terhadap Resistansi Pentanahan

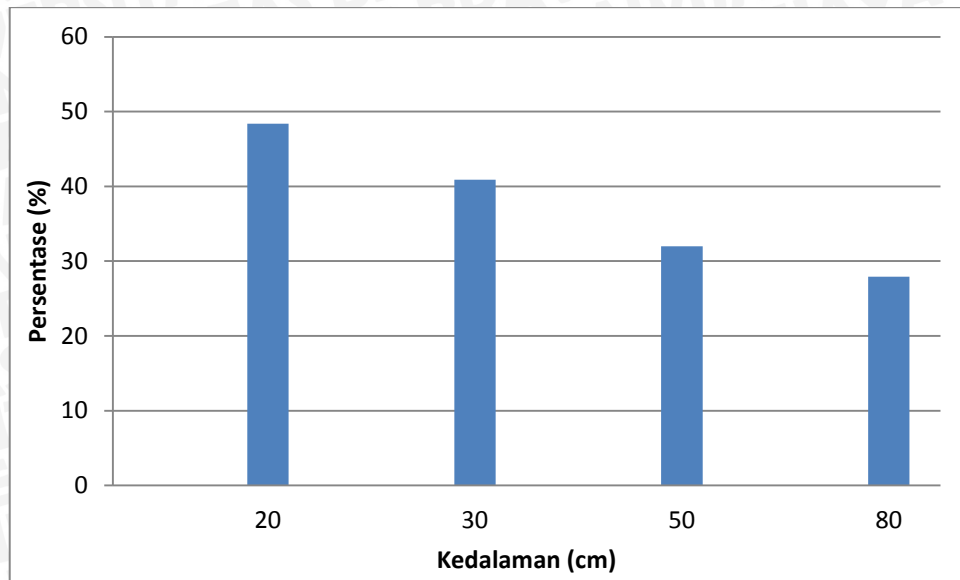
| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda Batang (cm) | Setelah Pengkondisian (Ω) | Penurunan (Ω) | Persentase Penurunan (%) |
| 50,4 | 20 | 26 | 24,4 | 48,4 |
| 39,3 | 30 | 23,2 | 16,1 | 40,9 |
| 30,9 | 50 | 21 | 9,9 | 32 |
| 24 | 80 | 17,3 | 6,7 | 27,9 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Pada tabel 4.6 dapat diketahui pengaruh kedalaman batang elektroda pada diameter tabung 30 cm terhadap nilai resistansi pentanahan. Persentase penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang yang paling besar terjadi pada kedalaman batang elektroda 20 cm yaitu sebesar 48,4%, sedangkan penurunan nilai resistansi pentanahan paling kecil terjadi pada kedalaman batang elektroda 80 cm, yaitu sebesar 27,9%.

Dari persentase penurunan nilai resistansi pentanahan tersebut dapat diketahui bahwa persentase penurunan berbanding terbalik dengan kedalaman elektroda batang, sehingga semakin dalam penanaman elektroda batang maka persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *isolated grounding system* akan semakin kecil. Hal ini bertolak belakang dengan sebelum pengkondisian *isolated grounding system*, kedalaman elektroda berbanding lurus dengan presentase penurunan nilai resistansi pentanahan. Jadi, kedalaman elektroda batang setelah pengkondisian tidak berpengaruh besar dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan jika dibandingkan dengan sebelum pengkondisian

Grafik persentase penurunan nilai resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 30 cm setelah pengkondisian *isolated grounding system* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Persentase Penurunan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Pada Diameter Tabung 30 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.4 tampak bahwa persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* memiliki kenaikan persentase yang cukup signifikan yaitu mendekati 50%, ini membuktikan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang dapat diturunkan dengan nilai yang cukup signifikan dengan menggunakan *Isolated Grounding System* diameter tabung 30 cm.

Untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* yang tepat, maka dilakukan perbandingan nilai resistansi pentanahan antara pengukuran di lapangan dengan perhitungan secara analisis matematik.

Pada perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* secara analisis matematik akan dilakukan perhitungan berdasarkan gambar 3.4 dimana pada perhitungan resistansi pentanahan ini, tanah disekitar elektroda batang dikondisikan dengan tabung dengan diameter 30 cm yang berisi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30%. Pada perhitungan ini terdapat dua macam resistivitas (ρ_1 dan ρ_2) yang digunakan, yaitu resistivitas garam kalsium klorida (CaCl_2) dan resistivitas tanah murni.

Pada perhitungan secara analisis matematik yang pertama akan dihitung nilai resistansi pentanahan elektroda batang dengan diameter tabung 30 cm dan kedalaman

batang elektroda 20 cm. Pada tingkat konsentrasi 30% elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) memiliki nilai resistivitas sebesar $733,351 \Omega \cdot \text{cm}$. Nilai ini akan digunakan dalam perhitungan secara analisis matematik untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian menggunakan diameter tabung 30 cm dengan kedalaman batang elektroda 20 cm.

Setelah perhitungan dengan menggunakan diameter tabung 30 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm dengan konsentrasi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) 30% telah didapatkan nilai resistansi pentanahan, maka selanjutnya adalah menghitung nilai resistansi pentanahan dengan diameter tabung 30 cm yang memiliki kedalaman 80 cm.

Mengacu pada Gambar 3.2, dengan data-data perhitungan yang dijadikan sebagai variabel meliputi :

r (jari-jari tabung pengujian) : 30 cm

l (tebal lapisan tanah) : 10 cm

h (kedalaman elektroda) : 80 cm

Mengacu pada persamaan (3.7), perhitungan nilai resistansi pada lapisan tanah pertama l_1 adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h)} = \frac{733,351 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 80)}$$

$$= 2,91939 \Omega$$

$$R_b = \frac{\rho_2 l_2}{A_2} = \frac{\rho_2 l_2}{(2\pi r_2^2)} = \frac{3633,428 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5^2)}$$

$$= 231,42866 \Omega$$

$$R_1 = \frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = \frac{2,91939 \cdot 231,42866}{2,91939 + 231,42866}$$

$$= 2,88302 \Omega$$

Jadi nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm dan kedalaman elektroda batang 80 cm pada lapisan tanah pertama l_1 sebesar $2,88302 \Omega$.

Tujuan dari perhitungan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan menggunakan kedalaman paling rendah 20 cm dan yang paling tinggi 80 cm untuk mengetahui besar *range* nilai resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 30 cm.

Perhitungan secara analisis matematik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 30 cm ini menggunakan persamaan yang berbeda dengan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah l_1 dan l_2 , namun menggunakan persamaan yang sama dengan sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah $l_3, l_4, l_5, \dots, l_{200}$ dimana akan dilakukan perhitungan resistansi pentanahan hingga 200 lapisan tanah, karena pada pengambilan data hasil pengukuran menggunakan metode 3 titik telah ditentukan jarak antara elektroda utama, elektroda bantu pertama dan elektroda bantu kedua adalah 10 meter. Tabung yang berisi elektrolit elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% memiliki diameter 30 cm maka pada lapisan sel tanah ke-1, 2 digunakan resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% sedangkan pada lapisan sel tanah ke-3, 4, 5, 200 digunakan resistivitas tanah murni. Dalam menghitung besar nilai resistansi pentanahan elektroda batang ini digunakan persamaan (3.1), (3.7) dan (3.11). Hasil perhitungan resistansi pentanahan untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm diameter tabung 30 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30% dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 30 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 20 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 9,34206 |
| 2 | | 15 | 11,28832 |
| 3 | | 20 | 16,79852 |
| 4 | | 30 | 21,94138 |
| 5 | | 40 | 24,94695 |
| 6 | | 50 | 26,92497 |
| 7 | | 60 | 28,32757 |
| 8 | | 70 | 29,37476 |
| 9 | | 80 | 30,18679 |
| 10 | | 90 | 30,83505 |
| 11 | 3633,428 | 100 | 31,36463 |
| 12 | | 110 | 31,80545 |
| 13 | | 120 | 32,17812 |
| 14 | | 130 | 32,49733 |
| 15 | | 140 | 32,77383 |
| 16 | | 150 | 33,01566 |
| 17 | | 160 | 33,22896 |
| 18 | | 170 | 33,41850 |
| 19 | | 180 | 33,58804 |
| 20 | | 190 | 33,74060 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 36,34157 | |
| 197 | 1970 | 36,34306 | |
| 198 | 1980 | 36,34453 | |
| 199 | 1990 | 36,34598 | |
| 200 | 2000 | 36,34742 | |

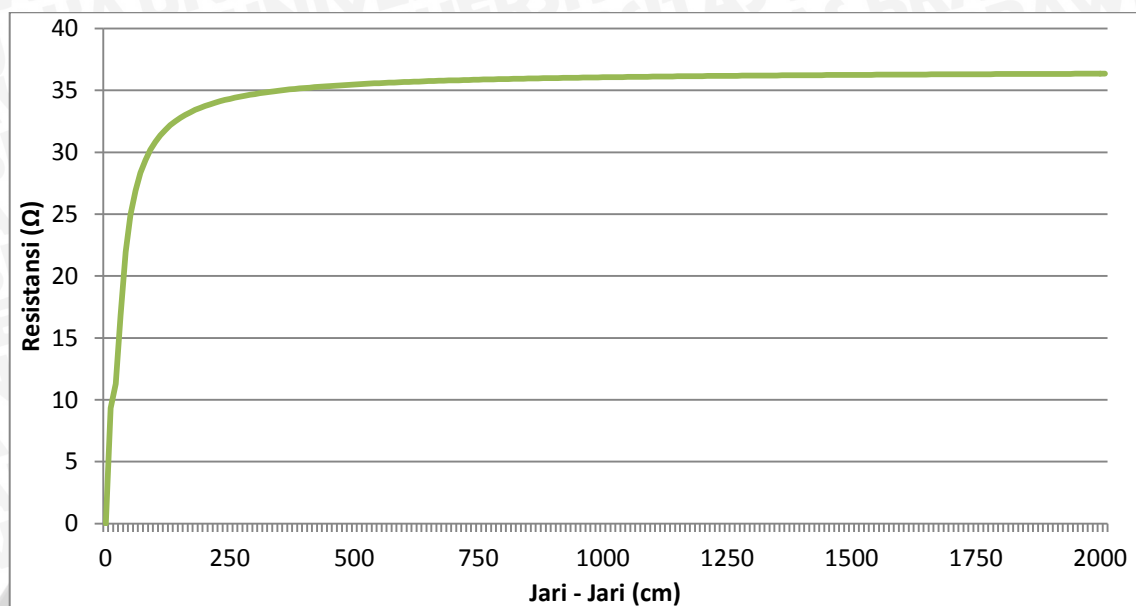
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 30 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 80 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 2,88302 |
| 2 | | 15 | 3,59491 |
| 3 | | 20 | 5,62499 |
| 4 | | 30 | 7,82907 |
| 5 | | 40 | 9,26652 |
| 6 | | 50 | 10,29509 |
| 7 | | 60 | 11,07431 |
| 8 | | 70 | 11,68818 |
| 9 | | 80 | 12,18587 |
| 10 | | 90 | 12,59840 |
| 11 | 3633,428 | 100 | 12,94642 |
| 12 | | 110 | 13,24426 |
| 13 | | 120 | 13,50227 |
| 14 | | 130 | 13,72805 |
| 15 | | 140 | 13,92739 |
| 16 | | 150 | 14,10473 |
| 17 | | 160 | 14,26357 |
| 18 | | 170 | 14,40669 |
| 19 | | 180 | 14,53634 |
| 20 | | 190 | 14,65436 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 16,90597 | |
| 197 | 1970 | 16,90741 | |
| 198 | 1980 | 16,90884 | |
| 199 | 1990 | 16,91025 | |
| 200 | 2000 | 16,91165 | |

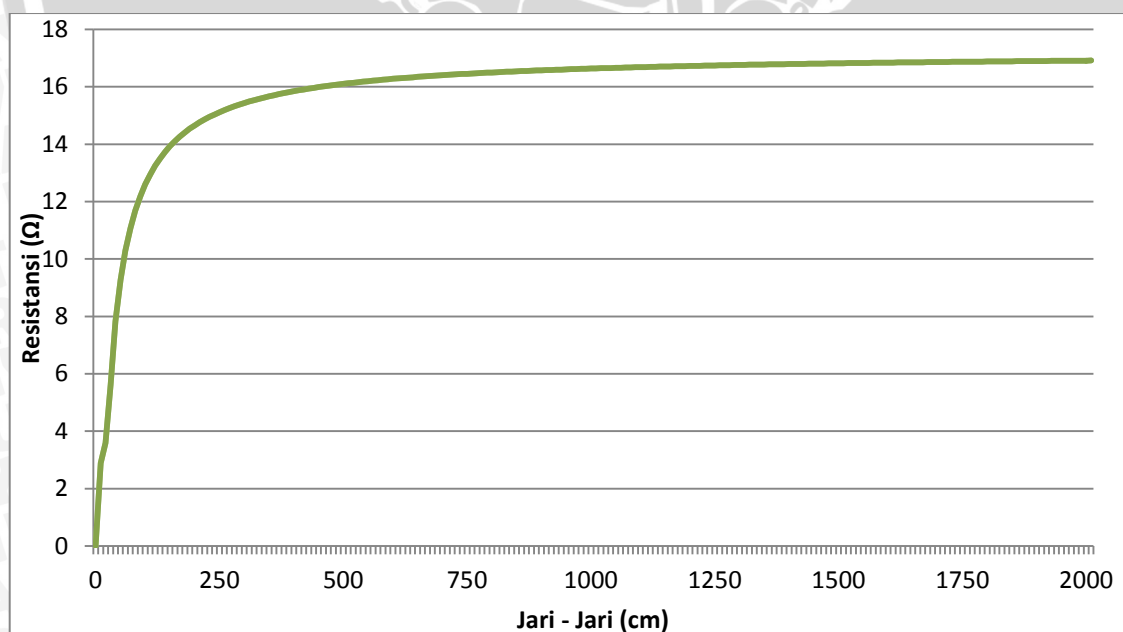
Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan 4.6 berikut ini.



Gambar 4.5 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 30 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 20 cm

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.6 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 30 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 80 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada perhitungan secara analisis matematik sesuai dengan Tabel 4.7 dan 4.8 didapatkan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm dan kedalaman elektroda batang 20 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan tingkat konsentrasi 30 % sebesar $36,34742 \Omega \sim 36,35 \Omega$ dan pada kedalaman elektroda batang 80 cm sebesar $16,91165 \Omega \sim 16,91 \Omega$.

Dan perubahan nilai resistansi pentanahan elektroda batang pada lapisan sel tanah ke-1 sampai dengan ke-200 untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30% dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.

Berdasarkan tabel dan gambar diatas dianalisis bahwa semakin besar jari-jari, nilai resistansi pentanahan semakin besar, tetapi tampak dari gambar grafik diatas bahwa kenaikan nilai resistansi pentanahan ini mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 750 cm. Hal ini menandakan bahwa besar nilai jari-jari diatas 750 cm sudah tidak efektif atau sudah tidak terlalu berpengaruh dalam resistansi pentanahan elektroda batang. Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam di sekitar elektroda batang ini tampak dalam gambar grafik diatas dimana pada jari-jari 0 – 15 cm terjadi pembelokan, itu menunjukkan nilai resistansinya sangat rendah, sehingga berdampak pada resistansi pentanahan elektroda batang secara keseluruhan. Nilai resistansi yang rendah disekitar elektroda batang ini terjadi setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan diameter tabung 30 cm di sekitar elektroda batang dimana nilai resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) yang lebih rendah dibandingkan resistivitas tanah di sekitar elektroda batang menyebabkan nilai resistansi pentanahan di sekitar elektroda batang mengalami penurunan bila dibandingkan sebelum pengkondisian.

4.3.2.2. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 40 cm

4.3.2.3.

Pada pengukuran resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisiaan dengan diameter tabung 40 cm didapatkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

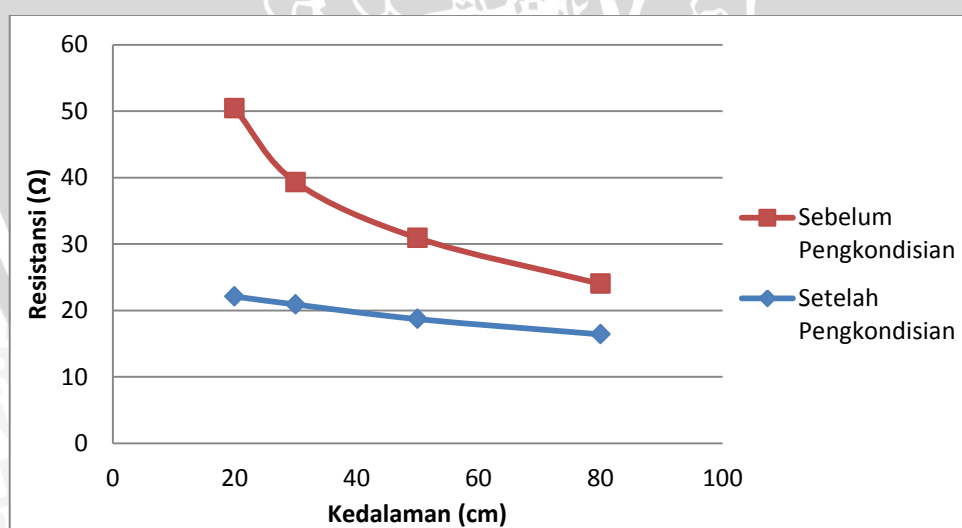
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 40 cm

| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | | |
|--|--------------------------|--|------|------|-----------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda (cm) | Nilai Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian (Ω) | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | Rata-Rata |
| 50,4 | 20 | 22,1 | 22,1 | 22,1 | 22,1 |
| 39,3 | 30 | 20,9 | 20,9 | 20,9 | 20,9 |
| 30,9 | 50 | 18,7 | 18,7 | 18,7 | 18,7 |
| 24 | 80 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,4 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Pada Tabel 4.9 nilai resistansi pentanahan elektroda batang mengalami perubahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm yaitu nilai resistansinya menurun. Penurunan ini berdasarkan Tabel 4.9 mengalami penurunan yang bertahap seiring dengan kedalaman elektroda batang.

Penurunan dari nilai pengukuran resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm ini dibandingkan dengan nilai resistansi pentanahan sebelum pengkondisian dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum Pengkondisian dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 40 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan menggunakan diameter tabung 40 cm. Saat

sebelum dilakukan pengkondisian pada tanah pengujian, nilai resistansi tanah adalah 24 Ω pada kedalaman elektroda batang 80 cm, sedangkan setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm dan kedalaman batang elektroda yang sama dengan sebelum pengkondisian nilainya berubah menjadi 16,4 Ω . Pada kedalaman 20 cm, 30 cm dan 50 cm juga terjadi penurunan nilai resistansi pentanahan yang signifikan jika dibandingkan dengan setelah pengkondisian.

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 nilai penurunan nilai resistansi terbesar adalah dengan menggunakan diameter tabung 40 cm dengan kedalaman elektroda batang 20 cm yaitu sebesar 28,3 Ω , dimana nilai resistansi pentanahan sebelum pengkondisian sebesar 50,4 Ω dan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian sebesar 22,1 Ω . Untuk melihat pengaruh kedalaman elektroda batang terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan pada pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm yang lain ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Pengaruh Kedalaman Batang Elektroda Pada Diameter Tabung 40 cm Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Terhadap Resistansi Pentanahan

| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda Batang (cm) | Setelah Pengkondisian (Ω) | Penurunan (Ω) | Persentase Penurunan (%) |
| 50,4 | 20 | 22,1 | 28,3 | 56,1 |
| 39,3 | 30 | 20,9 | 18,4 | 46,8 |
| 30,9 | 50 | 18,7 | 12,2 | 39,4 |
| 24 | 80 | 16,4 | 7,6 | 31,6 |

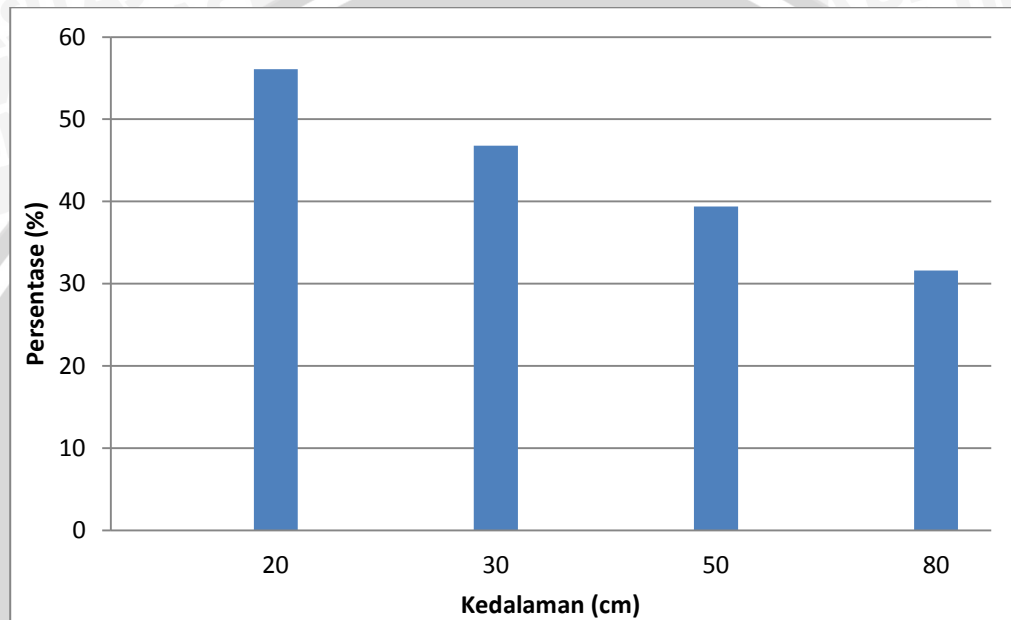
Sumber : Hasil Pengukuran

Pada tabel 4.10 dapat diketahui pengaruh kedalaman batang elektroda pada diameter tabung 40 cm terhadap nilai resistansi pentanahan. Persentase penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang yang paling besar terjadi pada kedalaman batang elektroda 20 cm yaitu sebesar 56,1%, sedangkan penurunan nilai resistansi pentanahan paling kecil terjadi pada kedalaman batang elektroda 80 cm, yaitu sebesar 31,6%.

Dari persentase penurunan nilai resistansi pentanahan tersebut dapat diketahui bahwa persentase penurunan berbanding terbalik dengan kedalaman elektroda batang, sehingga semakin dalam penanaman elektroda batang maka persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *isolated grounding system* akan semakin

kecil. Hal ini sangat bertolak belakang dengan sebelum pengkondisian *isolated grounding system*, kedalaman elektroda berbanding lurus dengan presentase penurunan nilai resistansi pentanahan. Jadi, kedalaman elektroda batang setelah pengkondisian tidak berpengaruh besar dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan jika dibandingkan dengan sebelum pengkondisian

Persentase penurunan resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 40 cm setelah pengkondisian dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Persentase Penurunan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian Dengan Diameter Tabung 40 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.8 tampak bahwa persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* memiliki penurunan persentase yang cukup signifikan yaitu mendekati 57% pada kedalaman 20 cm, ini membuktikan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang dapat diturunkan dengan nilai yang cukup signifikan dengan *Isolated Grounding System* menggunakan diameter tabung 40 cm.

Untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* yang tepat, maka dilakukan perbandingan nilai resistansi pentanahan antara pengukuran di lapangan dengan perhitungan secara analisis matematik.

Pada perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* secara analisis matematik akan dilakukan perhitungan

berdasarkan gambar 3.3 dimana pada perhitungan resistansi pentanahan ini, tanah disekitar elektroda batang dikondisikan dengan tabung dengan diameter 40 cm yang berisi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30%. Pada perhitungan ini terdapat dua macam resistivitas (ρ_1 dan ρ_2) yang digunakan, yaitu resistivitas garam kalsium klorida (CaCl_2) dan resistivitas tanah murni.

Pada perhitungan secara analisis matematik yang pertama akan dihitung nilai resistansi pentanahan elektroda batang dengan diameter tabung 40 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm. Pada tingkat konsentrasi 30% elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) memiliki nilai resistivitas sebesar $733,351 \Omega \cdot \text{cm}$. Nilai ini akan digunakan dalam perhitungan secara analisis matematik untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan menggunakan diameter tabung 40 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm.

Setelah perhitungan dengan menggunakan diameter tabung 40 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm dengan konsentrasi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) 30% telah didapatkan nilai resistansi pentanahan, maka selanjutnya adalah menghitung nilai resistansi pentanahan dengan diameter tabung 40 cm yang memiliki kedalaman 80 cm.

Mengacu pada Gambar 3.2, dengan data-data perhitungan yang dijadikan sebagai variabel meliputi :

r (jari-jari tabung pengujian) : 40 cm

l (tebal lapisan tanah) : 10 cm

h (kedalaman elektroda) : 80 cm

Mengacu pada persamaan (3.7), perhitungan nilai resistansi pada lapisan tanah pertama l_1 adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h)} = \frac{733,351 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 80)} \\ = 2,91939 \Omega$$

$$R_b = \frac{\rho_2 l_2}{A_2} = \frac{\rho_2 l_2}{(2\pi r_2^2)} = \frac{3633,428 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5^2)} \\ = 231,42866 \Omega$$

$$R_1 = \frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = \frac{2,91939 \cdot 231,42866}{2,91939 + 231,42866} \\ = 2,88302 \Omega$$

Jadi nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm dan kedalaman elektroda batang 80 cm pada lapisan tanah pertama l_1 sebesar 2,88302 Ω .

Tujuan dari perhitungan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan menggunakan kedalaman paling rendah 20 cm dan yang paling tinggi 80 cm untuk mengetahui besar *range* nilai resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 40 cm.

Perhitungan secara analisis matematik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 40 cm ini menggunakan persamaan yang berbeda dengan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah l_1 dan l_2 , namun menggunakan persamaan yang sama dengan sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah $l_3, l_4, l_5, \dots, l_{200}$ dimana akan dilakukan perhitungan resistansi pentanahan hingga 200 lapisan tanah, karena pada pengambilan data hasil pengukuran menggunakan metode 3 titik telah ditentukan jarak antara elektroda utama, elektroda bantu pertama dan elektroda bantu kedua adalah 10 meter. Tabung yang berisi elektrolit elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% memiliki diameter 40 cm maka pada lapisan sel tanah ke-1, 2 digunakan resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% sedangkan pada lapisan sel tanah ke-3, 4, 5, 200 digunakan resistivitas tanah murni. Dalam menghitung besar nilai resistansi pentanahan elektroda batang ini digunakan persamaan (3.1), dan (3.7). Hasil perhitungan resistansi pentanahan untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm diameter tabung 40 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30% dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 40 cm Kedalaman Elektroda Batang 20 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 9,34206 |
| 2 | | 20 | 11,56636 |
| 3 | | 30 | 16,70921 |
| 4 | | 40 | 19,71478 |
| 5 | | 50 | 21,69280 |
| 6 | | 60 | 23,09540 |
| 7 | | 70 | 24,14259 |
| 8 | | 80 | 24,95462 |
| 9 | | 90 | 25,60288 |
| 10 | | 100 | 26,13247 |
| 11 | 3633,428 | 110 | 26,57328 |
| 12 | | 120 | 26,94595 |
| 13 | | 130 | 27,26516 |
| 14 | | 140 | 27,54166 |
| 15 | | 150 | 27,78349 |
| 16 | | 160 | 27,99679 |
| 17 | | 170 | 28,18633 |
| 18 | | 180 | 28,35587 |
| 19 | | 190 | 28,50843 |
| 20 | | 200 | 28,64643 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 31,10940 | |
| 197 | 1970 | 31,11089 | |
| 198 | 1980 | 31,11236 | |
| 199 | 1990 | 31,11381 | |
| 200 | 2000 | 31,11525 | |

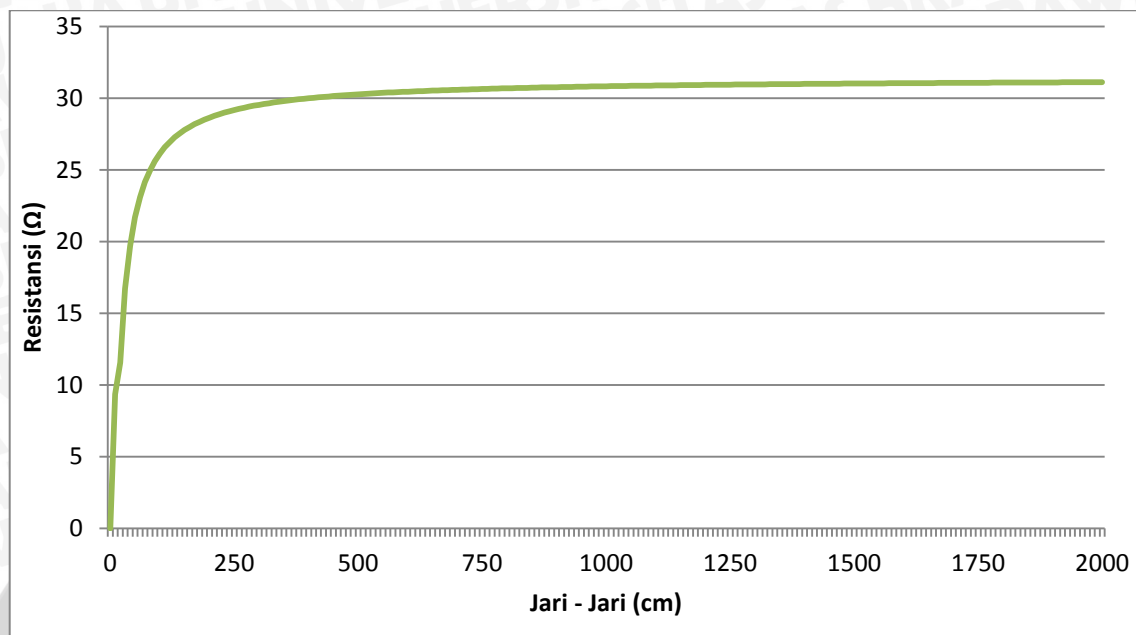
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 40 cm Kedalaman Elektroda Batang 80 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 2,88302 |
| 2 | | 20 | 3,82067 |
| 3 | | 30 | 6,02475 |
| 4 | | 40 | 7,46220 |
| 5 | | 50 | 8,49077 |
| 6 | | 60 | 9,26999 |
| 7 | | 70 | 9,88386 |
| 8 | | 80 | 10,38156 |
| 9 | | 90 | 10,79409 |
| 10 | | 100 | 11,14210 |
| 11 | 3633,428 | 110 | 11,43995 |
| 12 | | 120 | 11,69795 |
| 13 | | 130 | 11,92373 |
| 14 | | 140 | 12,12307 |
| 15 | | 150 | 12,30041 |
| 16 | | 160 | 12,45925 |
| 17 | | 170 | 12,60237 |
| 18 | | 180 | 12,73202 |
| 19 | | 190 | 12,85004 |
| 20 | | 200 | 12,95793 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 15,10165 | |
| 197 | 1970 | 15,10309 | |
| 198 | 1980 | 15,10452 | |
| 199 | 1990 | 15,10593 | |
| 200 | 2000 | 15,10733 | |

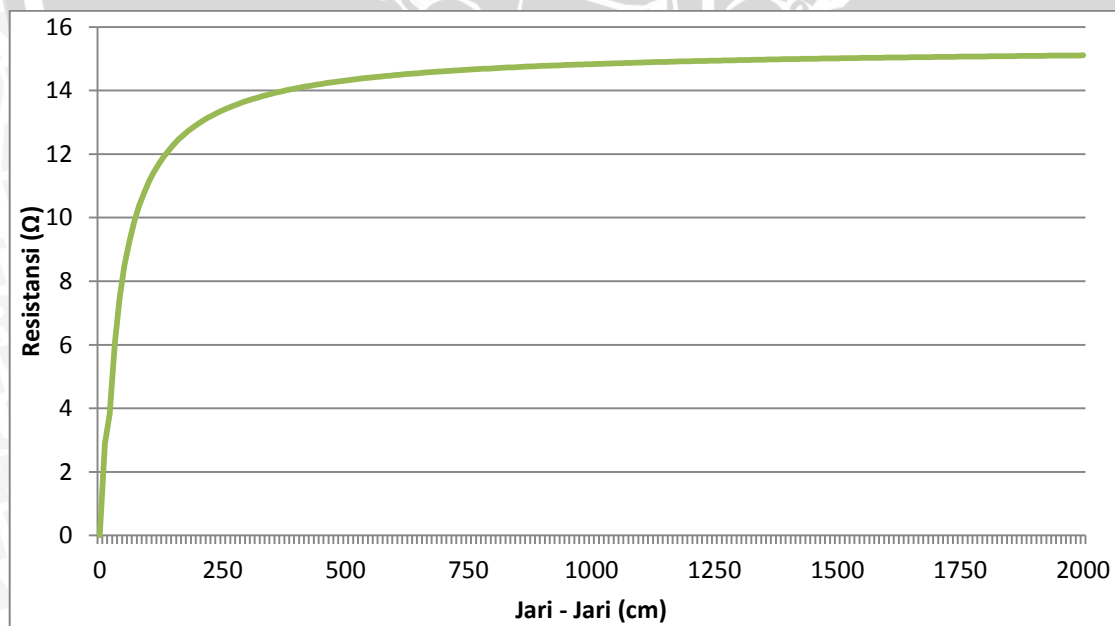
Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan 4.10 berikut ini.



Gambar 4.9 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 40 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 20 cm

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 40 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 80 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada perhitungan secara analisis matematik sesuai dengan Tabel 4.11 dan 4.12 didapatkan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 40 cm dan kedalaman elektroda batang 20 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan tingkat konsentrasi 30 % sebesar $31,11525 \Omega \sim 31,12 \Omega$ dan pada kedalaman elektroda batang 80 cm sebesar $15,10733 \Omega \sim 15,11 \Omega$.

Dan perubahan nilai resistansi pentanahan elektroda batang pada lapisan sel tanah ke-1 sampai dengan ke-200 untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30% dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.

Berdasarkan tabel dan gambar diatas dianalisis bahwa semakin besar jari-jari, nilai resistansi pentanahan semakin besar, tetapi tampak dari gambar grafik diatas bahwa kenaikan nilai resistansi pentanahan ini mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 750 cm. Hal ini menandakan bahwa besar nilai jari-jari diatas 750 cm sudah tidak efektif atau sudah tidak terlalu berpengaruh dalam resistansi pentanahan elektroda batang. Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam di sekitar elektroda batang ini tampak dalam gambar grafik diatas dimana pada jari-jari 0 – 20 cm terjadi pembelokan, itu menunjukkan nilai resistansinya sangat rendah, sehingga berdampak pada resistansi pentanahan elektroda batang secara keseluruhan. Nilai resistansi yang rendah disekitar elektroda batang ini terjadi setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan diameter tabung 40 cm di sekitar elektroda batang dimana nilai resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) yang lebih rendah dibandingkan resistivitas tanah di sekitar elektroda batang menyebabkan nilai resistansi pentanahan di sekitar elektroda batang mengalami penurunan bila dibandingkan sebelum pengkondisian.

4.3.2.4. Pengukuran dan Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 50 cm

Pada pengukuran resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 50 cm didapatkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.13.

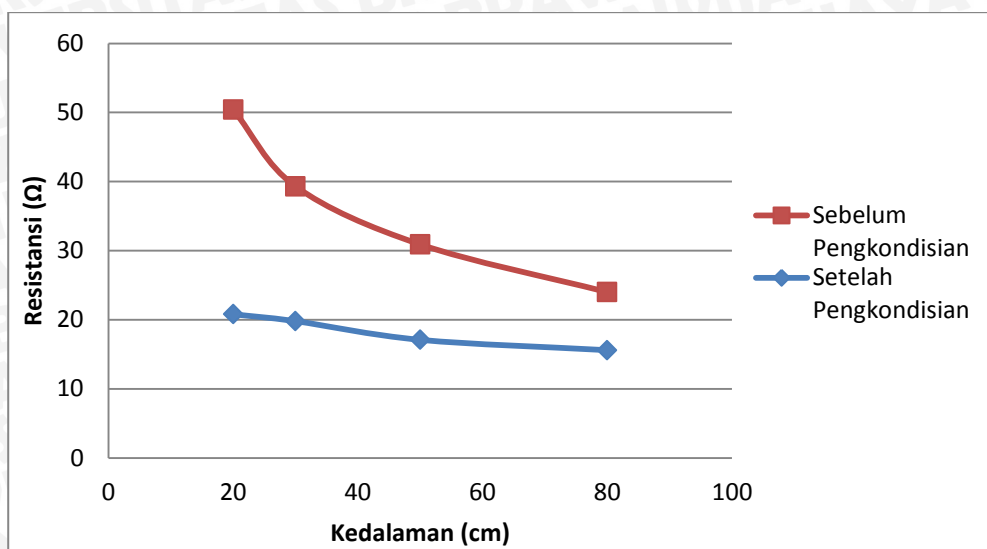
Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 50 cm

| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | | |
|--|--------------------------|--|------|------|-----------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda (cm) | Nilai Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian (Ω) | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | Rata-Rata |
| 50,4 | 20 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 20,8 |
| 39,3 | 30 | 19,8 | 19,8 | 19,8 | 19,8 |
| 30,9 | 50 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 |
| 24 | 80 | 15,6 | 15,6 | 15,6 | 15,6 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Pada Tabel 4.13 nilai resistansi pentanahan elektroda batang mengalami perubahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30% yaitu nilai resistansinya menurun. Penurunan ini berdasarkan Tabel 4.13 mengalami penurunan yang bertahap seiring dengan semakin dalam kedalaman elektroda batang.

Penurunan dari nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan garam kalsium klorida (CaCl_2) ini juga dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum Pengkondisian dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 50 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan menggunakan diameter tabung 50 cm. Saat sebelum dilakukan pengkondisian pada tanah pengujian, nilai resistansi tanah adalah 24 Ω pada kedalaman elektroda batang 80 cm, sedangkan setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm dan kedalaman batang elektroda yang sama dengan sebelum pengkondisian nilainya berubah menjadi 15,6 Ω . Pada kedalaman 20 cm, 30 cm dan 50 cm juga terjadi penurunan nilai resistansi pentanahan yang signifikan jika dibandingkan dengan setelah pengkondisian.

Berdasarkan Tabel 4.13 dan Gambar 4.11 nilai penurunan nilai resistansi terbesar adalah dengan menggunakan diameter tabung 50 cm dengan kedalaman elektroda batang 20 cm yaitu sebesar 29,6 Ω , dimana nilai resistansi pentanahan sebelum pengkondisian sebesar 50,4 Ω dan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian sebesar 20,8 Ω . Untuk melihat pengaruh kedalaman elektroda batang terhadap penurunan nilai resistansi pentanahan pada pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm yang lain ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Pengaruh Kedalaman Batang Elektroda Pada Diameter Tabung 50 cm Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Terhadap Resistansi Pentanahan

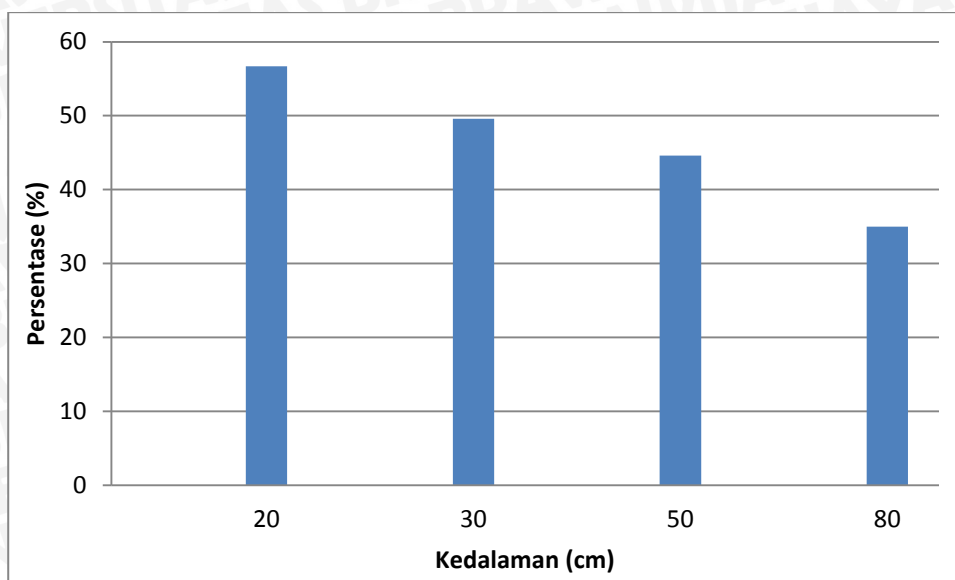
| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman Elektroda Batang (cm) | Setelah Pengkondisian (Ω) | Penurunan (Ω) | Persentase Penurunan (%) |
| 50,4 | 20 | 20,8 | 29,6 | 56,7 |
| 39,3 | 30 | 19,8 | 19,5 | 49,6 |
| 30,9 | 50 | 17,1 | 13,8 | 44,6 |
| 24 | 80 | 15,6 | 8,4 | 35 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Pada tabel 4.14 dapat diketahui pengaruh kedalaman batang elektroda pada diameter tabung 50 cm terhadap nilai resistansi pentanahan. Persentase penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang yang paling besar terjadi pada kedalaman batang elektroda 20 cm yaitu sebesar 56,7%, sedangkan penurunan nilai resistansi pentanahan paling kecil terjadi pada kedalaman batang elektroda 80 cm, yaitu sebesar 35%.

Dari persentase penurunan nilai resistansi pentanahan tersebut dapat diketahui bahwa persentase penurunan berbanding terbalik dengan kedalaman elektroda batang, sehingga semakin dalam penanaman elektroda batang maka persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *isolated grounding system* akan semakin kecil. Hal ini sangat bertolak belakang dengan sebelum pengkondisian *isolated grounding system*, kedalaman elektroda berbanding lurus dengan presentase penurunan nilai resistansi pentanahan. Jadi, kedalaman elektroda batang setelah pengkondisian tidak berpengaruh besar dalam menurunkan nilai resistansi pentanahan jika dibandingkan dengan sebelum pengkondisian

Persentase penurunan resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 50 cm setelah pengkondisian dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Persentase Penurunan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian Dengan Diameter tabung 50 cm

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari Gambar 4.12 tampak bahwa persentase penurunan resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* memiliki penurunan persentase yang cukup signifikan yaitu sampai dengan 50 % pada kedalaman 20 cm, ini membuktikan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang dapat diturunkan dengan nilai yang cukup signifikan dengan menggunakan *Isolated Grounding System* menggunakan diameter tabung 50 cm.

Untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* yang tepat, maka dilakukan perbandingan nilai resistansi pentanahan antara pengukuran di lapangan dengan perhitungan secara analisis matematik.

Pada perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisiaan *Isolated Grounding System* secara analisis matematik akan dilakukan perhitungan berdasarkan gambar 3.4 dimana pada perhitungan resistansi pentanahan ini, tanah disekitar elektroda batang dikondisikan dengan tabung dengan diameter 50 cm yang berisi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30%. Pada perhitungan ini terdapat dua macam resistivitas (ρ_1 dan ρ_2) yang digunakan, yaitu resistivitas garam kalsium klorida (CaCl_2) dan resistivitas tanah murni.

Pada perhitungan secara analisis matematik yang pertama akan dihitung nilai resistansi pentanahan elektroda batang dengan diameter tabung 50 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm. Pada tingkat konsentrasi 30% elektrolit garam kalsium klorida

(CaCl₂) memiliki nilai resistivitas sebesar 733,351 Ω.cm. Nilai ini akan digunakan dalam perhitungan secara analisis matematik untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan menggunakan diameter tabung 50 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm.

Setelah perhitungan dengan menggunakan diameter tabung 50 cm dan kedalaman batang elektroda 20 cm dengan konsentrasi elektrolit garam kalsium klorida (CaCl₂) 30% telah didapatkan nilai resistansi pentanahan, maka selanjutnya adalah menghitung nilai resistansi pentanahan dengan diameter tabung 50 cm yang memiliki kedalaman 80 cm.

Mengacu pada Gambar 3.2, dengan data-data perhitungan yang dijadikan sebagai variabel meliputi :

- r (jari-jari tabung pengujian) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 10 cm
- h (kedalaman elektroda) : 80 cm

Mengacu pada persamaan (3.7), perhitungan nilai resistansi pada lapisan tanah pertama l_1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h)} = \frac{733,351 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 80)} \\
 &= 2,91939 \Omega \\
 R_b &= \frac{\rho_2 l_1}{A_2} = \frac{\rho_2 l_2}{(2\pi r_2^2)} = \frac{3633,428 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5^2)} \\
 &= 231,42866 \Omega \\
 R_1 &= \frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = \frac{2,91939 \cdot 231,42866}{2,91939 + 231,42866} \\
 &= 2,88302 \Omega
 \end{aligned}$$

Jadi nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm dan kedalaman elektroda batang 80 cm pada lapisan tanah pertama l_1 sebesar 2,88302 Ω.

Tujuan dari perhitungan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian dengan menggunakan kedalaman paling rendah 20 cm dan yang paling tinggi 80 cm untuk mengetahui besar *range* nilai resistansi pentanahan menggunakan diameter tabung 50 cm.

Perhitungan secara analisis matematik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 50 cm ini menggunakan persamaan yang berbeda dengan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah l_1 , l_2 dan l_3 , namun menggunakan persamaan yang sama dengan sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* pada lapisan tanah l_4 , l_5 , l_6 , ... l_{200} dimana akan dilakukan perhitungan resistansi pentanahan hingga 200 lapisan tanah, karena pada pengambilan data hasil pengukuran menggunakan metode 3 titik telah ditentukan jarak antara elektroda utama, elektroda bantu pertama dan elektroda bantu kedua adalah 10 meter. Tabung yang berisi elektrolit elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% memiliki diameter 50 cm maka pada lapisan sel tanah ke-1, 2, 3 digunakan resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi larutan 30% sedangkan pada lapisan sel tanah ke-4, 5, 6 200 digunakan resistivitas tanah murni. Dalam menghitung besar nilai resistansi pentanahan elektroda batang ini digunakan persamaan (3.1), (3.7), dan (3.11). Hasil perhitungan resistansi pentanahan untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm diameter tabung 50 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30% dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 50 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 20 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 9,34206 |
| 2 | | 20 | 11,56636 |
| 3 | | 25 | 12,29620 |
| | | 30 | 14,86763 |
| 4 | | 40 | 17,87320 |
| 5 | | 50 | 19,85122 |
| 6 | | 60 | 21,25382 |
| 7 | | 70 | 22,30101 |
| 8 | | 80 | 23,11304 |
| 9 | | 90 | 23,76130 |
| 10 | 3633,428 | 100 | 24,29088 |
| 11 | | 110 | 24,73170 |
| 12 | | 120 | 25,10437 |
| 13 | | 130 | 25,42358 |
| 14 | | 140 | 25,70008 |
| 15 | | 150 | 25,94191 |
| 16 | | 160 | 26,15521 |
| 17 | | 170 | 26,34475 |
| 18 | | 180 | 26,51429 |
| 19 | | 190 | 26,66685 |
| 20 | 200 | 26,80485 | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 29,26782 | |
| 197 | 1970 | 29,26931 | |
| 198 | 1980 | 29,27077 | |
| 199 | 1990 | 29,27223 | |
| 200 | 2000 | 29,27367 | |

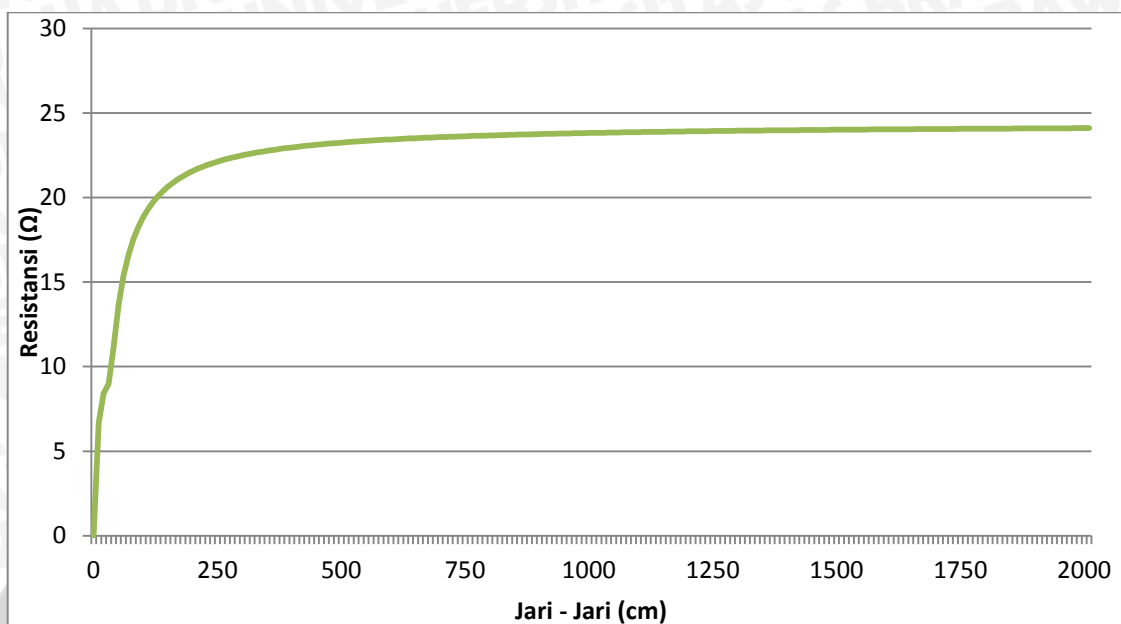
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 50 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 80 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 2,88302 |
| 2 | | 20 | 3,82067 |
| 3 | | 25 | 4,16807 |
| | | 30 | 5,27011 |
| 4 | | 40 | 6,70755 |
| 5 | | 50 | 7,73612 |
| 6 | | 60 | 8,51535 |
| 7 | | 70 | 9,12921 |
| 8 | | 80 | 9,62691 |
| 9 | | 90 | 10,03944 |
| 10 | 3633,428 | 100 | 10,38745 |
| 11 | | 110 | 10,68530 |
| 12 | | 120 | 10,94330 |
| 13 | | 130 | 11,16909 |
| 14 | | 140 | 11,36842 |
| 15 | | 150 | 11,54576 |
| 16 | | 160 | 11,70460 |
| 17 | | 170 | 11,84773 |
| 18 | | 180 | 11,97738 |
| 19 | | 190 | 12,09539 |
| 20 | 200 | 12,20328 | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 14,34701 | |
| 197 | 1970 | 14,34845 | |
| 198 | 1980 | 14,34987 | |
| 199 | 1990 | 14,35129 | |
| 200 | 2000 | 14,35268 | |

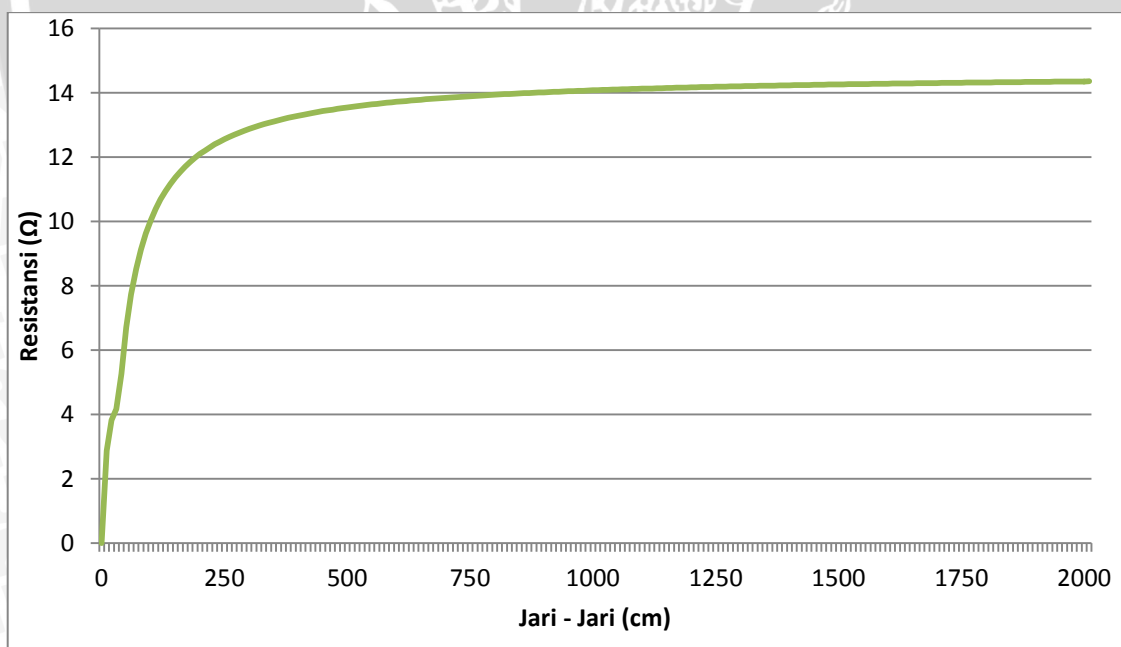
Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan 4.14 berikut ini.



Gambar 4.13 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 50 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 20 cm

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.14 Grafik Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung 50 cm dan Kedalaman Batang Elektroda 80 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada perhitungan secara analisis matematik sesuai dengan Tabel 4.15 dan 4.16 didapatkan bahwa nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 50 cm dan kedalaman elektroda batang 20 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan tingkat konsentrasi 30 % sebesar $29,27367 \Omega \sim 29,27 \Omega$ dan pada kedalaman elektroda batang 80 cm sebesar $14,35268 \Omega \sim 14,35 \Omega$.

Dan perubahan nilai resistansi pentanahan elektroda batang pada lapisan sel tanah ke-1 sampai dengan ke-200 untuk kedalaman elektroda batang 20 cm dan 80 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30% dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14.

Berdasarkan Tabel 4.15 dan 4.16 serta Gambar 4.13 dan 4.14 dianalisis bahwa semakin besar jari-jari, nilai resistansi pentanahan semakin besar, tetapi tampak dari gambar grafik diatas bahwa kenaikan nilai resistansi pentanahan ini mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 750 cm. Hal ini menandakan bahwa besar nilai jari-jari diatas 750 cm sudah tidak efektif atau sudah tidak terlalu berpengaruh dalam resistansi pentanahan elektroda batang. Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam di sekitar elektroda batang ini tampak dalam gambar grafik diatas dimana pada jari-jari 0 – 25 cm terjadi pembelokan, itu menunjukkan nilai resistansinya sangat rendah, sehingga berdampak pada resistansi pentanahan elektroda batang secara keseluruhan. Nilai resistansi yang rendah disekitar elektroda batang ini terjadi setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan diameter tabung 50 cm di sekitar elektroda batang dimana nilai resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) yang lebih rendah dibandingkan resistivitas tanah di sekitar elektroda batang menyebabkan nilai resistansi pentanahan di sekitar elektroda batang mengalami penurunan bila dibandingkan sebelum pengkondisian.

4.4. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Fungsi Diameter Tabung dan Kedalaman Elektroda

Dari hasil pengukuran resistansi pentanahan dalam *Isolated Grounding System* dengan menggunakan tiga buah tabung dengan diameter yang berbeda didapatkan perbandingan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.17.

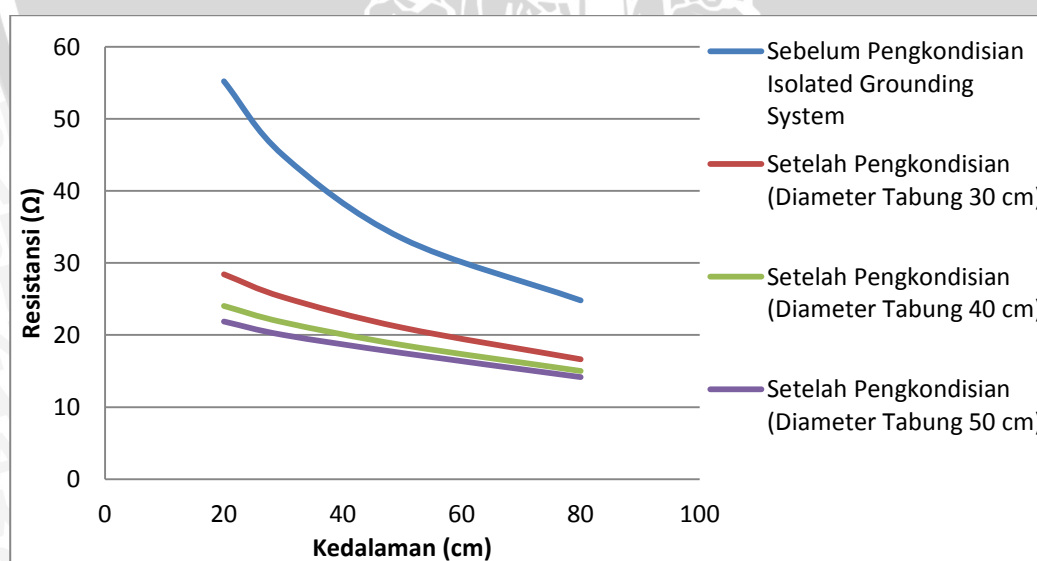
Tabel 4.17 Perbandingan Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Dalam *Isolated Grounding System* Dengan Menggunakan Tiga Buah Tabung (30 cm, 40 cm, 50 cm)

| Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang | | | | |
|--|----------------|-----------------|-------|-------|
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Kedalaman (cm) | Diameter Tabung | | |
| | | 30 cm | 40 cm | 50 cm |
| 50,4 | 20 | 26,0 | 22,1 | 20,8 |
| 39,3 | 30 | 23,2 | 20,9 | 19,8 |
| 30,9 | 50 | 21,0 | 18,7 | 17,1 |
| 24 | 80 | 17,3 | 16,4 | 15,6 |

Sumber : Hasil Pengukuran

Berdasarkan Tabel 4.17 tampak bahwa dari ketiga buah tabung dengan diameter yang berbeda tersebut tabung dengan diameter 50 cm memiliki tingkat resistansi yang paling rendah pada semua kedalaman elektroda batang bila dibandingkan dengan tabung lain, sedangkan pada diameter tabung 30 cm memiliki nilai resistansi yang paling besar apabila dibandingkan dengan tabung lain dengan kedalaman elektroda batang yang sama. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan diameter tabung 50 cm memberikan penurunan resistansi pentanahan yang paling efektif karena memberikan nilai penurunan yang paling besar.

Tingkat nilai resistansi dari tiga buah tabung dengan diameter yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.15.

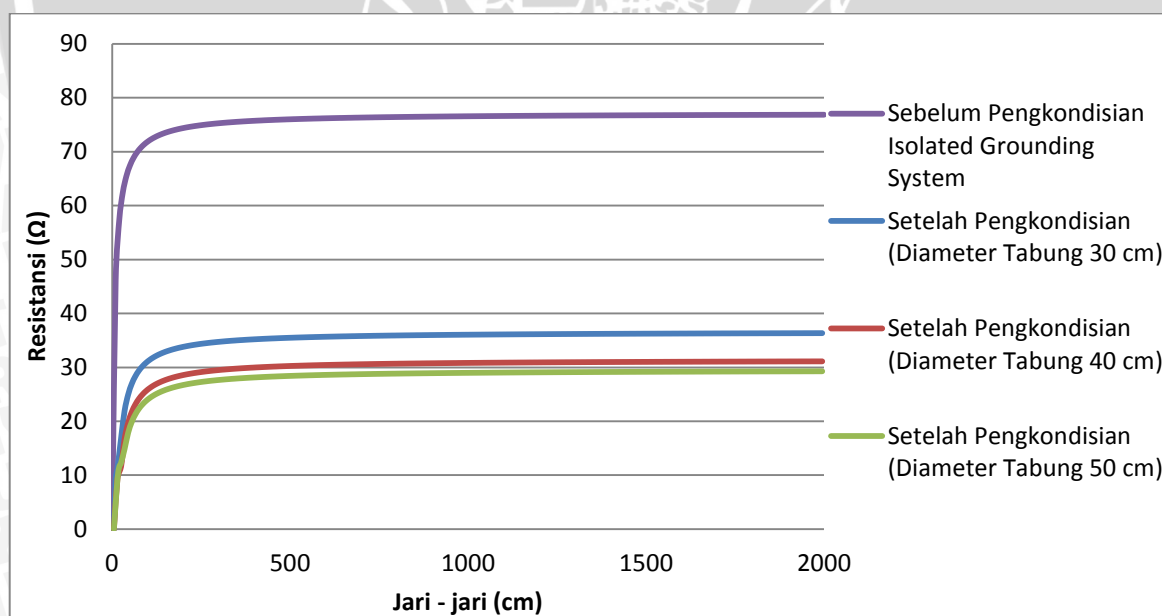


Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Menggunakan Tiga Buah Tabung Dengan Diameter Berbeda

Sumber : Hasil Pengukuran

Dari ketiga buah tabung dengan diameter yang berbeda berdasarkan grafik hasil pengukuran diatas tampak bahwa dengan menggunakan diameter tabung 50 cm memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling rendah dan dengan diameter tabung 30 cm memiliki resistansi pentanahan yang paling tinggi. Dimana dengan menggunakan diameter tabung 50 cm pada tingkat konsentrasi 30 % elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) kedalaman elektroda batang 20 cm memiliki nilai resistansi pentanahan sebesar $20,8 \Omega$, sedangkan pada diameter tabung 40 nilai resistansi pentanahannya sebesar $22,1 \Omega$ dan pada diameter tabung 30 cm memiliki nilai resistansi pentanahan 26Ω . Sedangkan pada diameter tabung 50 cm dengan kedalaman elektroda batang 80 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30 % memiliki nilai resistansi pentanahan sebesar $15,6 \Omega$, sedangkan pada diameter tabung 40 cm nilai resistansi pentanahannya sebesar $16,4 \Omega$ dan pada diameter tabung 30 cm memiliki nilai resistansi pentanahan $17,3 \Omega$.

Berdasarkan hasil analisis secara perhitungan matematik pada ketiga buah tabung dengan diameter yang berbeda (30 cm, 40 cm, dan 50 cm) didapatkan hasil perbandingan nilai resistansi pentanahan elektroda batang pada semua lapisan tanah pada kedalaman elektroda batang 20 cm adalah ditunjukkan pada Gambar 4.16.

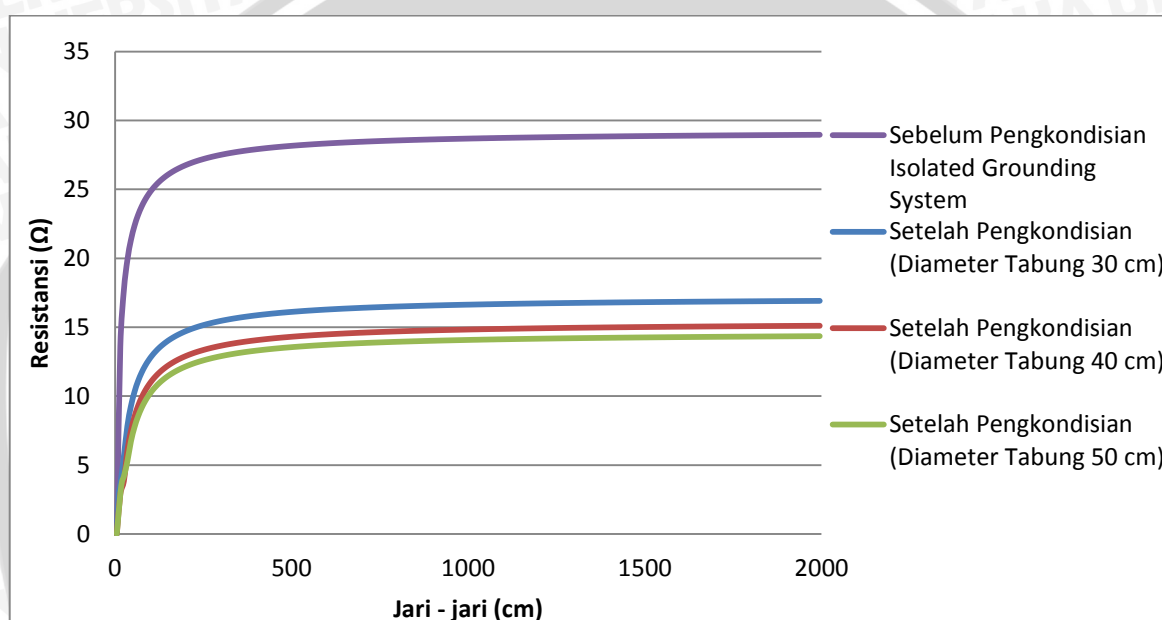


Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Sebelum dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Menggunakan Tiga Buah Tabung Dengan Diameter Berbeda Pada Kedalaman 20 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari gambar grafik dari hasil perhitungan diatas tampak pula bahwa dengan menggunakan diameter tabung 50 cm memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling rendah sedangkan dengan diameter tabung 30 cm memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling tinggi pada kedalaman elektroda batang 20 cm dan untuk semua lapisan tanah.

Dan hasil perbandingan nilai resistansi pentanahan elektroda batang pada semua lapisan tanah untuk kedalaman elektroda batang 80 cm berdasarkan hasil perhitungan secara analisis matematik ditunjukkan pada Gambar 4.17.

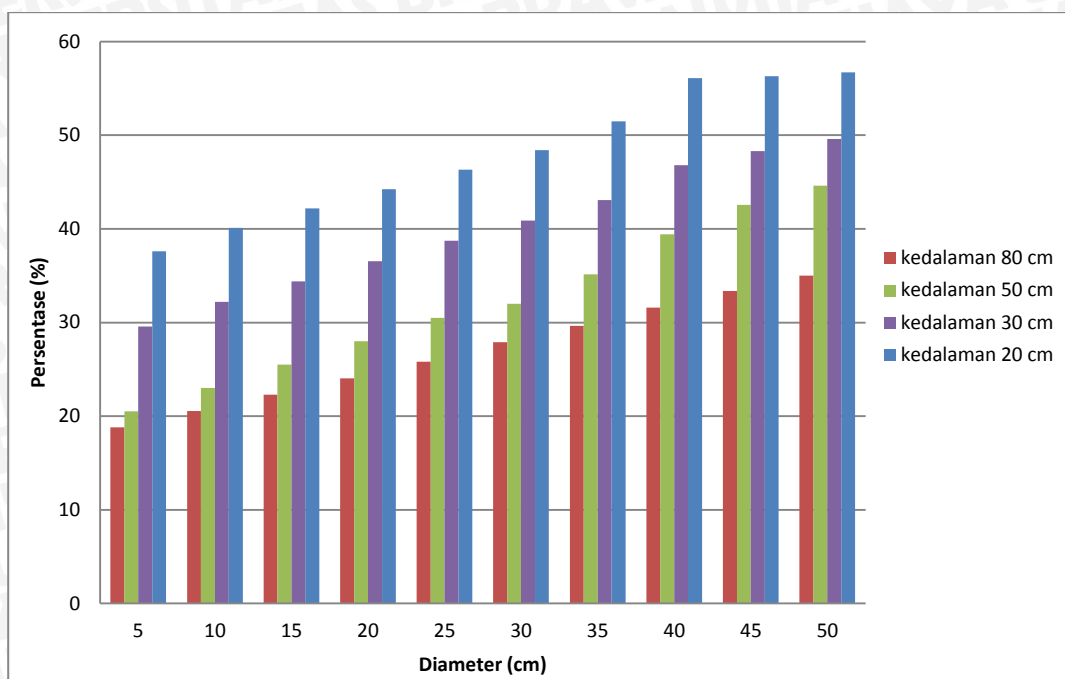


Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Menggunakan Tiga Buah Tabung Dengan Diameter Berbeda Pada Kedalaman 80 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan gambar grafik dari hasil perhitungan diatas tampak pula bahwa dengan menggunakan diameter tabung 50 cm memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling rendah sedangkan dengan menggunakan diameter tabung 30 cm memiliki nilai resistansi pentanahan yang paling tinggi pada kedalaman 80 cm dan untuk semua lapisan tanah ($r = 2000$ cm).

Berdasarkan hasil analisis secara perhitungan matematik pada kedalaman elektroda batang yang berbeda (20 cm, 30 cm, 50 cm, dan 80 cm) didapatkan hasil persentase penurunan nilai resistansi pentanahan fungsi diameter tabung adalah ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik Hasil Perhitungan Persentase Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan Elektroda Batang Fungsi Diameter Tabung Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System*

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari grafik Gambar 4.18 dari hasil perhitungan tampak bahwa dengan menggunakan diameter tabung 50 cm pada semua tingkat kedalaman memiliki persentase penurunan nilai resistansi pentanahan yang paling besar sedangkan semakin kecil diameter tabung persentase penurunan nilai resistansi pentanahan juga semakin rendah. Dari Gambar 4.18 juga dapat dilihat bahwa kedalaman juga mempengaruhi persentase penurunan nilai resistansi pentanahan, semakin dalam penanaman elektroda batang maka persentase penurunan nilai resistansinya juga semakin besar, namun dapat dilihat bahwa dengan pengkondisian *Isolated Grounding System* menggunakan diameter tabung 5 cm sudah tidak ada perbedaan yang signifikan dari persentase penurunan nilai resistansi pentanahan antara kedalaman elektroda batang 50 cm dan 80 cm, ini berarti dengan penanaman elektroda batang > 80 cm maka persentase penurunan resistansi pentanahannya tidak berpengaruh banyak.

Perbandingan nilai resistansi pentanahan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* beserta perhitungan kesalahannya pada setiap kedalaman elektroda batang ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum Pengkondisian *Isolated Grounding System*

| Kedalaman Elektroda (cm) | Resistansi Pentanahan | | $ \Delta R_e $ (Ω) | $\left \frac{\Delta R_e}{R_{e\text{ukur}}} \times 100\% \right $ (%) |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|---|
| | Hasil Pengukuran (Ω) | Hasil Perhitungan (Ω) | | |
| 20 | 50,4 | 76,8 | 26,4 | 52,48 |
| 30 | 39,3 | 58,8 | 19,5 | 49,74 |
| 50 | 30,9 | 41,1 | 10,2 | 32,91 |
| 80 | 24 | 28,9 | 4,9 | 20,66 |

Sumber : Hasil Perhitungan

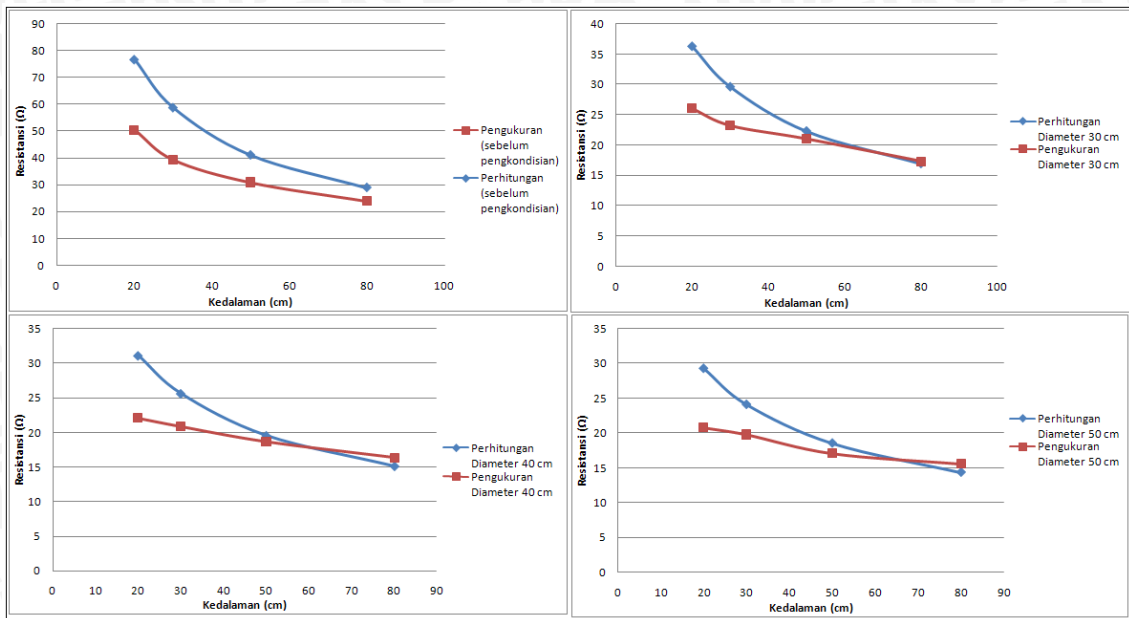
Perbandingan nilai resistansi pentanahan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* beserta perhitungan kesalahannya pada setiap kedalaman elektroda batang ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan Nilai Resistansi Pentanahan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System*

| Diameter Tabung (cm) | Kedalaman Elektroda (cm) | Resistansi Pentanahan | | $ \Delta R_e $ (Ω) | $\left \frac{\Delta R_e}{R_{e\text{ukur}}} \times 100\% \right $ (%) |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|---|
| | | Hasil Pengukuran (Ω) | Hasil Perhitungan (Ω) | | |
| 30 | 20 | 26 | 36,34 | 10,34 | 39,76 |
| | 30 | 23,2 | 29,64 | 6,44 | 27,75 |
| | 50 | 21 | 22,29 | 1,29 | 6,14 |
| | 80 | 17,3 | 16,91 | 0,39 | 2,25 |
| 40 | 20 | 22,1 | 31,11 | 9,01 | 40,76 |
| | 30 | 20,9 | 25,61 | 4,72 | 22,58 |
| | 50 | 18,7 | 19,54 | 0,84 | 4,49 |
| | 80 | 16,4 | 15,10 | 1,3 | 7,92 |
| 50 | 20 | 20,8 | 29,27 | 8,47 | 40,72 |
| | 30 | 19,8 | 24,10 | 4,3 | 21,71 |
| | 50 | 17,1 | 18,54 | 1,44 | 8,42 |
| | 80 | 15,6 | 14,35 | 1,25 | 8,01 |

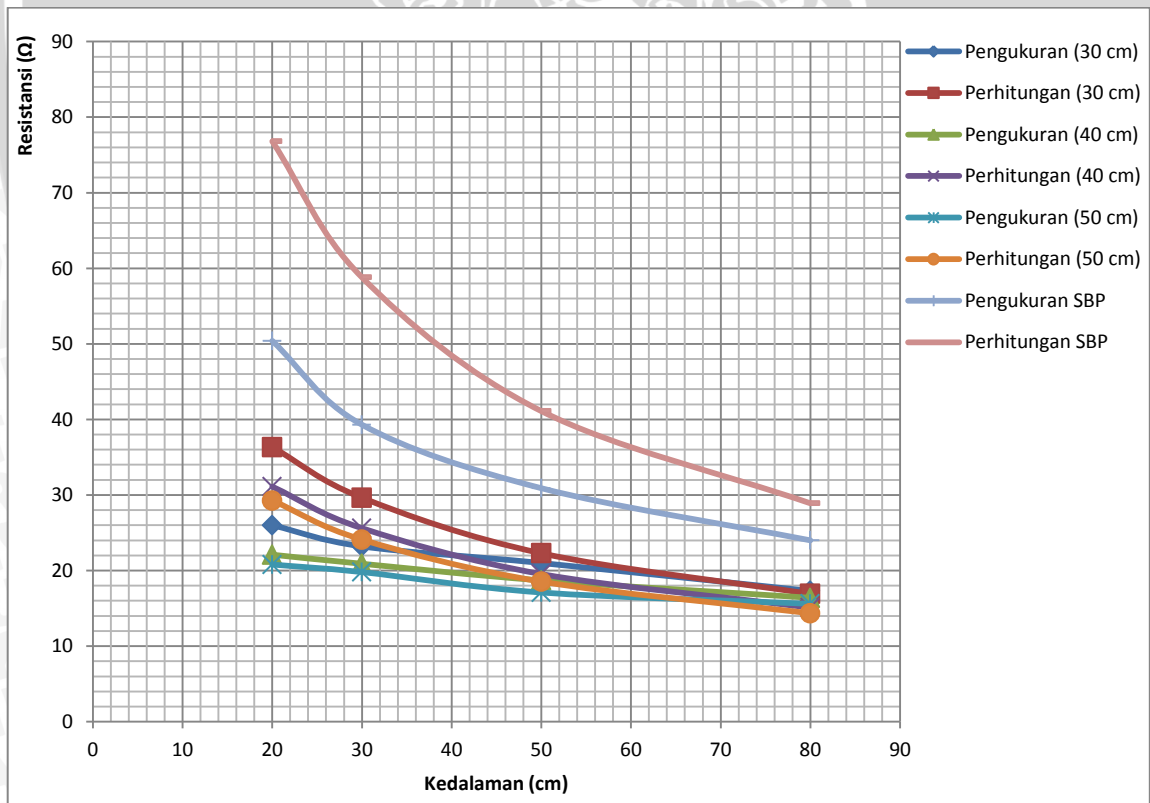
Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebelum dan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung 30 cm, 40 cm dan 50 cm, fungsi kedalaman elektroda batang ditunjukkan pada Gambar 4.19 Gambar 4.20.



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengukuran Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Dengan Diameter Tabung Berbeda

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengukuran Nilai Resistansi Pentanahan Sebelum dan Setelah Pengkondisian *Isolated Grounding System* Fungsi Kedalaman Elektroda

Sumber : Hasil Perhitungan



Dari Tabel 4.18 , Gambar 4.19, dan Gambar 4.20 pengukuran dan perhitungan secara analisis matematik yang dilakukan untuk membandingkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebelum pengkondisian *Isolated Grounding System* dapat diketahui bahwa nilai resistansi pentanahan yang didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan memiliki nilai yang berbeda dengan hasil perhitungan secara teori (analisis matematik), yaitu pada kedalaman elektroda batang 80 cm didapatkan hasil pengukuran 24 Ω dan pada perhitungan didapatkan 28,96 Ω . Persentase kesalahan terbesar terdapat pada kedalaman 20 cm, yaitu sebesar 52,48%, sedangkan Persentase kesalahan terkecil terdapat pada kedalaman 80 cm, yaitu sebesar 20,66%.

Dari Tabel 4.19, Gambar 4.19, dan Gambar 4.20 dapat dilihat juga bahwa hasil pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 30 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) konsentrasi 30%, untuk kedalaman elektroda batang 20 cm terdapat perbedaan, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebesar 26 Ω sedangkan untuk perhitungan secara analisis matematik didapatkan nilai sebesar 36,34 Ω . Hal ini juga terjadi pada kedalaman elektroda batang 80 cm, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 17,3 Ω dan untuk perhitungan sebesar 16,91 Ω . Sedangkan pada hasil pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 40 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30%, untuk kedalaman elektroda batang 20 cm terdapat perbedaan, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebesar 22,1 Ω sedangkan untuk perhitungan secara analisis matematik didapatkan nilai sebesar 31,11 Ω . Hal ini juga terjadi pada kedalaman elektroda batang 80 cm, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 16,4 Ω dan untuk perhitungan sebesar 15,1 Ω . Pada perbandingan hasil pengukuran dan perhitungan resistansi pentanahan elektroda batang setelah pengkondisian dengan diameter tabung 50 cm menggunakan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) dengan konsentrasi 30%, untuk kedalaman elektroda batang 20 cm terdapat sedikit perbedaan, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang sebesar 20,8 Ω sedangkan untuk perhitungan secara analisis matematik didapatkan nilai sebesar 29,27 Ω . Hal ini juga terjadi pada kedalaman elektroda batang 80 cm, dimana untuk pengukuran didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 15,6 Ω dan untuk perhitungan sebesar 14,35 Ω . dapat dilihat bahwa persentase kesalahan terbesar terdapat pada pengkondisian menggunakan

diameter tabung 30 cm dengan kedalaman 20 cm, yaitu 52,48 %, sedangkan Persentase kesalahan terkecil terdapat pada pengkondisian menggunakan diameter tabung 30 cm dengan kedalaman 80 cm, yaitu 2,25%.

Dari Tabel 4.19, dapat dilihat bahwa perhitungan nilai resistansi pentanahan menggunakan analisis matematik setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* mendekati nilai pengukuran. Persentase kesalahan rata-rata pada seluruh pengujian dibawah 25% sehingga akan dilakukan perhitungan dengan analisis matematik menggunakan diameter tabung yang lebih besar dari pengukuran yang dilakukan.

Mengacu pada Gambar 3.2, dengan data-data perhitungan yang dijadikan sebagai variabel meliputi :

- r (jari-jari tabung pengujian) : 100 cm, 400 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 10 cm
- h (kedalaman elektroda) : 80 cm

Mengacu pada persamaan (3.7), perhitungan nilai resistansi pada lapisan tanah pertama l_1 adalah sebagai berikut :

$$R_a = \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h)} = \frac{733,351 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 80)}$$

$$= 2,91939 \Omega$$

$$R_b = \frac{\rho_2 l_1}{A_2} = \frac{\rho_2 l_2}{(2\pi r_2^2)} = \frac{3633,428 \cdot 10}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5^2)}$$

$$= 231,42866 \Omega$$

$$R_1 = \frac{R_a \cdot R_b}{R_a + R_b} = \frac{2,91939 \cdot 231,42866}{2,91939 + 231,42866}$$

$$= 2,88302 \Omega$$

Jadi nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* menggunakan diameter tabung 100 cm dan 400 cm dengan kedalaman elektroda batang 80 cm pada lapisan tanah pertama l_1 sebesar 2,88302 Ω .

Perhitungan nilai resistansi pentanahan setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan diameter tabung yang lebih besar dari tabung yang digunakan pada pengukuran akan menggunakan persamaan (3.7) untuk mendapatkan nilai resistansi pentanahan elektroda batang hingga 200 lapisan sel tanah. Hasil perhitungan resistansi pentanahan dengan menggunakan diameter tabung 100 cm dan 400 cm berdasarkan analisis matematik dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 100 cm Pada Kedalaman Elektroda Batang 80 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 2,88302 |
| 2 | | 20 | 3,82066 |
| 3 | | 30 | 4,36990 |
| 4 | | 40 | 4,75312 |
| 5 | | 50 | 5,04442 |
| 6 | 3633,428 | 60 | 5,82364 |
| 7 | | 70 | 6,43751 |
| 8 | | 80 | 6,93521 |
| 9 | | 90 | 7,34774 |
| 10 | | 100 | 7,69575 |
| 11 | | 110 | 7,99360 |
| 12 | | 120 | 8,25160 |
| 13 | | 130 | 8,47739 |
| 14 | | 140 | 8,67672 |
| 15 | | 150 | 8,85406 |
| 16 | | 160 | 9,01290 |
| 17 | | 170 | 9,15602 |
| 18 | | 180 | 9,28567 |
| 19 | | 190 | 9,40369 |
| 20 | | 200 | 9,51158 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 1960 | 11,65531 | |
| 197 | 1970 | 11,65675 | |
| 198 | 1980 | 11,65817 | |
| 199 | 1990 | 11,65958 | |
| 200 | 2000 | 11,66098 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung 400 cm Pada Kedalaman Elektroda Batang 80 cm

| <i>n</i> | Resistivitas (Ω .cm) | Jari-Jari (cm) | Resistansi (Ω) |
|----------|------------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 733,351 | 10 | 2,88302 |
| 2 | | 20 | 3,82066 |
| 3 | | 30 | 4,36990 |
| 4 | | 40 | 4,75312 |
| 5 | | 50 | 5,04442 |
| 6 | | 60 | 5,2774 |
| 7 | | 70 | 5,47041 |
| 8 | | 80 | 5,63407 |
| 9 | | 90 | 5,77547 |
| 10 | | 100 | 5,89942 |
| 11 | | 110 | 6,00932 |
| 12 | | 120 | 6,10771 |
| 13 | | 130 | 6,19649 |
| 14 | | 140 | 6,27714 |
| 15 | | 150 | 6,35085 |
| 16 | | 160 | 6,41855 |
| 17 | | 170 | 6,48101 |
| 18 | | 180 | 6,53887 |
| 19 | | 190 | 6,59267 |
| 20 | | 200 | 6,64284 |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| . | . | . | |
| 196 | 3633,428 | 1960 | 8,78656 |
| 197 | | 1970 | 8,78800 |
| 198 | | 1980 | 8,78943 |
| 199 | | 1990 | 8,79084 |
| 200 | | 2000 | 8,79224 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang setelah dilakukan pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam di sekitar elektroda batang ini tampak pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21. Dari Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa pada jari-jari 0 – 50 cm menunjukkan nilai resistansinya sangat rendah, begitu juga pada Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa pada jari-jari 0 – 200 cm nilai resistansinya sangat rendah, sehingga berdampak pada resistansi pentanahan elektroda batang secara keseluruhan. Nilai resistansi yang rendah disekitar elektroda batang ini terjadi setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* dengan elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) di sekitar elektroda batang dimana nilai resistivitas elektrolit garam kalsium klorida (CaCl_2) yang lebih rendah dibandingkan resistivitas tanah di sekitar elektroda batang menyebabkan nilai resistansi pentanahan di sekitar elektroda batang mengalami penurunan bila dibandingkan sebelum pengkondisian.

Berdasarkan Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 Nilai resistansi pentanahan mulai mengalami kejenuhan (konstan) pada jari-jari diatas 750 cm, hal ini menandakan bahwa jari-jari diatas 750 cm sudah tidak efektif lagi.

Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan pada kedalaman elektroda batang 80 cm setelah pengkondisian *Isolated Grounding System* secara analisis matematik dengan diameter tabung yang lebih besar dari pengujian serta persentase penurunan resistansi pentanahannya ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Dengan Diameter Tabung Lebih Besar Dari Pengujian Pada Kedalaman Elektroda Batang 80 cm

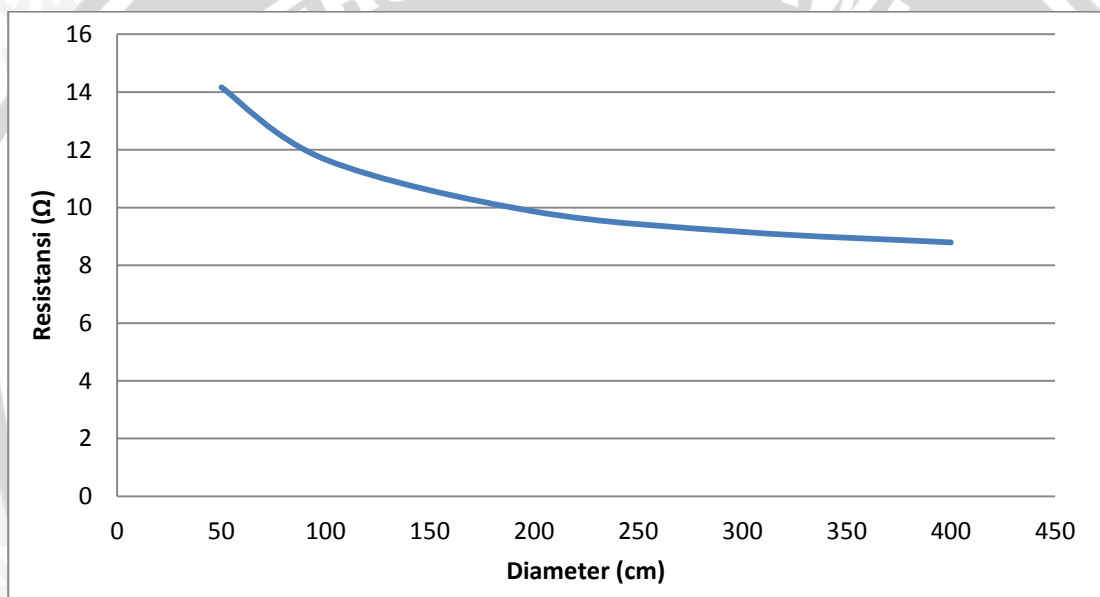
| Sebelum Pengkondisian (Ω) | Diameter Tabung (cm) | Resistansi Pentanahan (Ω) | Penurunan Resistansi (Ω) | Persentase Penurunan (%) | Δ Persentase Penurunan (%) | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----|------|
| 24 | 50 | 14,35 | 9,65 | 40,20 | 11,21 | 7,5 | 2,96 |
| | 100 | 11,66 | 12,34 | 51,41 | | | |
| | 200 | 9,86 | 14,14 | 58,91 | 1,5 | | |
| | 300 | 9,15 | 14,85 | 61,87 | | | |
| | 400 | 8,79 | 15,21 | 63,37 | | | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.22 dapat dilihat bahwa semakin besar diameter tabung maka semakin kecil nilai resistansi pentanahan, dan semakin besar diameter tabung maka

semakin besar pula persentase penurunan nilai resistansi pentanahan. Namun, dengan pertimbangan perbandingan persentase penurunan nilai resistansi dengan biaya yang dikeluarkan untuk pengkondisian *Isolated Grounding System*, penggunaan diameter tabung diatas 100 cm tidak ekonomis, karena persentase penurunan nilai resistansinya kurang dari 10%, sedangkan pengkondisian *Isolated Grounding System* menggunakan diameter tabung dibawah 100 cm ekonomis, karena dapat memberikan persentase penurunan diatas 10%.

Berdasarkan hasil analisis secara perhitungan matematik pada kedalaman elektroda batang 80 cm didapatkan hasil nilai resistansi pentanahan fungsi diameter tabung adalah ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik Hasil Perhitungan Resistansi Pentanahan Setelah Pengkodisian *Isolated Grounding System* Secara Analisis Matematik Fungsi Diameter Tabung Dengan Kedalaman Elektroda Batang 80 cm

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada grafik Gambar 4.21 dari hasil perhitungan tampak pula bahwa dengan menggunakan diameter tabung 400 cm diperoleh nilai resistansi pentanahan yang paling kecil, karena semakin besar diameter tabung nilai resistansi pentanahan semakin kecil. Namun dapat dilihat pada Gambar 4.24 bahwa semakin besar diameter tabung penurunan nilai resistansinya semakin kecil. Dengan menambah ukuran diameter tabung diatas 200 cm (> 2 m) maka penurunan nilai resistansi pentanahan tidak berpengaruh banyak atau penurunan nilai resistansi pentanahannya tidak lagi signifikan.