

## BAB IV

### DATA DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN

Data-data dalam penelitian adalah data-data yang didapatkan dari hasil pengambilan data berupa pengukuran dilapangan. Langkah-langkah setelah mendapatkan data-data tersebut adalah menghitung, menganalisis dan menginterpretasikannya. Data-data yang telah didapatkan bertujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman penanaman elektroda batang yang ditanam konsentris bersama arang kayu terhadap nilai resistansi pembumian serta untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi air dalam arang kayu dengan kedalaman penanaman elektroda batang yang berbeda-beda terhadap nilai resistansi pembumian

#### 4.1 Pengaruh Kedalaman Penanaman Elektroda Batang Yang Ditanam Konsentris Bersama Arang Kayu Terhadap Nilai Resistansi Pembumian

Untuk mengetahui pengaruh kedalaman elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian, menggunakan empat model kedalaman penanaman elektroda batang yaitu 65 cm, 85 cm, 105 cm, 125 cm. Volume arang kayu yang digunakan dalam penelitian memiliki ukuran tertentu terhadap medium tanah. Sebelum melakukan pengukuran resistansi pembumian, terlebih dahulu dilakukan perhitungan resistansi elektroda batang. Karena secara teori bahwa resistansi pembumian dipengaruhi juga oleh resistansi elektroda batang, sehingga dapat diketahui pengaruh nilai resistansi elektroda batang terhadap resistansi pembumian. Kemudian menentukan ukuran partikel arang yang digunakan untuk penelitian. Setelah itu perlu dilakukan pengukuran resistivitas tanah, resistivitas tanah yang diukur adalah resistivitas tanah yang sudah ada pada lokasi penelitian, yaitu termasuk jenis tanah katel. Pengukuran masing-masing resistivitas obyek uji tersebut bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisis data hasil pengukuran. Kemudian setelah itu akan dilakukan pengukuran nilai resistansi pembumian pada masing-masing model kedalaman penanaman elektroda batang dengan volume arang tetap. Dan setelah mendapatkan hasil pengukurannya, lalu membandingkannya dengan hasil analisis secara numerik, sehingga akan diketahui pengaruh kedalaman penanaman elektroda batang yang ditanam konsentris bersama arang kayu dengan volume arang yang sama terhadap nilai resistansi pembumian dari hasil pengukuran maupun dari hasil analisis secara numerik.

#### 4.1.1 Perhitungan Resistansi Elektroda Batang

Secara teori resistansi dalam sistem pembumian adalah komposisi dari resistansi elektroda batang, resistansi kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah disekitarnya, resistansi bagian tanah di sekitar elektroda batang pembumian. Untuk mengetahui pengaruh nilai resistansi elektroda batang terhadap resistansi pembumian pada penelitian ini, dilakukan perhitungan resistansi elektroda batang. Resistansi elektroda batang dapat diketahui melalui perhitungan sesuai dengan Persamaan (2-12).

Data perhitungan resistansi elektroda batang yaitu:

Elektroda batang terbuat dari bahan baja berlapis tembaga

$\rho$	(resistivitas elektroda batang)	$= 1,6 \times 10^{-6} \text{ ohm-cm}$
$l$	(panjang elektroda batang dalam tanah)	$= 60 \text{ cm}$
$d$	(diameter elektroda batang)	$= 1,5 \text{ cm}$

Dengan menggunakan Persamaan (2-12), maka resistansinya dapat dihitung yaitu:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{2\pi l} \log_e \frac{4l}{d} \\
 &= \frac{1,6 \times 10^{-6}}{2(3,14)(60)} \log_e \frac{4(60)}{1,5} \\
 &= 4,2463 \times 10^{-9} (69,4871) \\
 &= 295,063 \times 10^{-9} \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Jadi resistansi elektroda batang hasil perhitungan adalah 0,295 mikrohm.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, terlihat bahwa resistansi elektroda batang sangat kecil sekali nilainya. Sehingga nilai resistansi elektroda batang pada pengukuran resistansi pembumian dapat diabaikan karena kecil sekali pengaruhnya terhadap nilai resistansi pembumian. Sedangkan kontak antara tanah dan elektroda batang pembumian pada saat penelitian dapat diabaikan karena nilai resistansinya juga sangat kecil. Dengan demikian resistansi yang paling menentukan harga resistansi sistem pembumian adalah resistansi tanah itu sendiri.

#### 4.1.2 Pengukuran Resistivitas Arang Kayu

Pengukuran resistansi arang kayu yang bertujuan untuk mengetahui nilai resistivitasnya. Arang kayu yang akan digunakan dalam penelitian adalah serbuk arang kayu yang sudah diayak dengan satu ukuran *mesh* tertentu yaitu 1 mm dalam kondisi

kering karena memiliki nilai resistansi kecil. Perhitungan resistivitas arang kayu dilakukan melalui perhitungan matematis yang berdasarkan data dari hasil pengukuran resistansinya. Rangkaian pengukuran resistivitas arang kayu dapat dilihat pada Gambar 3.2. Ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansinya. Nilai resistansi arang kayu yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung resistivitas arang kayu dapat menggunakan Persamaan (2-2).

Data perhitungan resistivitas partikel arang kayu yaitu:

Ukuran partikel arang kayu 1 mm dalam kondisi kering

$r$  (jari-jari tabung pengujian) = 1,75 cm

$l$  (tinggi tabung pengujian) = 5 cm

$R$  (resistansi arang kayu) = 623,94 ohm

Dengan menggunakan Persamaan (2-2), maka resistivitasnya dapat dihitung yaitu:

$$\rho = \frac{\pi r^2 \cdot R}{l} = \frac{(3,14)(1,75)^2 (623,94)}{5} = 1200 \text{ ohm} - \text{cm}$$

Jadi resistivitas arang kayu hasil pengukuran adalah 1200 ohm-cm.

#### 4.1.3 Pengukuran Resistivitas Tanah Katel

Pengukuran resistivitas tanah katel menggunakan metode *Wenner*, yaitu metode pengukuran 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 3.3. Dan 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 resistansi pembumian dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-20). Kemudian setelah nilai resistansi tanah katel akan diketahui, maka dapat diketahui resistivitasnya dengan perhitungan sesuai dengan Persamaan (2-17).

Data perhitungan resistivitas tanah katel pada baris keduabelas Tabel 4.1 yaitu:

$a$  (jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah) = 666 cm

$b$  (kedalaman penanaman elektroda batang) = 120 cm

$U$  (tegangan terukur pada Voltmeter) = 0,019 V

$I$  (arus terukur pada Ampermeter) = 0,047 A

Dengan menggunakan Persamaan (2-17), maka resistivitasnya dapat dihitung yaitu:

$$\rho = \frac{4\pi a U}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{(4a^2 + 4b^2)}}\right) I}$$

$$= \frac{4(3,14)(666)(0,019)}{\left(1 + \frac{2(666)}{\sqrt{(666^2 + 4(120)^2)}} - \frac{2(666)}{\sqrt{(4(666)^2 + 4(120)^2)}}\right) 0,047}$$

$$= \frac{4(3,14)(666)(0,404)}{1 + \frac{2(666)}{\sqrt{(666^2 + 4(120)^2)}} - \frac{2(666)}{\sqrt{(4(666)^2 + 4(120)^2)}}$$

$$\rho = 3388,55 \Omega - cm$$

Jadi resistivitas tanah katel hasil pengukuran adalah 3388,55  $\Omega$  -cm

Resistivitas tanah katel dapat dihitung dari hasil pengukuran resistansi tanah Maka akan ditunjukkan hasil pengukuran serta analisis perhitungan untuk data yang lain pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Hasil pengukuran resistivitas tanah katel**

a (cm)	b (cm)	U (volt)	I (ampere)	$\rho$ (ohm-cm)
666	10	0,082	0,185	3705,70
	20	0,075	0,172	3638,93
	30	0,069	0,160	3605,54
	40	0,057	0,134	3555,47
	50	0,045	0,106	3530,43
	60	0,039	0,093	3497,04
	70	0,036	0,087	3472,01
	80	0,031	0,075	3446,97
	90	0,027	0,066	3430,28
	100	0,023	0,056	3413,58
	110	0,019	0,047	3405,24
	120	0,017	0,042	3388,55

Sumber: Hasil pengukuran

#### 4.1.4 Pengaruh Kedalaman Penanaman Elektroda Batang yang Ditanam Konsentris Bersama Arang Kayu Terhadap Nilai Resistansi Pembumian Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Analisis Numerik

Untuk mengetahui pengaruh kedalaman elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian, perlu dilakukan pengukuran nilai resistansi pembumian dilapangan. Pengukuran ini bertujuan untuk membandingkan nilai resistansi pembumian hasil pengukuran dan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik. Pengukuran resistansi pembumian menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester*, rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.4. Model kedalaman penanaman elektroda batan pada tanah ditunjukkan pada Gambar 3.1. Dalam pengujian ini tanah yang digunakan sebagai obyek penelitian adalah tanah katel dan volume arang kayu yang digunakan dalam penelitian memiliki ukuran tertentu terhadap tanah katel.

**Tabel 4.2 Hasil pengukuran resistansi pembumian dalam suatu medium tanah katel dengan beberapa variasi kedalaman penanaman elektroda batang**

Tanah katel	$R_e$ (ohm)
1. Sebelum pemberian arang kayu, dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman:	
- 65 cm	25
- 85 cm	20,7
- 105 cm	17,5
- 125 cm	16
2. Setelah pemberian arang kayu, dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman:	
- 65 cm	17
- 85 cm	14,8
- 105 cm	13
- 125 cm	11,6

Sumber: Hasil pengukuran

Keterangan:  $R_e$ = resistansi pembumian (ohm)

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pembumian yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, maka terlihat bahwa semakin dalam penanaman elektroda batang dapat

menurunkan nilai resistansi pembumian baik sebelum maupun sesudah penambahan serbuk arang kayu pada medium tanah yang ditanam secara konsentris dengan elektroda batang. Pada Tabel 4.2 menunjukkan nilai resistansi pembumian dengan beberapa variasi kedalaman penanaman elektroda batang pada sebelum dan setelah pemberian arang kayu.

Kemudian berdasarkan Persamaan (2-1) dapat diketahui nilai resistansi pembumian melalui analisis numerik sebagai berikut, apabila:

$$R_A = \frac{\rho_A \cdot l_A}{2\pi \cdot r_A \cdot h_A}$$

$$R_{TK(atas)} = \frac{\rho_{TK} \cdot l_{TK}}{2\pi \cdot r_{TK} \cdot h_{TK}} \quad (\text{untuk menghitung } R_{TK} \text{ pada selimut silinder bagian atas})$$

$$R_{TK(bawah)} = \frac{\rho_{TK} \cdot l_{TK}}{2\pi \cdot r_{TK}^2} \quad (\text{untuk menghitung } R_{TK} \text{ pada setengah bola})$$

dengan:

$R_e$  = resistansi pembumian (ohm)

$R_A$  = resistansi arang kayu (ohm)

$R_{TK}$  = resistansi tanah katel (ohm)

$\rho_A$  = resistivitas arang kayu (ohm-cm)

$\rho_{TK}$  = resistivitas tanah katel (ohm-cm)

$l_A$  = tebal lapisan arang kayu (cm)

$l_{TK}$  = tebal lapisan tanah katel (cm)

$r_A$  = jari-jari lapisan arang kayu (cm)

$r_{TK}$  = jari-jari lapisan tanah katel (cm)

$h_A$  = kedalaman penanaman elektroda batang pada lapisan arang kayu (cm)

$h_{TK}$  = kedalaman penanaman elektroda batang pada lapisan tanah katel (cm)

Nilai resistivitas pada masing-masing lapisan telah diketahui dari hasil pengukuran sebelumnya berdasarkan pada Tabel 4.2.

$\rho_A$  = 1200 ohm-cm

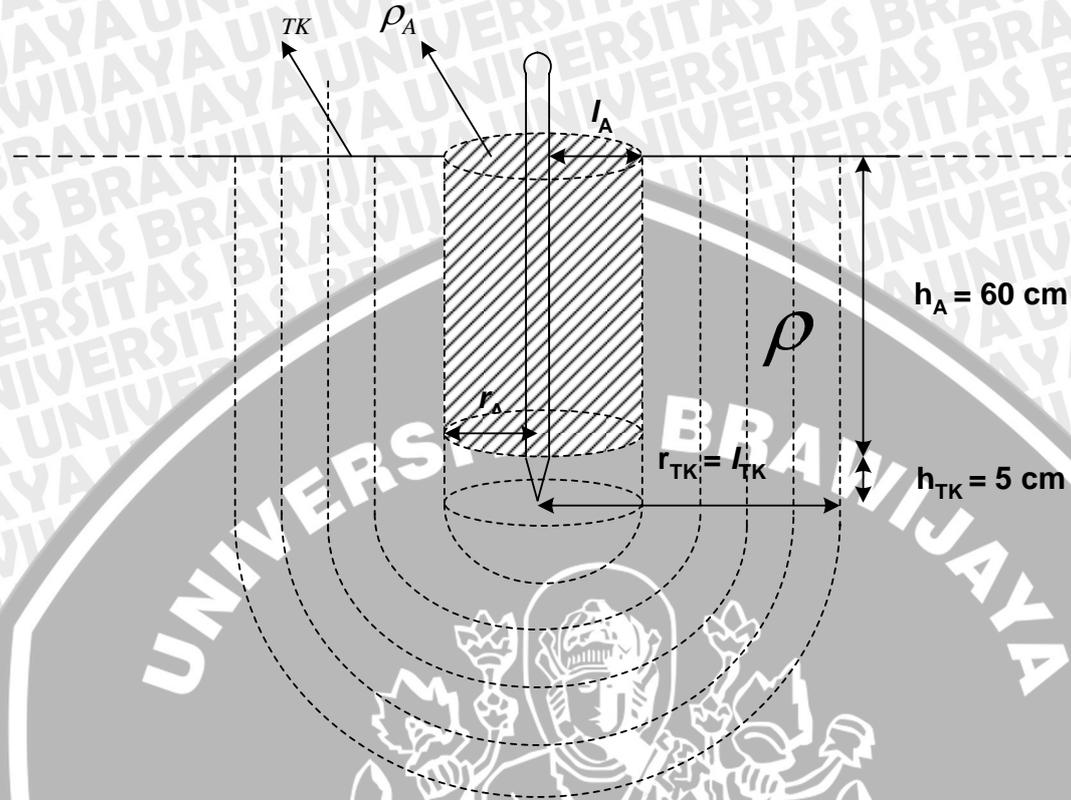
$\rho_{TK}$  = 3497,04 ohm-cm, untuk kedalaman 60 cm

$\rho_{TK}$  = 3446,97 ohm-cm, untuk kedalaman 80 cm

$\rho_{TK}$  = 3413,58 ohm-cm, untuk kedalaman 100 cm

$\rho_{TK}$  = 3388,55 ohm-cm, untuk kedalaman 120 cm

4.1.4.1 Model Penanaman Elektroda Batang pada Kedalaman 65 cm



Gambar 4.1 Model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm

Sumber: Hasil perencanaan

dengan:

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm}$$

$$h_A = 60 \text{ cm}$$

$$h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka :

$$R_A = \frac{(1200) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (60)} = 3,18 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3497,04) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 111,37 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3497,04) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 74,24 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 2,97 \text{ ohm}$$

Berdasarkan Gambar 4.1 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.3 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 1.

**Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm untuk setiap lapisan ( $l=7,5$  cm)**

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
1	7,5	2.9722	2.97
2	15	1.4289	4.40
3	22,5	2.1213	6.52
4	30	1.4654	7.99
5	37,5	1.0865	9.07
6	45	0.8437	9.92
7	52,5	0.6770	10.60
8	60	0.5569	11.15
9	67,5	0.4670	11.62
10	75	0.3978	12.02
11	82,5	0.3432	12.36
12	90	0.2994	12.66
13	97,5	0.2636	12.92
14	105	0.2340	13.16
15	112,5	0.2091	13.37
16	120	0.1881	13.55
17	127,5	0.1702	13.72
18	135	0.1547	13.88
19	142,5	0.1412	14.02
20	150	0.1295	14.15
21	157,5	0.1192	14.27
22	165	0.1101	14.38
23	172,5	0.1019	14.48
24	180	0.0947	14.58
25	187,5	0.0882	14.66
26	195	0.0824	14.75
27	202,5	0.0771	14.82
28	210	0.0723	14.90
29	217,5	0.0680	14.96
30	225	0.0640	15.03
31	232,5	0.0604	15.09
32	240	0.0571	15.15
33	247,5	0.0540	15.20
34	255	0.0512	15.25
35	262,5	0.0486	15.30
36	270	0.0462	15.34
37	277,5	0.0439	15.39
38	285	0.0419	15.43
39	292,5	0.0399	15.47
40	300	0.0381	15.51
41	307,5	0.0365	15.55
42	315	0.0349	15.58
43	322,5	0.0334	15.61
44	330	0.0320	15.65
45	337,5	0.0307	15.68
46	345	0.0295	15.71

n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
47	352,5	0.0284	15.73
48	360	0.0273	15.76
49	367,5	0.0263	15.79
50	375	0.0253	15.81
51	382,5	0.0244	15.84
52	390	0.0235	15.86
53	397,5	0.0227	15.88
54	405	0.0219	15.91
55	412,5	0.0212	15.93
56	420	0.0205	15.95
57	427,5	0.0198	15.97
58	435	0.0192	15.99
59	442,5	0.0186	16.01
60	450	0.0180	16.02
61	457,5	0.0175	16.04
62	465	0.0169	16.06
63	472,5	0.0164	16.07
64	480	0.0160	16.09
65	487,5	0.0155	16.11
66	495	0.0151	16.12
67	502,5	0.0146	16.14
68	510	0.0142	16.15
69	517,5	0.0139	16.16
70	525	0.0135	16.18
71	532,5	0.0131	16.19
72	540	0.0128	16.20
73	547,5	0.0125	16.22
74	555	0.0121	16.23
75	562,5	0.0118	16.24
76	570	0.0115	16.25
77	577,5	0.0113	16.26
78	585	0.0110	16.27
79	592,5	0.0107	16.28
80	600	0.0105	16.29
81	607,5	0.0102	16.30
82	615	0.0100	16.31
83	622,5	0.0098	16.32
84	630	0.0095	16.33

Sumber: Hasil perhitungan

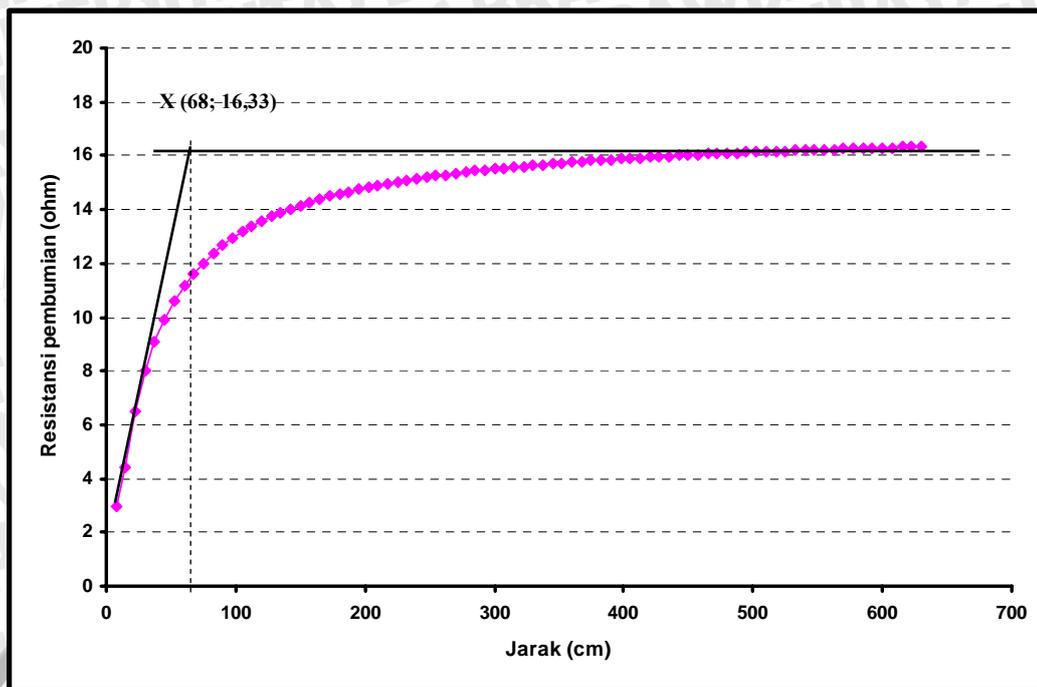
Keterangan: n = lapisan tanah ke-  
= 1, 2, 3, 4....dst  
R<sub>n</sub> = resistansi tanah pada lapisan ke-n (ohm)  
R<sub>e</sub> = resistansi pembedaan (ohm)

$$R_e = \sum_{1}^n R_n$$

Tabel 4.3 menunjukkan perhitungan nilai resistansi pembedaan pada setiap lapisan tanah dengan tebal lapisan yang sama dilakukan hingga lapisan ke 84, karena pada lapisan tanah tersebut selisih nilai resistansi pembedaan terkecil antar lapisan tanah yaitu mencapai 0,0002 ohm. Pada Tabel 4.3 terlihat nilai resistansi pembedaan

pada setiap tebal lapisan yang sama memiliki nilai resistansi pembumian yang berbeda-beda. Resistansi pembumian untuk setiap lapisan tanah memiliki kecenderungan nilainya semakin kecil. Model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm memiliki nilai resistansi tanah pada lapisan pertama sebesar 2,97 ohm, nilai resistansi tanah pada lapisan kedua mengalami penurunan sebesar 48% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan pertama, nilai resistansi tanah pada lapisan ketiga mengalami kenaikan sebesar 67% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kedua, nilai resistansi tanah pada lapisan keempat mengalami penurunan sebesar 69% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan ketiga, nilai resistansi tanah pada lapisan kelima mengalami penurunan sebesar 75% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan keempat, nilai resistansi tanah pada lapisan keenam mengalami penurunan kembali sebesar 77% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kelima, nilai resistansi tanah pada lapisan ketujuh mengalami penurunan kembali sebesar 82% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kedelapan. Fluktuasi nilai resistansi pembumian dikarenakan adanya perbedaan nilai resistivitas dalam satu obyek uji, dan dalam obyek uji tersebut hanya terdapat dua lapisan, yaitu lapisan serbuk arang kayu dan lapisan tanah katel.

Nilai resistansi tanah mengalami penurunan secara linier, prosentase penurunannya semakin besar mulai dari lapisan pertama hingga lapisan kedua. Pada lapisan ketiga nilai resistansi tanah mengalami kenaikan sebesar 67% dari nilai resistansi tanah pada lapisan kedua. Sesuai dengan Gambar 4.1 kenaikan nilai resistansi tanah tersebut disebabkan karena pada lapisan ketiga tebal lapisan tanah lebih besar dari jari-jari obyek uji sebesar 15 cm sehingga susunan lapisan tanah sudah berbeda dan menyebabkan nilai resistansi tanah pada lapisan ketiga mengalami sedikit fluktuatif. Pada lapisan keempat nilai resistansi tanah mengalami penurunan kembali secara linier dan prosentase penurunannya kembali semakin besar mulai dari lapisan sebelumnya hingga lapisan berikutnya sehingga pada jarak berapapun nilai resistansi tanah dan nilai resistansi pembumian memiliki nilai tetap. Dan hal-hal yang telah terjadi diatas pasti akan memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian yang akan dilakukan berikutnya, karena tidak mengubah susunan serbuk arang kayu yang ditanam konsentris terhadap tanah melainkan hanya mengubah kedalaman penanaman elektroda batang. Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.

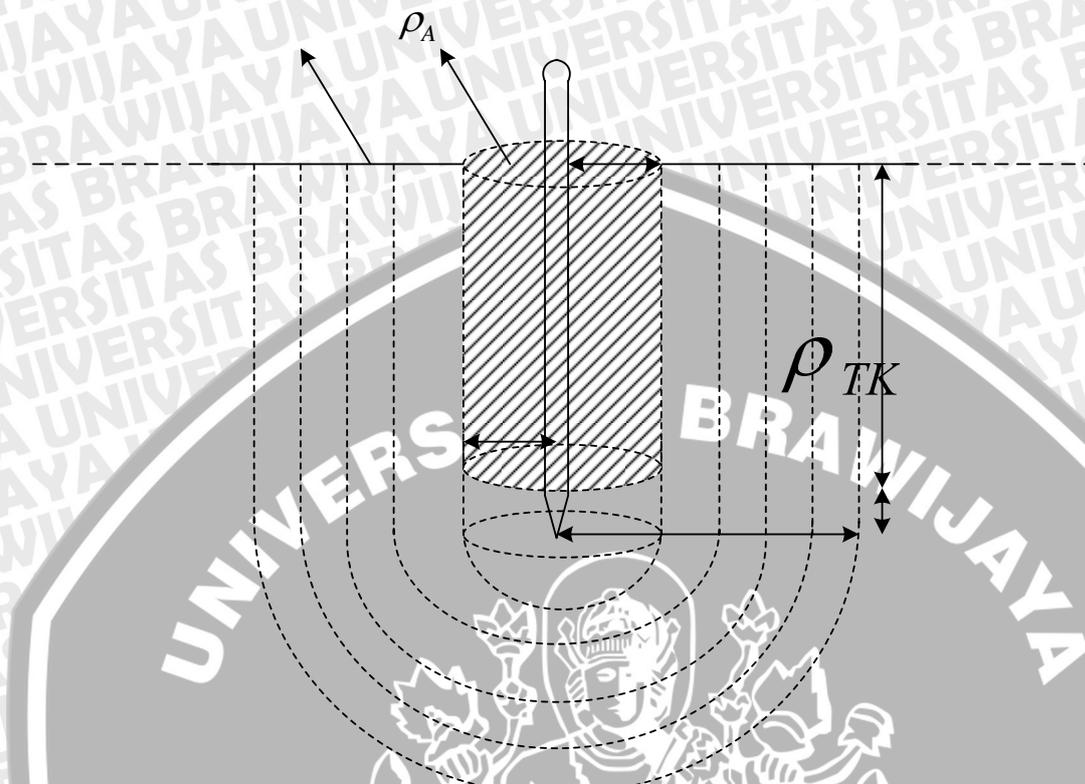


**Gambar 4.2** Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan kesembilan mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan kesepuluh mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah kesebelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan terhadap nilai resistansi pembumiannya. Pada Gambar 4.2 jari-jari efektif untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm ditunjukkan pada titik X pada koordinat (68; 16,33) yang berarti pada lapisan tanah kesembilan berjarak 68 cm dari elektroda batang memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 16,33 ohm.

4.1.4.2 Model Penanaman Elektroda Batang pada Kedalaman 85 cm



Gambar 4.3 Model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm

Sumber: Hasil perencanaan

dengan:

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm}$$

$$h_A = 80 \text{ cm}$$

$$h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka :

$$R_A = \frac{(1200) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (80)} = 2,38 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3446,97) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 109,77 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3446,97) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 73,18 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 2,27 \text{ ohm}$$

$r_A$



Berdasarkan Gambar 4.3 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 2.

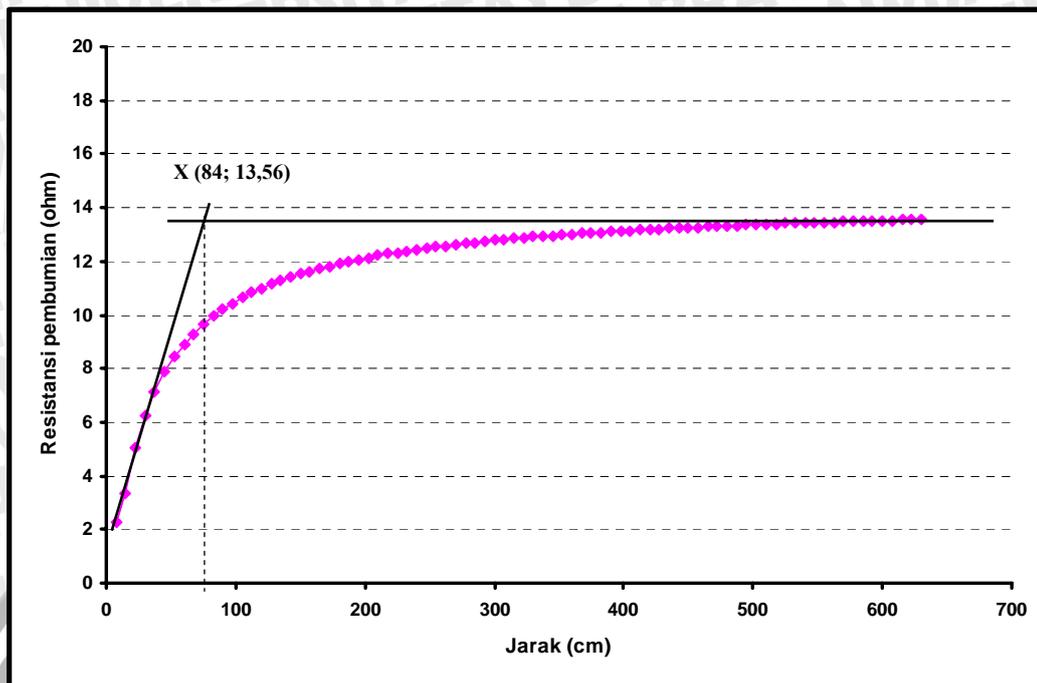
**Tabel 4.4 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm untuk setiap lapisan ( $l=7,5$  cm)**

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
1	7,5	2.2653	2.27
2	15	1.0986	3.36
3	22,5	1.7020	5.07
4	30	1.1932	6.26
5	37,5	0.8961	7.16
6	45	0.7037	7.86
7	52,5	0.5703	8.43
8	60	0.4732	8.90
9	67,5	0.3999	9.30
10	75	0.3431	9.65
11	82,5	0.2979	9.94
12	90	0.2614	10.20
13	97,5	0.2314	10.44
14	105	0.2063	10.64
15	112,5	0.1853	10.83
16	120	0.1673	10.99
17	127,5	0.1519	11.15
18	135	0.1386	11.29
19	142,5	0.1270	11.41
20	150	0.1168	11.53
21	157,5	0.1078	11.64
22	165	0.0998	11.74
23	172,5	0.0927	11.83
24	180	0.0863	11.92
25	187,5	0.0806	12.00
26	195	0.0754	12.07
27	202,5	0.0707	12.14
28	210	0.0665	12.21
29	217,5	0.0626	12.27
30	225	0.0590	12.33
31	232,5	0.0558	12.39
32	240	0.0528	12.44
33	247,5	0.0500	12.49
34	255	0.0475	12.54
35	262,5	0.0451	12.58
36	270	0.0429	12.62
37	277,5	0.0409	12.67
38	285	0.0390	12.70
39	292,5	0.0373	12.74
40	300	0.0356	12.78
41	307,5	0.0341	12.81
42	315	0.0327	12.84
43	322,5	0.0313	12.88
44	330	0.0301	12.91
45	337,5	0.0289	12.93
46	345	0.0277	12.96

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
47	352,5	0.0267	12.99
48	360	0.0257	13.01
49	367,5	0.0248	13.04
50	375	0.0239	13.06
51	382,5	0.0230	13.09
52	390	0.0222	13.11
53	397,5	0.0215	13.13
54	405	0.0207	13.15
55	412,5	0.0201	13.17
56	420	0.0194	13.19
57	427,5	0.0188	13.21
58	435	0.0182	13.23
59	442,5	0.0176	13.24
60	450	0.0171	13.26
61	457,5	0.0166	13.28
62	465	0.0161	13.29
63	472,5	0.0156	13.31
64	480	0.0152	13.33
65	487,5	0.0147	13.34
66	495	0.0143	13.35
67	502,5	0.0139	13.37
68	510	0.0136	13.38
69	517,5	0.0132	13.40
70	525	0.0129	13.41
71	532,5	0.0125	13.42
72	540	0.0122	13.43
73	547,5	0.0119	13.44
74	555	0.0116	13.46
75	562,5	0.0113	13.47
76	570	0.0110	13.48
77	577,5	0.0108	13.49
78	585	0.0105	13.50
79	592,5	0.0103	13.51
80	600	0.0100	13.52
81	607,5	0.0098	13.53
82	615	0.0096	13.54
83	622,5	0.0093	13.55
84	630	0.0091	13.56

-----  
 Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.

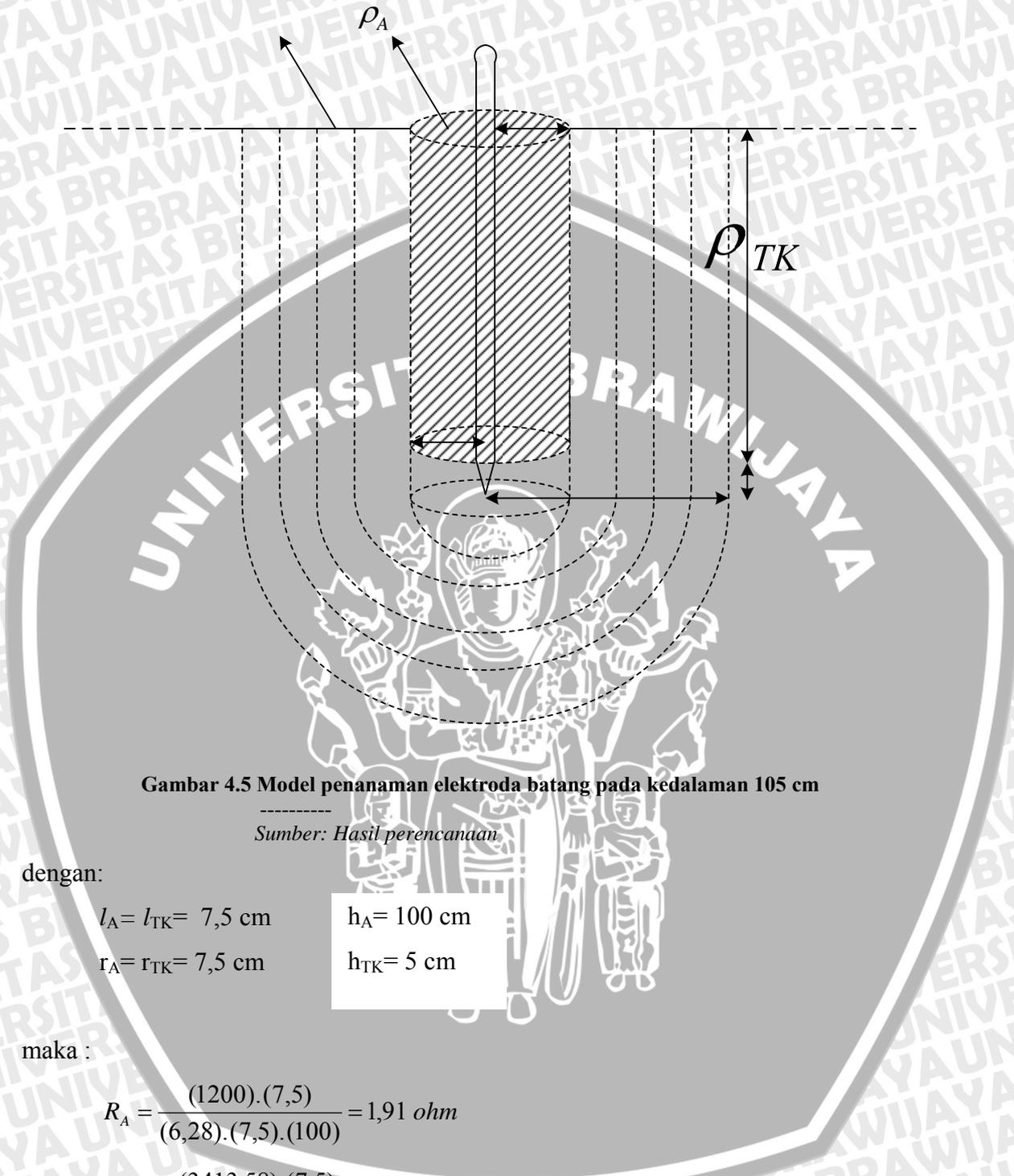


**Gambar 4.4** Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan kesebelas mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan keduabelas mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah ketigabelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan terhadap nilai resistansi pembumiannya. Pada Gambar 4.4 jari-jari efektif untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm ditunjukkan pada titik X pada koordinat (84; 13,56) yang berarti pada lapisan tanah kesebelas berjarak 84 cm dari elektroda batang memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 13,56 ohm.

4.1.4.3 Model Penanaman Elektroda Batang pada Kedalaman 105 cm



Gambar 4.5 Model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm

Sumber: Hasil perencanaan

dengan:

$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm}$	$h_A = 100 \text{ cm}$
$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm}$	$h_{TK} = 5 \text{ cm}$

maka :

$$R_A = \frac{(1200) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (100)} = 1,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3413,58) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 108,71 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3413,58) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 72,47 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 1,83 \text{ ohm}$$

Berdasarkan Gambar 4.5 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.5 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 3.

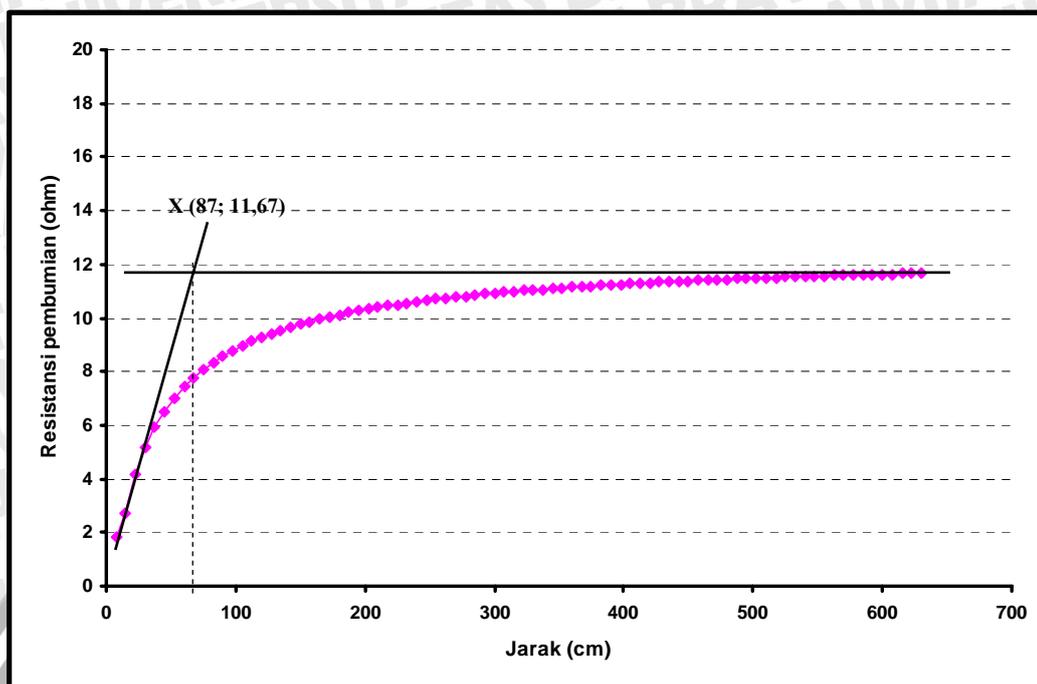
**Tabel 4.5 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm untuk setiap lapisan ( $l=7,5$  cm)**

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
1	7,5	1.8304	1.83
2	15	0.8927	2.72
3	22,5	1.4211	4.14
4	30	1.0066	5.15
5	37,5	0.7629	5.91
6	45	0.6040	6.52
7	52,5	0.4930	7.01
8	60	0.4118	7.42
9	67,5	0.3501	7.77
10	75	0.3020	8.07
11	82,5	0.2635	8.34
12	90	0.2323	8.57
13	97,5	0.2065	8.78
14	105	0.1849	8.96
15	112,5	0.1666	9.13
16	120	0.1510	9.28
17	127,5	0.1375	9.42
18	135	0.1258	9.54
19	142,5	0.1156	9.66
20	150	0.1066	9.76
21	157,5	0.0986	9.86
22	165	0.0915	9.95
23	172,5	0.0852	10.04
24	180	0.0795	10.12
25	187,5	0.0743	10.19
26	195	0.0697	10.26
27	202,5	0.0655	10.33
28	210	0.0616	10.39
29	217,5	0.0581	10.45
30	225	0.0549	10.50
31	232,5	0.0520	10.56
32	240	0.0492	10.60
33	247,5	0.0467	10.65
34	255	0.0444	10.70
35	262,5	0.0423	10.74
36	270	0.0403	10.78
37	277,5	0.0384	10.82
38	285	0.0367	10.85
39	292,5	0.0351	10.89
40	300	0.0336	10.92
41	307,5	0.0321	10.95
42	315	0.0308	10.99
43	322,5	0.0296	11.01
44	330	0.0284	11.04
45	337,5	0.0273	11.07
46	345	0.0263	11.10

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
47	352,5	0.0253	11.12
48	360	0.0244	11.15
49	367,5	0.0235	11.17
50	375	0.0226	11.19
51	382,5	0.0219	11.21
52	390	0.0211	11.24
53	397,5	0.0204	11.26
54	405	0.0197	11.28
55	412,5	0.0191	11.29
56	420	0.0185	11.31
57	427,5	0.0179	11.33
58	435	0.0174	11.35
59	442,5	0.0168	11.37
60	450	0.0163	11.38
61	457,5	0.0158	11.40
62	465	0.0154	11.41
63	472,5	0.0149	11.43
64	480	0.0145	11.44
65	487,5	0.0141	11.46
66	495	0.0137	11.47
67	502,5	0.0134	11.48
68	510	0.0130	11.50
69	517,5	0.0127	11.51
70	525	0.0123	11.52
71	532,5	0.0120	11.53
72	540	0.0117	11.55
73	547,5	0.0114	11.56
74	555	0.0111	11.57
75	562,5	0.0109	11.58
76	570	0.0106	11.59
77	577,5	0.0103	11.60
78	585	0.0101	11.61
79	592,5	0.0099	11.62
80	600	0.0096	11.63
81	607,5	0.0094	11.64
82	615	0.0092	11.65
83	622,5	0.0090	11.66
84	630	0.0088	11.67

-----  
 Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.

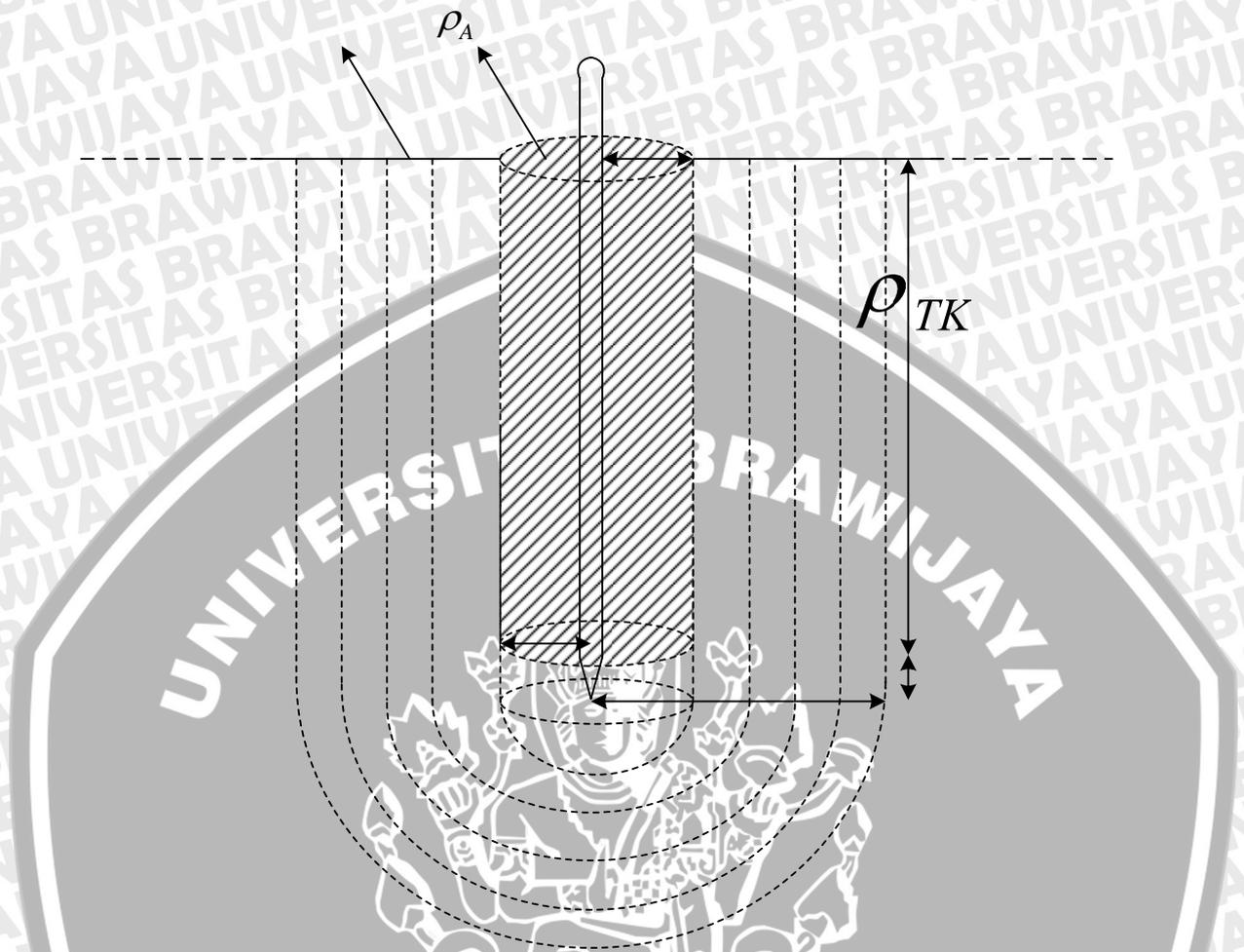


**Gambar 4.6** Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan kesebelas mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan kedubelas mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah ketigabelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan terhadap nilai resistansi pembumiannya. Pada Gambar 4.6 jari-jari efektif untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm ditunjukkan pada titik X pada koordinat (87; 11,67) yang berarti pada lapisan tanah kesebelas berjarak 87 cm dari elektroda batang memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 11,67 ohm.

4.1.4.4 Model Penanaman Elektroda Batang pada Kedalaman 125 cm



Gambar 4.7 Model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm

Sumber: Hasil perencanaan

dengan:

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_A = 120 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka :

$$R_A = \frac{(1200) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (120)} = 1,59 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 107,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 71,94 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 1,54 \text{ ohm}$$

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.6 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 4.

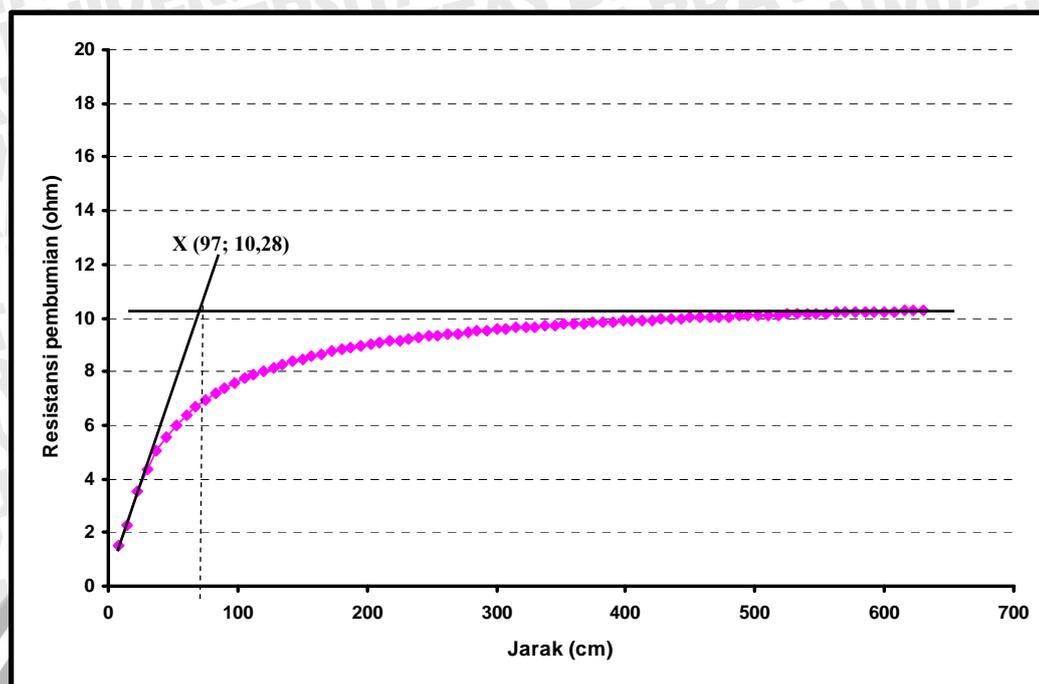
**Tabel 4.6 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm untuk setiap lapisan ( $l=7,5$  cm)**

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
1	7,5	1.5357	1.54
2	15	0.7518	2.29
3	22,5	1.2194	3.51
4	30	0.8703	4.38
5	37,5	0.6641	5.04
6	45	0.5290	5.57
7	52,5	0.4343	6.00
8	60	0.3646	6.37
9	67,5	0.3114	6.68
10	75	0.2698	6.95
11	82,5	0.2364	7.19
12	90	0.2091	7.40
13	97,5	0.1865	7.58
14	105	0.1676	7.75
15	112,5	0.1515	7.90
16	120	0.1376	8.04
17	127,5	0.1257	8.16
18	135	0.1153	8.28
19	142,5	0.1062	8.39
20	150	0.0981	8.48
21	157,5	0.0910	8.58
22	165	0.0846	8.66
23	172,5	0.0789	8.74
24	180	0.0737	8.81
25	187,5	0.0691	8.88
26	195	0.0649	8.95
27	202,5	0.0610	9.01
28	210	0.0575	9.06
29	217,5	0.0543	9.12
30	225	0.0514	9.17
31	232,5	0.0487	9.22
32	240	0.0462	9.27
33	247,5	0.0439	9.31
34	255	0.0418	9.35
35	262,5	0.0398	9.39
36	270	0.0379	9.43
37	277,5	0.0362	9.47
38	285	0.0346	9.50
39	292,5	0.0331	9.53
40	300	0.0317	9.56
41	307,5	0.0304	9.60
42	315	0.0292	9.62
43	322,5	0.0280	9.65
44	330	0.0270	9.68
45	337,5	0.0259	9.71
46	345	0.0250	9.73

n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
47	352,5	0.0240	9.75
48	360	0.0232	9.78
49	367,5	0.0224	9.80
50	375	0.0216	9.82
51	382,5	0.0208	9.84
52	390	0.0201	9.86
53	397,5	0.0195	9.88
54	405	0.0189	9.90
55	412,5	0.0183	9.92
56	420	0.0177	9.94
57	427,5	0.0171	9.95
58	435	0.0166	9.97
59	442,5	0.0161	9.99
60	450	0.0156	10.00
61	457,5	0.0152	10.02
62	465	0.0148	10.03
63	472,5	0.0143	10.05
64	480	0.0139	10.06
65	487,5	0.0136	10.07
66	495	0.0132	10.09
67	502,5	0.0128	10.10
68	510	0.0125	10.11
69	517,5	0.0122	10.12
70	525	0.0119	10.14
71	532,5	0.0116	10.15
72	540	0.0113	10.16
73	547,5	0.0110	10.17
74	555	0.0107	10.18
75	562,5	0.0105	10.19
76	570	0.0102	10.20
77	577,5	0.0100	10.21
78	585	0.0097	10.22
79	592,5	0.0095	10.23
80	600	0.0093	10.24
81	607,5	0.0091	10.25
82	615	0.0089	10.26
83	622,5	0.0087	10.27
84	630	0.0085	10.28

-----  
 Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.



Gambar 4.8 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan ketigabelas mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan keempatbelas mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah kelimabelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan terhadap nilai resistansi pembumiannya. Pada Gambar 4.8 jari-jari efektif untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm ditunjukkan pada titik X pada koordinat (97; 10,28) yang berarti pada lapisan tanah kesembilan berjarak 97 cm dari elektroda batang memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 10,28 ohm.

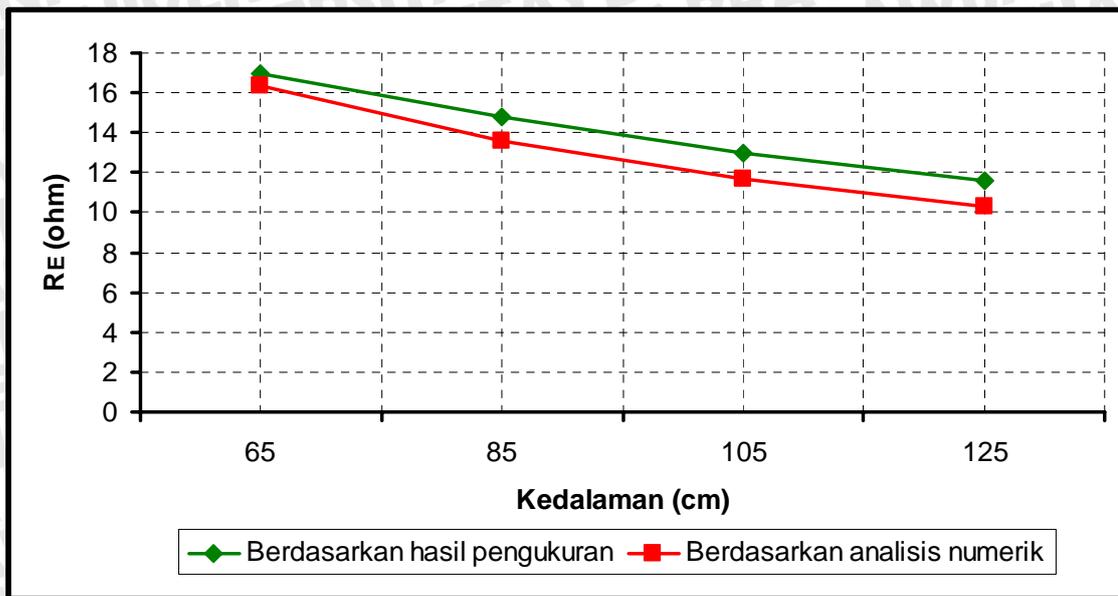
Lapisan pertama hingga lapisan kedua yang memiliki tebal lapisan 15 cm adalah lapisan arang, resistansi arang pada lapisan tersebut bernilai paling kecil jika dibandingkan apabila tanpa menggunakan serbuk arang kayu seperti pada nilai resistansi tanah pada lapisan berikutnya yaitu lapisan tanah katel. Dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 16,33 ohm, model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 13,56 ohm, model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 11,67 ohm dan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 10,28 ohm Berdasarkan Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 maka dapat dibandingkan nilai resistansi pembumian antara hasil pengukuran dengan hasil analisis numerik yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Perbandingan antara nilai resistansi pembumian hasil pengukuran Dengan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik**

<b>Model penanaman elektroda batang</b>	<b><math>R_e</math> hasil pengukuran (ohm)</b>	<b><math>R_e</math> hasil analisis numerik (ohm)</b>
Pada kedalaman 65 cm	17	16,33
Pada kedalaman 85 cm	14,8	13,56
Pada kedalaman 105 cm	13	11,67
Pada kedalaman 125 cm	11,6	10,28

Sumber: Hasil penelitian

Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa nilai resistansi pembumian sangat dipengaruhi oleh kedalaman penanaman elektroda batang. Hal tersebut dapat dilihat bahwa adanya hubungan yang linier antara nilai resistansi pembumian dengan kedalaman penanaman elektroda batang, semakin dalam penanaman elektroda batang maka semakin kecil nilai resistansi pembumiannya. Itu berarti semakin baik sistem pembumian tersebut, karena dapat mengalirkan arus gangguan lebih besar ke tanah.



Gambar 4.9 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap kedalaman penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm, 85 cm, 105 cm dan 125 cm

Sumber: Hasil pengukuran

Dari Tabel 4.7 dan Gambar 4.9 terlihat bahwa prosentase kesalahan untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 65 cm adalah 3,9%, untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 85 cm adalah 8,3%, untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 105 cm adalah 10,2%, untuk model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm adalah 11,3%. Setelah dilakukan analisis melalui dua pendekatan, dapat diketahui bahwa semakin dalam penanaman elektroda batang maka nilai resistansi pembumian semakin kecil, seperti yang ditunjukkan pada model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm.

## **4.2 Pengaruh Penambahan Konsentrasi Air Dalam Arang Kayu Dengan Kedalaman Penanaman Elektroda Batang Yang Berbeda-Beda Terhadap Nilai Resistansi Pembumian**

Pengaruh penambahan konsentrasi air dalam arang kayu terhadap nilai resistansi pembumian memberikan dampak yang sangat besar karena dapat mengurangi nilai resistansi pembumian.. Dalam penelitian ini akan dilakukan penambahan konsentrasi air dalam arang kayu yang ditanam secara konsentris terhadap tanah katel dengan volume tertentu. Konsentrasi air tersebut ditambahkan pada arang kayu sebesar 5%, 10%, 15% dan 20% karena berdasarkan penelitian sebelumnya telah diketahui bahwa nilai resistansi pembumian dapat turun. Perlakuan tersebut diterapkan pada salah satu model kedalaman penanaman elektroda batang yaitu 125 cm dengan hanya menggunakan analisis secara numerik saja. Sebelum melakukan pengukuran resistansi pembumian, terlebih dahulu dilakukan pengukuran nilai resistivitas arang kayu dalam kondisi basah dengan kadar air 5%, 10%, 15% dan 20% dengan ukuran partikel arang yang sama dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu 1 mm. Kemudian menentukan nilai resistansi tanah katel berdasarkan juga pada pengukuran yang dilakukan sebelumnya untuk masing-masing model kedalaman penanaman elektroda batang dengan volume arang tertentu. Dan setelah semua parameter empiris sudah didapatkan, maka akan nilai resistansi pembumian dari keempat model kedalaman penanaman elektroda batang dapat diketahui melalui analisis secara numerik.

### **4.2.1 Pengaruh Pemberian Air pada Arang Kayu Terhadap Nilai Resistivitasnya**

Pengaruh pemberian arang kayu terhadap resistivitasnya dapat diketahui dengan memberikan komposisi air yang tidak sama pada masing-masing arang kayu yang memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda. Kadar air dalam arang dikondisikan 5%, 10%, 15% dan 20% dari massa arang kayu dalam keadaan kering. Adapun rangkaian pengukuran resistivitas arang kayu ditunjukkan pada Gambar 3.2. Ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansinya. Nilai resistansi arang kayu yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung resistivitas arang kayu. Dengan begitu resistivitas arang kayu dalam keadaan basah akan dapat diketahui melalui analisis secara numerik sesuai dengan Persamaan (2-2).

Data perhitungan resistivitas partikel arang kayu yaitu:

Ukuran partikel arang kayu 1 mm dalam kondisi basah

$r$  (jari-jari tabung pengujian) = 1,75 cm

$l$  (tinggi tabung pengujian) = 5 cm

$KA_a$  (kadar air dalam arang) = 20%

$R$  (resistansi arang kayu) = 3,7 ohm

Dengan menggunakan Persamaan (2-2), maka resistivitasnya dapat dihitung yaitu:

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

$$= \frac{(3,14)(1,75)^2 (3,7)}{5}$$

$$= 7,1 \text{ ohm-cm}$$

Jadi resistivitas arang kayu hasil pengukuran adalah 7,1 ohm-cm.

Semakin besar kadar air dalam arang maka semakin besar pengaruhnya terhadap perubahan resistivitasnya sehingga resistivitasnya menjadi semakin besar, begitu juga jika semakin sedikit kadar air dalam arang maka kecil juga pengaruhnya terhadap perubahan resistivitasnya. Resistivitas arang kayu setelah pemberian air, turun sangat besar jika dibandingkan dengan resistivitas arang dalam kondisi kering (sebelum diberi air). Nilai resistivitas arang kayu dengan konsentrasi air tertentu dapat dilihat pada Tabel 4.8

**Tabel 4.8 Nilai resistivitas arang kayu basah dengan  $r=1,75$  cm dan  $l=5$  cm**

Kadar air dalam arang (%)	Resistansi arang kayu ( $\Omega$ )	Resistivitas arang kayu ( $\Omega$ -cm)
5	20	38,5
10	12,4	23,8
15	7	13,5
20	3,7	7,1

Sumber: Hasil penelitian

Semakin besar kadar air dalam arang maka semakin besar pengaruhnya terhadap perubahan resistivitasnya sehingga resistivitasnya menjadi semakin besar, begitu juga jika semakin sedikit kadar air dalam arang maka kecil juga pengaruhnya terhadap perubahan resistivitasnya. Resistivitas arang kayu setelah pemberian air, turun sangat

besar jika dibandingkan dengan resistivitas arang dalam kondisi kering (sebelum diberi air). Pemberian air pada arang dengan kadar air 20% dapat menurunkan nilai resistivitasnya hingga mencapai 100% lebih. Jadi secara umum pemberian air pada arang kayu memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap nilai resistivitasnya, apabila arang kayu diberi air dengan ukuran kadar air tertentu maka resistivitasnya akan turun menjadi semakin kecil.

#### 4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Air Dalam Arang Kayu Terhadap Nilai Resistansi Pembedaan

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi air dalam arang kayu terhadap nilai resistansi pembedaan, perlu dilakukan pengukuran nilai resistansi pembedaan dilapangan. Pengukuran ini bertujuan untuk membandingkan nilai resistansi pembedaan hasil pengukuran dan nilai resistansi pembedaan hasil analisis numerik. Pengukuran resistansi pembedaan menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester*, rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.4. Model kedalaman penanaman elektroda batan pada tanah ditunjukkan pada Gambar 3.1. Dalam pengujian ini tanah yang digunakan sebagai obyek penelitian adalah tanah katel dan volume arang kayu yang digunakan dalam penelitian memiliki ukuran tertentu terhadap tanah katel.

**Tabel 4.9 Hasil pengukuran resistansi pembedaan dalam suatu medium tanah katel dengan beberapa variasi konsentrasi air pada arang kayu yang ditanam konsentris elektroda batang pada kedalaman penanaman 125 cm**

Tanah katel	$R_e$ (ohm)
1. Sebelum pemberian air pada arang kayu, penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm	11,6
2. Setelah pemberian air pada arang kayu, penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm, dengan konsentrasi air:	
- 5%	9,4
- 10%	8,7
- 15%	8,2
- 20%	8,2

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pembumian yang ditunjukkan pada Tabel 4.9, maka terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi air pada arang kayu yang ditanam konsentris elektroda batang dapat menurunkan nilai resistansi pembumian. Pada Tabel 4.9 menunjukkan nilai resistansi pembumian dengan beberapa variasi konsentrasi air pada arang kayu yang ditanam konsentris elektroda batang pada sebelum dan setelah perubahan konsentrasi air arang kayu.

Dalam menganalisis pengaruh konsentrasi air dalam arang terhadap nilai resistansi pembumian secara numerik membutuhkan pengkondisian yang sama persis dengan keadaan dilapangan, maka diperlukan beberapa variabel tetap sesuai dengan variabel tetap yang digunakan pada saat pengambilan data dilapangan yaitu arang kayu basah dengan kadar air 5%, 10%, 15% dan 20% dengan ukuran partikel arang kayu 1 mm, tanah yang digunakan adalah tanah katel, posisi peletakan arang kayu diletakkan konsentris terhadap elektroda batang, medium tanah untuk penelitian berukuran 30 cm x 30 cm x 120 cm, menggunakan salah satu model kedalaman penanaman elektroda batang yaitu 125 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Karena Nilai resistivitas pada masing-masing lapisan telah diketahui dari hasil pengukuran sebelumnya berdasarkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.8.

$$\rho_{A5} = 38,5 \text{ ohm-cm}$$

$$\rho_{A10} = 23,8 \text{ ohm-cm}$$

$$\rho_{A15} = 13,5 \text{ ohm-cm}$$

$$\rho_{A20} = 7,1 \text{ ohm-cm}$$

$$\rho_{TK} = 3388,55 \text{ ohm-cm, untuk kedalaman 120 cm}$$

#### 4.2.2.1 Analisis Numerik Dengan Pemberian Kadar Air Dalam Arang Sebesar 5%

Analisis numerik yang akan dilakukan sama dengan analisis numerik untuk Gambar 4.7 yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 sebagai hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 5% dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm. Pada Tabel 4.9 akan ditunjukkan sebagai contoh hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan arang kayu basah dengan persentase kadar air yang berbeda pada arang kayu.

Data perhitungan resistansi pembumian pada baris pertama dan kolom pertama dari resistansi pembumian pada Tabel 4.9 yaitu:

Tanah katel dalam kondisi kering dan arang kayu dalam kondisi basah

$$KA_a \text{ (kadar air dalam arang )} = 5\%$$

$$\rho_{A5} \text{ (resistivitas arang kayu dengan kadar air 5\%)} = 38,5 \text{ ohm-cm}$$

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_A = 120 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka resistansi pembumiannya dapat dihitung yaitu:

$$R_A = \frac{(38,5).(7,5)}{(6,28).(7,5).(120)} = 0,05 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3388,55).(7,5)}{(6,28).(7,5).(5)} = 107,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3388,55).(7,5)}{(6,28).(7,5)^2} = 71,94 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 0,05 \text{ ohm}$$

Jadi resistansi pembumian perhitungan adalah 0,05 ohm

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang perhitungan lengkapnya ditunjukkan pada LAMPIRAN 5.

**Tabel 4.10 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 5% dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm untuk setiap lapisan ( $l= 7,5 \text{ cm}$ )**

N	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
1	7.5	0.0510	0.05
2	15	0.0255	0.08
3	22.5	1.2194	1.30
4	30	0.8703	2.17
5	37.5	0.6641	2.83
6	45	0.5290	3.36
7	52.5	0.4343	3.79
8	60	0.3646	4.16
9	67.5	0.3114	4.47
10	75	0.2698	4.74
11	82.5	0.2364	4.98
12	90	0.2091	5.18
13	97.5	0.1865	5.37
14	105	0.1676	5.54
15	112.5	0.1515	5.69
16	120	0.1376	5.83
17	127.5	0.1257	5.95
18	135	0.1153	6.07
19	142.5	0.1062	6.18

N	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
20	150	0.0981	6.27
21	157.5	0.0910	6.36
22	165	0.0846	6.45
23	172.5	0.0789	6.53
24	180	0.0737	6.60
25	187.5	0.0691	6.67
26	195	0.0649	6.74
27	202.5	0.0610	6.80
28	210	0.0575	6.85
29	217.5	0.0543	6.91
30	225	0.0514	6.96
31	232.5	0.0487	7.01
32	240	0.0462	7.05
33	247.5	0.0439	7.10
34	255	0.0418	7.14
35	262.5	0.0398	7.18
36	270	0.0379	7.22
37	277.5	0.0362	7.25
38	285	0.0346	7.29
39	292.5	0.0331	7.32
40	300	0.0317	7.35
41	307.5	0.0304	7.38
42	315	0.0292	7.41
43	322.5	0.0280	7.44
44	330	0.0270	7.47
45	337.5	0.0259	7.49
46	345	0.0250	7.52
47	352.5	0.0240	7.54
48	360	0.0232	7.57
49	367.5	0.0224	7.59
50	375	0.0216	7.61
51	382.5	0.0208	7.63
52	390	0.0201	7.65
53	397.5	0.0195	7.67
54	405	0.0189	7.69
55	412.5	0.0183	7.71
56	420	0.0177	7.73
57	427.5	0.0171	7.74
58	435	0.0166	7.76
59	442.5	0.0161	7.78
60	450	0.0156	7.79
61	457.5	0.0152	7.81
62	465	0.0148	7.82
63	472.5	0.0143	7.84
64	480	0.0139	7.85
65	487.5	0.0136	7.86
66	495	0.0132	7.88
67	502.5	0.0128	7.89
68	510	0.0125	7.90
69	517.5	0.0122	7.91
70	525	0.0119	7.93
71	532.5	0.0116	7.94
72	540	0.0113	7.95
73	547.5	0.0110	7.96
74	555	0.0107	7.97



n	r (cm)	$R_n$ (ohm)	$R_e$ (ohm)
75	562.5	0.0105	7.98
76	570	0.0102	7.99
77	577.5	0.0100	8.00
78	585	0.0097	8.01
79	592.5	0.0095	8.02
80	600	0.0093	8.03
81	607.5	0.0091	8.04
82	615	0.0089	8.05
83	622.5	0.0087	8.06
84	630	0.0085	8.06

-----  
Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.10 menunjukkan perhitungan nilai resistansi pembumian pada setiap lapisan tanah dengan tebal lapisan yang sama dilakukan hingga lapisan ke 84, karena pada lapisan tanah tersebut selisih nilai resistansi pembumian terkecil antar lapisan tanah yaitu mencapai 0,0002 ohm. Pada Tabel 4.10 terlihat nilai resistansi pembumian pada setiap tebal lapisan yang sama memiliki nilai resistansi pembumian yang berbeda-beda. Resistansi pembumian untuk setiap lapisan tanah memiliki kecenderungan nilainya semakin kecil.

Nilai resistansi tanah mengalami penurunan secara linier, prosentase penurunannya semakin besar mulai dari lapisan pertama hingga lapisan kedua. Pada lapisan ketiga nilai resistansi tanah mengalami kenaikan lebih dari 100% jika dibandingkan dengan nilai resistansi tanah pada lapisan kedua. Sesuai dengan Gambar 4.7 kenaikan nilai resistansi tanah tersebut disebabkan karena adanya perbedaan nilai resistivitas antara lapisan kedua dengan lapisan ketiga sehingga menyebabkan nilai resistansi tanah pada lapisan ketiga mengalami sedikit fluktuatif. Pada lapisan keempat nilai resistansi tanah mengalami penurunan kembali secara linier dan prosentase penurunannya kembali semakin besar mulai dari lapisan sebelumnya hingga lapisan berikutnya sehingga pada jarak berapapun nilai resistansi tanah dan nilai resistansi pembumian memiliki nilai tetap. Dan hal-hal yang telah terjadi diatas pasti akan memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian yang akan dilakukan berikutnya, karena tidak mengubah susunan serbuk arang kayu yang ditanam konsentris terhadap tanah.

#### 4.2.2.2 Analisis Numerik Dengan Pemberian Kadar Air Dalam Arang Sebesar 10%

Analisis numerik yang akan dilakukan sama dengan analisis numerik untuk Gambar 4.7 yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 sebagai hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 10% dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm. Pada Tabel 4.11 akan ditunjukkan sebagai contoh hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan arang kayu basah dengan persentase kadar air yang berbeda pada arang kayu.

Data perhitungan resistansi pembumian pada baris pertama dan kolom pertama dari resistansi pembumian pada Tabel 4.11 yaitu:

Tanah katel dalam kering dan arang kayu dalam kondisi basah

$$KA_a \text{ (kadar air dalam arang)} = 10\%$$

$$\rho_{A10} \text{ (resistivitas arang kayu dengan kadar air 10\%)} = 23,8 \text{ ohm-cm}$$

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_A = 120 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka resistansi pembumiannya dapat dihitung yaitu:

$$R_A = \frac{(23,8) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (120)} = 0,03 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 107,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 71,94 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 0,03 \text{ ohm}$$

Jadi resistansi pembumian perhitungan adalah 0,03 ohm

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.11 yang perhitungan lengkapnya ditunjukkan pada LAMPIRAN 6.

**Tabel 4.11 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 10% dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm**

<b>n</b>	<b>r (cm)</b>	<b>R<sub>n</sub> (ohm)</b>	<b>R<sub>e</sub> (ohm)</b>
1	7.5	0.0316	0.03
2	15	0.0158	0.05
3	22.5	1.2194	1.27
4	30	0.8703	2.14
5	37.5	0.6641	2.80
6	45	0.5290	3.33
7	52.5	0.4343	3.76
8	60	0.3646	4.13
9	67.5	0.3114	4.44
10	75	0.2698	4.71
11	82.5	0.2364	4.95
12	90	0.2091	5.16
13	97.5	0.1865	5.34
14	105	0.1676	5.51
15	112.5	0.1515	5.66
16	120	0.1376	5.80
17	127.5	0.1257	5.92
18	135	0.1153	6.04
19	142.5	0.1062	6.15
20	150	0.0981	6.24
21	157.5	0.0910	6.34
22	165	0.0846	6.42
23	172.5	0.0789	6.50
24	180	0.0737	6.57
25	187.5	0.0691	6.64
26	195	0.0649	6.71
27	202.5	0.0610	6.77
28	210	0.0575	6.82
29	217.5	0.0543	6.88
30	225	0.0514	6.93
31	232.5	0.0487	6.98
32	240	0.0462	7.03
33	247.5	0.0439	7.07
34	255	0.0418	7.11
35	262.5	0.0398	7.15
36	270	0.0379	7.19
37	277.5	0.0362	7.22
38	285	0.0346	7.26
39	292.5	0.0331	7.29
40	300	0.0317	7.32
41	307.5	0.0304	7.35
42	315	0.0292	7.38
43	322.5	0.0280	7.41
44	330	0.0270	7.44
45	337.5	0.0259	7.47
46	345	0.0250	7.49
47	352.5	0.0240	7.51
48	360	0.0232	7.54
49	367.5	0.0224	7.56
50	375	0.0216	7.58
51	382.5	0.0208	7.60

n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
52	390	0.0201	7.62
53	397.5	0.0195	7.64
54	405	0.0189	7.66
55	412.5	0.0183	7.68
56	420	0.0177	7.70
57	427.5	0.0171	7.71
58	435	0.0166	7.73
59	442.5	0.0161	7.75
60	450	0.0156	7.76
61	457.5	0.0152	7.78
62	465	0.0148	7.79
63	472.5	0.0143	7.81
64	480	0.0139	7.82
65	487.5	0.0136	7.83
66	495	0.0132	7.85
67	502.5	0.0128	7.86
68	510	0.0125	7.87
69	517.5	0.0122	7.88
70	525	0.0119	7.90
71	532.5	0.0116	7.91
72	540	0.0113	7.92
73	547.5	0.0110	7.93
74	555	0.0107	7.94
75	562.5	0.0105	7.95
76	570	0.0102	7.96
77	577.5	0.0100	7.97
78	585	0.0097	7.98
79	592.5	0.0095	7.99
80	600	0.0093	8.00
81	607.5	0.0091	8.01
82	615	0.0089	8.02
83	622.5	0.0087	8.03
84	630	0.0085	8.04

-----  
Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.2.3 Analisis Numerik Dengan Pemberian Kadar Air Dalam Arang Sebesar 15%

Analisis numerik yang akan dilakukan sama dengan analisis numerik untuk Gambar 4.7 yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 sebagai hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 15% dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm. Pada Tabel 4.12 akan ditunjukkan sebagai contoh hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan arang kayu basah dengan persentase kadar air yang berbeda pada arang kayu.

Data perhitungan resistansi pembumian pada baris pertama dan kolom pertama dari resistansi pembumian pada Tabel 4.12 yaitu:

Tanah katel dalam kering dan arang kayu dalam kondisi basah

$$KA_a \text{ (kadar air dalam arang )} = 15\%$$

$$\rho_{A15} \text{ (resistivitas arang kayu dengan kadar air 15\%)} = 13,5 \text{ ohm-cm}$$

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_A = 120 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka resistansi pembumiannya dapat dihitung yaitu:

$$R_A = \frac{(13,5).(7,5)}{(6,28).(7,5).(120)} = 0,02 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3388,55).(7,5)}{(6,28).(7,5).(5)} = 107,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3388,55).(7,5)}{(6,28).(7,5)^2} = 71,94 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 0,02 \text{ ohm}$$

Jadi resistansi pembumian perhitungan adalah 0,02 ohm

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.12 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 7.

**Tabel 4.12 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 15% dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm**

n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
1	7.5	0.0179	0.02
2	15	0.0090	0.03
3	22.5	1.2194	1.25
4	30	0.8703	2.12
5	37.5	0.6641	2.78
6	45	0.5290	3.31
7	52.5	0.4343	3.74
8	60	0.3646	4.11
9	67.5	0.3114	4.42
10	75	0.2698	4.69
11	82.5	0.2364	4.93
12	90	0.2091	5.14
13	97.5	0.1865	5.32
14	105	0.1676	5.49
15	112.5	0.1515	5.64
16	120	0.1376	5.78
17	127.5	0.1257	5.90
18	135	0.1153	6.02

<b>n</b>	<b>r (cm)</b>	<b>R<sub>n</sub> (ohm)</b>	<b>R<sub>e</sub> (ohm)</b>
19	142.5	0.1062	6.13
20	150	0.0981	6.22
21	157.5	0.0910	6.31
22	165	0.0846	6.40
23	172.5	0.0789	6.48
24	180	0.0737	6.55
25	187.5	0.0691	6.62
26	195	0.0649	6.69
27	202.5	0.0610	6.75
28	210	0.0575	6.80
29	217.5	0.0543	6.86
30	225	0.0514	6.91
31	232.5	0.0487	6.96
32	240	0.0462	7.00
33	247.5	0.0439	7.05
34	255	0.0418	7.09
35	262.5	0.0398	7.13
36	270	0.0379	7.17
37	277.5	0.0362	7.20
38	285	0.0346	7.24
39	292.5	0.0331	7.27
40	300	0.0317	7.30
41	307.5	0.0304	7.33
42	315	0.0292	7.36
43	322.5	0.0280	7.39
44	330	0.0270	7.42
45	337.5	0.0259	7.44
46	345	0.0250	7.47
47	352.5	0.0240	7.49
48	360	0.0232	7.52
49	367.5	0.0224	7.54
50	375	0.0216	7.56
51	382.5	0.0208	7.58
52	390	0.0201	7.60
53	397.5	0.0195	7.62
54	405	0.0189	7.64
55	412.5	0.0183	7.66
56	420	0.0177	7.68
57	427.5	0.0171	7.69
58	435	0.0166	7.71
59	442.5	0.0161	7.73
60	450	0.0156	7.74
61	457.5	0.0152	7.76
62	465	0.0148	7.77
63	472.5	0.0143	7.79
64	480	0.0139	7.80
65	487.5	0.0136	7.81
66	495	0.0132	7.83
67	502.5	0.0128	7.84
68	510	0.0125	7.85
69	517.5	0.0122	7.86
70	525	0.0119	7.88
71	532.5	0.0116	7.89
72	540	0.0113	7.90
73	547.5	0.0110	7.91



n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
74	555	0.0107	7.92
75	562.5	0.0105	7.93
76	570	0.0102	7.94
77	577.5	0.0100	7.95
78	585	0.0097	7.96
79	592.5	0.0095	7.97
80	600	0.0093	7.98
81	607.5	0.0091	7.99
82	615	0.0089	8.00
83	622.5	0.0087	8.01
84	630	0.0085	8.01

Sumber: Hasil perhitungan

#### 4.2.2.4 Analisis Numerik Dengan Pemberian Kadar Air Dalam Arang Sebesar 20%

Analisis numerik yang akan dilakukan sama dengan analisis numerik untuk Gambar 4.7 yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 sebagai hasil analisis resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 20% dengan penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm. Pada Tabel 4.13 akan ditunjukkan sebagai contoh hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan arang kayu basah dengan persentase kadar air yang berbeda pada arang kayu.

Data perhitungan resistansi pembumian pada baris pertama dan kolom pertama dari resistansi pembumian pada Tabel 4.13 yaitu:

Tanah katel dalam kering dan arang kayu dalam kondisi basah

$$KA_a \text{ (kadar air dalam arang )} = 20\%$$

$$\rho_{A20} \text{ (resistivitas arang kayu dengan kadar air 20\%)} = 7,1 \text{ ohm-cm}$$

$$l_A = l_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_A = 120 \text{ cm}$$

$$r_A = r_{TK} = 7,5 \text{ cm} \quad h_{TK} = 5 \text{ cm}$$

maka resistansi bumiannya dapat dihitung yaitu:

$$R_A = \frac{(7,1) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (120)} = 0,01 \text{ ohm}$$

$$R_{TK1} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5) \cdot (5)} = 107,91 \text{ ohm}$$

$$R_{TK2} = \frac{(3388,55) \cdot (7,5)}{(6,28) \cdot (7,5)^2} = 71,94 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TK1} // R_{TK2} = 0,01 \text{ ohm}$$

Jadi resistansi pembumian perhitungan adalah 0,01 ohm

Berdasarkan Gambar 4.7 hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.13 yang perhitungannya ditunjukkan pada LAMPIRAN 8.

**Tabel 4.13 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu dengan kadar air 20% dengan model penanaman elektroda batang pada kedalaman 125 cm**

n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
1	7.5	0.0094	0.01
2	15	0.0047	0.01
3	22.5	1.2194	1.23
4	30	0.8703	2.10
5	37.5	0.6641	2.77
6	45	0.5290	3.30
7	52.5	0.4343	3.73
8	60	0.3646	4.10
9	67.5	0.3114	4.41
10	75	0.2698	4.68
11	82.5	0.2364	4.91
12	90	0.2091	5.12
13	97.5	0.1865	5.31
14	105	0.1676	5.48
15	112.5	0.1515	5.63
16	120	0.1376	5.77
17	127.5	0.1257	5.89
18	135	0.1153	6.01
19	142.5	0.1062	6.11
20	150	0.0981	6.21
21	157.5	0.0910	6.30
22	165	0.0846	6.39
23	172.5	0.0789	6.47
24	180	0.0737	6.54
25	187.5	0.0691	6.61
26	195	0.0649	6.67
27	202.5	0.0610	6.73
28	210	0.0575	6.79
29	217.5	0.0543	6.85
30	225	0.0514	6.90
31	232.5	0.0487	6.95
32	240	0.0462	6.99
33	247.5	0.0439	7.04
34	255	0.0418	7.08
35	262.5	0.0398	7.12
36	270	0.0379	7.16
37	277.5	0.0362	7.19
38	285	0.0346	7.23
39	292.5	0.0331	7.26
40	300	0.0317	7.29
41	307.5	0.0304	7.32
42	315	0.0292	7.35
43	322.5	0.0280	7.38
44	330	0.0270	7.41

n	r (cm)	R <sub>n</sub> (ohm)	R <sub>e</sub> (ohm)
45	337.5	0.0259	7.43
46	345	0.0250	7.46
47	352.5	0.0240	7.48
48	360	0.0232	7.50
49	367.5	0.0224	7.53
50	375	0.0216	7.55
51	382.5	0.0208	7.57
52	390	0.0201	7.59
53	397.5	0.0195	7.61
54	405	0.0189	7.63
55	412.5	0.0183	7.65
56	420	0.0177	7.66
57	427.5	0.0171	7.68
58	435	0.0166	7.70
59	442.5	0.0161	7.71
60	450	0.0156	7.73
61	457.5	0.0152	7.74
62	465	0.0148	7.76
63	472.5	0.0143	7.77
64	480	0.0139	7.79
65	487.5	0.0136	7.80
66	495	0.0132	7.81
67	502.5	0.0128	7.83
68	510	0.0125	7.84
69	517.5	0.0122	7.85
70	525	0.0119	7.86
71	532.5	0.0116	7.87
72	540	0.0113	7.89
73	547.5	0.0110	7.90
74	555	0.0107	7.91
75	562.5	0.0105	7.92
76	570	0.0102	7.93
77	577.5	0.0100	7.94
78	585	0.0097	7.95
79	592.5	0.0095	7.96
80	600	0.0093	7.97
81	607.5	0.0091	7.98
82	615	0.0089	7.98
83	622.5	0.0087	7.99
84	630	0.0085	8.00

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13 maka dapat dibandingkan nilai resistansi pembumian antara hasil pengukuran dengan hasil analisis numerik yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 akan diketahui nilai resistansi pembumian menggunakan serbuk arang kayu basah dengan beberapa variasi konsentrasi air yang dikondisikan pada model penanaman elektroda batang di kedalaman 125 cm.

**Tabel 4.14 Perbandingan antara nilai resistansi pembumian hasil pengukuran dengan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik**

Konsentrasi air pada arang kayu (%)	$R_e$ hasil pengukuran (ohm)	$R_e$ hasil analisis numerik (ohm)
5	9,4	8,06
10	8,7	8,04
15	8,2	8,01
20	7,8	8,00

Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.13 terlihat bahwa prosentase kesalahan untuk pemberian konsentrasi air 5% pada arang kayu ialah 16%, untuk pemberian konsentrasi air 10% pada arang kayu ialah 8%, untuk pemberian konsentrasi air 15% pada arang kayu ialah 2,3%, untuk pemberian konsentrasi air 20% pada arang kayu ialah 2,5%. Setelah dilakukan analisis melalui dua pendekatan, dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi air yg terkandung dalam arang kayu yang ditanam konsentris terhadap elektroda batang maka nilai resistansi pembumian semakin kecil, seperti yang ditunjukkan pada saat konsentrasi air pada arang kayu sebesar 20 %.