

**STUDI PEMANFAATAN ARANG KULIT BUAH KAKAO UNTUK
MENURUNKAN RESISTANSI PENTANAHAN JENIS ELEKTRODA
PLAT BERBENTUK LINGKARAN**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD NADIR
NIM. 125060301111020

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN ARANG KULIT BUAH KAKAO UNTUK MENURUNKAN RESISTANSI PENTANAHAN JENIS ELEKTRODA PLAT BERBENTUK LINGKARAN

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD NADIR
NIM. 125060301111020

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Mei 2016

Dosen Pembimbing I

Drs. Ir. Mochammad Dhofir, M.T.

NIP. 19600701 1990021 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Hery Purnomo, M.T.

NIP. 19550708 198212 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Azis Muzlim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

STUDI PEMANFAATAN ARANG KULIT BUAH KAKAO UNTUK
MENURUNKAN RESISTANSI PENTANAHAN JENIS ELEKTRODA
PLAT BERBENTUK LINGKARAN

Nama Mahasiswa : Muhammad Nadir
NIM : 125060301111020
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Drs. Ir. Mochammad Dhofir, M.T.

Anggota : Ir. Hery Purnomo, M.T.

TIM DOSEN PENGUJI :

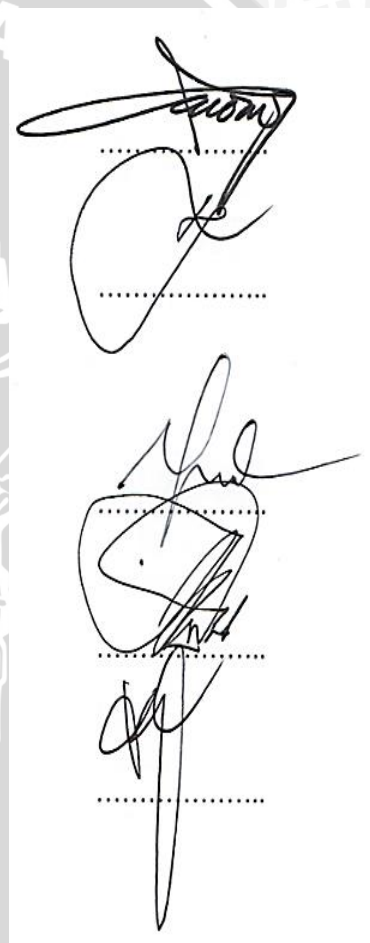
Dosen Penguji I : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

Dosen Penguji II : Ir. Soemarwanto, M.T.

Dosen Penguji III : Ir. Teguh Utomo, M.T.

Tanggal Ujian : 13 Mei 2016

SK Penguji : 590/UN10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 02 Mei 2016

Mahasiswa



Muhammad Nadir

NIM. 125060301111020



RINGKASAN

Muhammad Nadir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Mei 2016. *Studi Pemanfaatan Arang Kulit Buah Kakao Untuk Menurunkan Resistansi Pentanahan Jenis Elektroda Plat Berbentuk Lingkaran*. Dosen Pembimbing : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. dan Ir. Hery Purnomo, M.T.

Skripsi ini menguraikan hasil penelitian tentang perlakuan terhadap tanah dengan menggunakan arang kulit buah kakao untuk menurunkan resistansi pentanahan jenis elektroda plat berbentuk lingkaran. Elektroda plat berbentuk lingkaran yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 model dengan variasi ukuran diameter yang berbeda yaitu 25 cm, 50 cm, 75 cm, dan 100 cm. Elektroda yang digunakan terbuat dari aluminium dengan tebal 1,5 mm. Pada penelitian ini dilakukan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm hingga 100 cm dengan penanaman kedalaman elektroda sebesar 100 cm dan variasi kedalaman penanaman elektroda 20 cm hingga 100 cm. Pengukuran nilai resistansi pentanahan dilakukan dengan metode 3 titik menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester Model 4105A*.

Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dapat mempengaruhi nilai resistansi pentanahan. Semakin tebal penambahan arang kulit buah kakao pada rentang 20 cm sampai 100 cm yang ditambahkan maka nilai resistansi pentanahan semakin kecil, untuk nilai resistansi pentanahan paling kecil pada elektroda model D dengan diameter 100 cm pada ketebalan penambahan 100 cm sebesar 11,7 ohm. Sedangkan semakin dalam penanaman elektroda pada penanaman 20 cm sampai 100 cm maka semakin kecil nilai resistansi pentanahan dengan melakukan perlakuan terhadap tanah menggunakan arang kullit buah kakao, untuk nilai resistansi pentanahan paling kecil pada elektroda model D pada kedalaman penanaman 100 cm sebesar 11,7 ohm. Dan semakin besar ukuran diameter elektroda pada setiap kedalaman dan ketebalan penambahan maka semakin kecil nilai resistansi pentanahannya.

Kata kunci – arang kulit buah kakao, elektroda plat berbentuk lingkaran, resistansi pentanahan

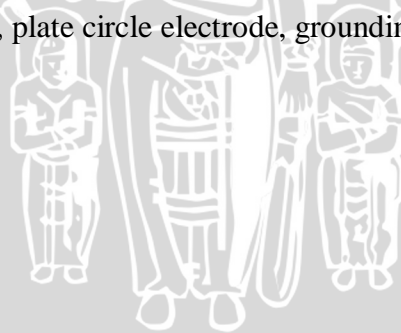
SUMMARY

Muhammad Nadir, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. May 2016. *Cocoa Shell Charcoal Utilization Study to Reduce Grounding Resistance with Plate Circle Electrode*. Academic Supervisor : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. and Ir. Hery Purnomo, M.T.

This thesis describe the results of research about soil treatment using cocoa shell charcoal to reduce grounding resistance with plate circle electrode. Plate circle electrode that used in this research consists of four models with a variety of diameter size of 25 cm, 50 cm, 75 cm and 100 cm. The electrodes used are made of aluminum with a thickness 1,5 mm. In this research observed the effect of the thickness cocoa shell charcoal addition 20 cm to 100 cm in 100 cm depth electrode implantation and the depth of electrode implantation variations of 20 cm to 100 cm. Measurement of grounding resistance value is using the 3-point method with a measuring instrument Earth Resistance Tester Model 4105 A.

From the analysis we concluded that the thickness of cocoa shell charcoal addition can affect grounding resistance value. The thicker cococal shell charcoal addition are added in range 20 cm until 100 cm then the smaller grounding resistance value, for most small grounding resistance value at the electrode D models with diameter of 100 cm in thickness addition 100 cm is 11,7 ohm. The greater depth of the electrode implantation in range 20 cm until 100 cm then the smaller grounding resistance value by the soil treatment with cocoa shell charcoal, for most small grounding resistance value at the electrode D models at a depth of electrode implantation 100 cm is 11,7 ohm. And the larger the diameter size of electrode at any depth and thickness of the addition, the smaller the grounding resistance value.

Keywords – cocoa shell charcoal, plate circle electrode, grounding resistance



PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Studi Pemanfaatan Arang Kulit Buah Kakao Untuk Menurunkan Resistansi Pentanahan Jenis Elektroda Plat Berbentuk Lingkaran” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Ir. Moch Dhofir, M.T. dan Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
4. Ibu Sapriesty Nainy Sari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta Ayahanda Prayitno dan Ibunda Sulastri yang selalu memberikan kasih sayang dan do'anya yang tiada akhir, serta kakak tercinta Mbak Diah Astutik, dan Mas Saiful atas segala macam dukungan yang telah diberikan.
6. Seluruh Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah turut andil memberikan memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman angkatan 2012 (Voltage), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2012) yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
8. Seluruh anggota Electroauto Forschungteam (Mobil Listrik) yang telah memberikan pengalaman dan pembelajaran selama perkuliahan ini.
9. Seluruh teman-teman BK atas bantuan, motivasi, kerjasama, dan kebersamaan dalam proses pengerjaan skripsi.

10. Teman-teman Praktek Kerja Lapangan di PLTU Pacitan atas kerjasama dan pengalaman selama praktek dan perkuliahan.
11. Keluarga dari Agus Setiyono atas bantuannya yang telah meminjami lahan sekitar rumahnya sebagai tempat pengujian dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa dsebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dan diharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 02 Mei 2016

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sifat Kimia Arang Kulit Buah Kakao.....	5
2.2. Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao.....	6
2.3. Sistem Pentanahan.....	7
2.4. Resistivitas Tanah.....	8
2.5. Resistansi Pentanahan.....	10
2.6. Heterogenitas Lapisan Tanah.....	10
2.7. Jenis Elektroda Pentanahan.....	12
2.7.1. Elektroda Batang.....	12
2.7.2. Elektroda Plat.....	13
2.7.3. Elektroda Pita.....	14
2.8. Bahan dan Ukuran Elektroda Pentanahan.....	15
2.8.1. Bahan Elektroda Pentanahan.....	15
2.8.2. Ukuran Elektroda Pentanahan.....	15
BAB III. METODE PENELITIAN	17
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2. Studi Literatur.....	18
3.3. Variabel Penelitian.....	18
3.4. Perencanaan Penelitian.....	18
3.5. Objek Uji.....	19

3.6.	Alat Ukur.....	19
3.7.	Penentuan Resistivitas Tanah.....	20
3.8.	Penentuan Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao.....	21
3.9.	Rangkaian Pengukuran Resistansi Pentanahan.....	21
3.10.	Analisis Hasil Pengujian.....	22
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1.	Pengambilan Data.....	25
4.2.	Penentuan Resistivitas Tanah.....	25
4.3.	Penentuan Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao.....	25
4.4.	Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi.....	26
4.4.1.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi.....	27
4.4.2.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi.....	28
4.4.3.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi.....	30
4.4.4.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi.....	32
4.5.	Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao.....	34
4.5.1.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao.....	35
4.5.2.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao.....	36
4.5.3.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao.....	38
4.5.4.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao.....	40
4.6.	Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Model A, B, C, D dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi dan Arang Kulit Buah Kakao.....	42
4.7.	Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda.....	45
4.7.1.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda.....	45
4.7.2.	Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda.....	47

4.7.3. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda.....	48
4.7.4. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda.....	49
4.8. Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Model A, B, C, D dengan Variasi Kedalaman Elektroda.....	51
4.9. Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Plat Berbentuk Lingkaran dengan Variasi Diameter Lingkaran	53
4.10. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan Berdasarkan Heterogenitas Lapisan Tanah dan Arang Kulit Buah Kakao dengan Elektroda Model A.....	55
4.10.1. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 20 cm.....	55
4.10.2. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 40 cm.....	57
4.10.3. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 60 cm.....	59
4.10.4. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 80 cm.....	61
4.10.5. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 20 cm	63
4.10.6. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 40 cm	65
4.10.7. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 60 cm	67
4.10.8. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 80 cm	69
4.10.9. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan atau Kedalaman Elektroda 100 cm	71
BAB V. PENUTUP	75
5.1. Kesimpulan.....	75
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Media pengukuran resistivitas arang kulit buah kakao	6
Gambar 2. 2	Pengaruh kelembaban, temperatur, dan kandungan garam terhadap nilai resistivitas tanah.....	9
Gambar 2. 3	Komposisi resistansi pentanahan jenis elektroda batang	10
Gambar 2. 4	Heterogenitas lapisan tanah	11
Gambar 2. 5	Elektroda batang tunggal.....	13
Gambar 2. 6	Elektroda plat tunggal	14
Gambar 3. 1	Diagram alir penelitian.....	17
Gambar 3. 2	Variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran	19
Gambar 3. 3	Digital <i>earth resistance tester</i> model 4105 A.....	20
Gambar 3. 4	Rangkaian untuk menentukan resistivitas tanah dengan metode 4 titik	20
Gambar 3. 5	Rangkaian untuk menentukan resistivitas arang kulit buah kakao	21
Gambar 3. 6	Rangkaian pengukuran resistansi pentanahan	21
Gambar 3. 7	Tampak samping ketebalan penambahan tanah lokasi pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm	22
Gambar 3. 8	Tampak samping variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm	23
Gambar 3. 9	Tampak samping variasi kedalaman penanaman elektroda pentanahan dengan media arang kulit buah kakao	24
Gambar 4. 1	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model A pada ketebalan penambahan tanah lokasi 20 cm	27
Gambar 4. 2	Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model A	28
Gambar 4. 3	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model B pada ketebalan penambahan tanah lokasi 40 cm	29
Gambar 4. 4	Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model B	30
Gambar 4. 5	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model C pada ketebalan penambahan tanah lokasi 60 cm	31
Gambar 4. 6	Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model C	32
Gambar 4. 7	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model D pada ketebalan penambahan tanah lokasi 80 cm	33
Gambar 4. 8	Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model D	34
Gambar 4. 9	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm.....	35
Gambar 4. 10	Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model A	36
Gambar 4. 11	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model B pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 40 cm.....	37

Gambar 4. 12	Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model B	38
Gambar 4. 13	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model C pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 60 cm.....	39
Gambar 4. 14	Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model C	40
Gambar 4. 15	Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model D pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 60 cm.....	41
Gambar 4. 16	Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model D	42
Gambar 4. 17	Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D	43
Gambar 4. 18	Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model A	46
Gambar 4. 19	Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model B	47
Gambar 4. 20	Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model C	49
Gambar 4. 21	Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model D	50
Gambar 4. 22	Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda plat berbentuk lingkaran model A, B, C, D	51
Gambar 4. 23	Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 20 cm.....	55
Gambar 4. 24	Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 40 cm.....	57
Gambar 4. 25	Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 40 cm.....	59
Gambar 4. 26	Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 80 cm.....	61
Gambar 4. 27	Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 20 cm	63
Gambar 4. 28	Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 40 cm	65
Gambar 4. 29	Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 60 cm	67
Gambar 4. 30	Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 80 cm	69
Gambar 4. 31	Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang atau kedalaman elektroda 100 cm	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Hasil analisis beberapa bahan arang dari limbah pertanian	5
Tabel 2. 2	Nilai resistivitas berbagai jenis tanah	8
Tabel 2. 3	Beberapa sifat logam murni	15
Tabel 2. 4	Ukuran-ukuran minimum elektroda pentanahan	16
Tabel 4. 1	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi	27
Tabel 4. 2	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi	29
Tabel 4. 3	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi	31
Tabel 4. 4	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi	33
Tabel 4. 5	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao	35
Tabel 4. 6	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao	37
Tabel 4. 7	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao	39
Tabel 4. 8	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao	41
Tabel 4. 9	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi dan arang kulit buah kakao	43
Tabel 4. 10	Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao	45
Tabel 4. 11	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	46
Tabel 4. 12	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	47
Tabel 4. 13	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	48
Tabel 4. 14	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	50
Tabel 4. 15	Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	51
Tabel 4. 16	Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda	53
Tabel 4. 17	Hasil pengukuran resistansi pentanahan dengan variasi diameter elektroda pada ketebalan penambahan dan kedalaman penanaman elektroda	54

Tabel 4. 18	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 20 cm	56
Tabel 4. 19	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 20 cm	57
Tabel 4. 20	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 40 cm	58
Tabel 4. 21	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 40 cm	59
Tabel 4. 22	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 60 cm	60
Tabel 4. 23	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 60 cm	61
Tabel 4. 24	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 80 cm	62
Tabel 4. 25	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 80 cm	63
Tabel 4. 26	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 20 cm	64
Tabel 4. 27	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 20 cm	65
Tabel 4. 28	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 40 cm	66
Tabel 4. 29	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 40 cm	67
Tabel 4. 30	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 60 cm	68
Tabel 4. 31	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 60 cm	69
Tabel 4. 32	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 80 cm	70
Tabel 4. 33	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 60 cm	71
Tabel 4. 34	Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada variasi 100 cm	72
Tabel 4. 35	Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada variasi 100 cm	73



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....80





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang berperan penting bagi kehidupan sehari-hari dalam berbagai sektor, seperti rumah tangga, industri, pendidikan, kesehatan, dan pemerintahan. Energi listrik yang kita gunakan pada umumnya telah melewati beberapa proses, yaitu pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Proses ini terhubung dari satu titik ke titik yang lain menggunakan kawat penghantar yang sangat panjang, sehingga sangat peka terhadap gangguan akibat surja petir, surja hubung, atau hubung singkat. Gangguan-gangguan tersebut dapat menyebabkan penurunan tegangan, ketidakstabilan sistem, merusak peralatan elektronik, dan dapat membahayakan jiwa manusia. Oleh karena itu diperlukan suatu pengamanan sistem berupa sistem pentanahan yang baik pada peralatan.

Dalam sistem pentanahan, semakin kecil nilai resistansi pentanahan maka kemampuan sistem untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah semakin besar karena arus cenderung menuju ke impedansi yang kecil. Sistem pentanahan yang ideal memiliki nilai resistansi mendekati nol. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi memiliki daerah kelistrikan yang luas. Saluran transmisi dibagi menjadi 2 yaitu saluran udara dan saluran bawah tanah. Kawat penghantar saluran udara dipasang pada tower transmisi yang ditanahkan untuk menghindari gangguan. Standar yang telah ditentukan untuk pentanahan daerah yang kelistrikannya luas seperti pentanahan tower pada saluran transmisi harus memiliki nilai resistansi pentanahan lebih rendah dari 1 ohm. Sistem yang memiliki daerah kelistrikan yang lebih kecil dari saluran transmisi adalah sistem distribusi. Pada sistem ini titik netral dan bagian badan dari peralatan sistem distribusi perlu ditanahkan. Untuk sistem distribusi sering digunakan nilai resistansi pentanahan maksimum adalah 5 ohm. Di beberapa tempat, resistansi sebesar 5 ohm mungkin sudah cukup memadai pengamanan peralatan listrik tanpa banyak gangguan, sedangkan di lain tempat mungkin sangat sulit dicapai tahanan pentanahan dibawah 100 ohm [Abdul Hadi, 1994 :154].

Resistansi dari sistem pentanahan tergantung pada konfigurasi dari elektroda pentanahan dan kondisi tanah. Resistivitas dan permitivitas tergantung pada komposisi mineral dalam tanah. Selain itu, resistivitas dan permitivitas tanah juga tergantung pada kandungan kimia atau solusi lain. Pada penelitian sebelumnya dilakukan perlakuan tanah menggunakan air, garam, dan karbon sebagai solusi dan persentasenya dari 2,5% sampai

15% untuk menurunkan resistansi pentanahan. Perlakuan tanah dengan air akan efektif jika persentase air lebih dari 7,5% dan resistivitas akan turun sampai 30%. Perlakuan tanah menggunakan karbon tidak efektif untuk mengurangi resistivitas tapi larutan garam lebih efektif daripada yang lainnya, dengan 2,5% larutan garam resistivitas akan turun kurang dari 10%. Solusi lain yang bisa dilakukan untuk menurunkan nilai resistivitas pentanahan adalah mengubah konfigurasi dari elektroda pentanahan [Bambang Anggoro dkk, 2006].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang penggunaan arang tempurung kelapa sebagai media perlakuan tanah untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan, dimana arang ini dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan dari 10,97 ohm menjadi 4,73 ohm [Lucky Dedy, 2013]. Salah satu bahan pembuat arang dan limbah perkebunan cukup potensial di Indonesia adalah limbah kulit buah kakao. Pada tahun 2013 Indonesia memproduksi 720.862 ton buah kakao per tahun dengan luas lahan sekitar 1.740.612 ha [Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014].

Kulit buah kakao mengandung kalium sebesar 0,47 %. Kalium merupakan salah satu unsur larutan garam. Kandungan kalium yang terkandung pada kulit buah kakao ini lebih besar daripada yang dimiliki tempurung kelapa, dimana tempurung kelapa mengandung kalium sebesar 0,01 % [Nurida dkk, 2008].

Oleh karena itu akan dilakukan penelitian terhadap nilai resistansi pentanahan dengan penambahan arang kulit buah kakao untuk mengamati penurunan nilai resistansi pentanahan jenis elektroda plat berbentuk lingkaran.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Berapa besar pengaruh penambahan ketebalan arang kulit buah kakao terhadap nilai resistansi pentanahan jenis elektroda plat berbentuk lingkaran.
2. Berapa besar pengaruh kedalaman penanaman elektroda plat berbentuk lingkaran terhadap nilai resistansi pentanahan.
3. Berapa besar pengaruh diameter elektroda plat berbentuk lingkaran terhadap nilai resistansi pentanahan.

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Elektroda plat berbentuk lingkaran terbuat dari bahan aluminium dengan tebal 1,5 mm

2. Metode pengukuran resistansi pentanahan menggunakan metode 3 titik
3. Ukuran partikel arang kulit buah kakao dibuat sama yaitu sebesar 4 mm
4. Jenis tanah yang dilakukan pada penelitian adalah jenis tanah kerikil basah
5. Arang kulit buah kakao yang digunakan adalah arang dalam kondisi kering
6. Variabel dalam penelitian ini adalah kedalaman penanaman elektroda pentanahan, diameter elektroda pentanahan, dan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao.

1.4. Tujuan

Penyusunan penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berapa besar penurunan nilai resistansi pentanahan dengan penambahan arang kulit buah kakao pada elektroda plat berbentuk lingkaran.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini meliputi :

- **BAB I. PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan dalam penelitian ini.

- **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas tentang dasar teori yang mendukung penelitian dalam penyusunan penelitian.

- **BAB III. METODE PENELITIAN**

Membahas tentang metode atau cara yang akan digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penyusunan skripsi.

- **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi uraian tentang hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan ruang lingkup penelitian.

- **BAB V. PENUTUP**

Berisi uraian tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dapat menjelaskan secara langsung apa yang dilakukan dalam penelitian.

- **DAFTAR PUSTAKA**

Memaparkan tentang sumber-sumber literatur yang digunakan dalam penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sifat Kimia Arang Kulit Buah Kakao

Salah satu limbah perkebunan yang cukup potensial di Indonesia adalah limbah kulit buah kakao. Pada tahun 2013 Indonesia memproduksi 720.862 ton buah kakao per tahun dengan luas lahan sekitar 1.740.612 ha. Dengan besarnya jumlah buah kakao yang diproduksi tiap tahunnya di Indonesia mengakibatkan limbah kulit dari buah kakao itu sendiri jumlahnya sangat besar. Hal ini coba dimanfaatkan sebagai salah satu keuntungan untuk mengolah limbah kulit buah kakao menjadi arang yang dapat mengurangi nilai resistansi pentanahan suatu sistem kelistrikan. Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan jalan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil, terutama dengan cara membakar bahan pembuat arang. Arang kulit buah kakao merupakan arang yang berasal dari limbah kulit buah kakao yang telah dibakar. Pada umumnya arang kulit buah kakao yang telah dibakar mengandung kadar air (7,99%), kadar abu (13,65%), zat mudah terbang (24,05%), karbon terikat (45,36%), kerapatan (0,96 g/cm³), dan nilai kalori (4163,11 kal/g) [Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014]. Hasil analisis bahan arang dari limbah pertanian ditunjukkan pada Tabel 2.1.

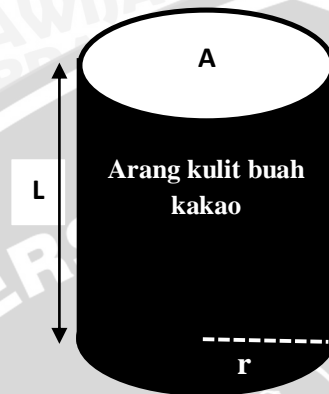
Tabel 2. 1 Hasil analisis beberapa bahan arang dari limbah pertanian

Variabel	Tempurung Kelapa	Kulit Buah Kakao	Tempurung Kelapa Sawit	Sekam Padi
C-organik total (%)	24,33	37,5	37,53	35,98
Asam humat (%)	0,56	0,91	2,1	0,79
Asam sulfat (%)	0,71	3,31	2,36	1,57
Kadar abu (%)	2,09	13,65	10,04	27,05
Kadar N (%)	0,20	1,91	1,09	0,73
C/N ratio	122	20	34	49
Kadar P (%)	0,02	0,4	0,09	0,14
Kadar K (%)	0,01	0,47	0,01	0,03

Sumber : Nurida NL dkk., 2008 : 214

2.2. Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao

Salah satu sifat listrik yang dimiliki arang kulit buah kakao adalah resistivitas. Resistivitas merupakan salah satu faktor yang menentukan nilai resistansi suatu bahan. Untuk mengukur nilai resistivitas dari arang digunakan pipa PVC sebagai media untuk menampung arang seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Media pengukuran resistivitas arang kulit buah kakao

Dari data-data yang didapatkan dari Gambar 2.1, maka nilai resistivitas arang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2) :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (2-1)$$

$$\rho = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot R}{L} \quad (2-2)$$

dengan :

R : nilai resistansi arang kulit buah kakao hasil pengukuran (ohm)

ρ : nilai resistivitas arang kulit buah kakao (ohm-cm)

L : tinggi arang kulit buah kakao yang terisi dalam pipa (cm)

A : luas penampang pipa (cm²)

r : jari-jari pipa (cm)

Resistivitas arang kulit buah kakao sangat dipengaruhi oleh kerapatan partikel arang dan kadar air yang terkandung dalam arang kulit buah kakao tersebut. Kerapatan adalah suatu besaran turunan dalam ilmu fisika yang secara umum lebih dikenal dengan massa jenis.

Maka dalam sebuah penelitian perlu diketahui kerapatan partikel arang kulit buah kakao. Untuk menentukan kerapatan arang kulit buah kakao dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-3).

$$K = \frac{m}{V} \quad (2-3)$$

dengan :

K : kerapatan arang kulit buah kakao (gram/cm³)

m : massa arang kulit buah kakao (gram)

V : volume arang kulit buah kakao dalam pipa (cm³)

2.3. Sistem Pentanahan

Salah satu faktor kunci dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Standar pentanahan yang biasa digunakan, telah banyak tertulis dalam laporan-laporan berbagai organisasi nasional yang berkaitan.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge currents*).
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Di beberapa tempat, resistansi pentanahan sebesar 5 ohm mungkin sudah cukup memadai tanpa banyak gangguan, sedangkan di lain tempat mungkin sangat sulit dicapai resistansi pentanahan dibawah 100 ohm. Beberapa standar yang telah disepakati adalah bahwa saluran transmisi *substasion* harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga resistansi pentanahan tidak melebihi 1 ohm. Dalam *substation-substation* distribusi, nilai resistansi maksimum yang diperbolehkan adalah 5 ohm. Dalam *substation-substation* (66 kV atau lebih), sistem kisi tanam untuk suatu *substation* akan memberikan resistansi pentanahan

yang diinginkan. Dalam sistem tersebut dapat timbul masalah, pada tegangan 33 kV atau lebih rendah, biasa digunakan pentanahan dengan elektroda batang.

Pada umumnya dalam sistem pentanahan selalu timbul keadaan-keadaan yang akan menyulitkan dalam memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan. Apabila timbul keadaan demikian dapat digunakan beberapa metode untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan, antara lain sistem-sistem batang paralel, sistem elektroda batang yang ditanam dengan beberapa elektroda, dan perlakuan terhadap kondisi kimiawi tanah. Metode-metode lain juga telah banyak diperkenalkan, yaitu plat tanam, penghantar tanam, dan beton kerangka baja yang secara listrik terhubung. Sejenis tanah liat yang dikenal sebagai *bentonite*, karena kemampuannya menyerap dan menahan air, dapat digunakan untuk mengurangi resistansi tanah tinggi, dalam orde 300 ohm atau lebih. [Abdul Hadi, 1994 :155]

2.4. Resistivitas Tanah

Jenis tanah sangat menentukan nilai resistivitas tanah. Tanah liat pada umumnya memiliki resistivitas yang terendah, namun pada kenyataannya nilai resistivitas tanah berbeda-beda tergantung konfigurasi dari tanah tersebut. nilai resistivitas dari berbagai jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

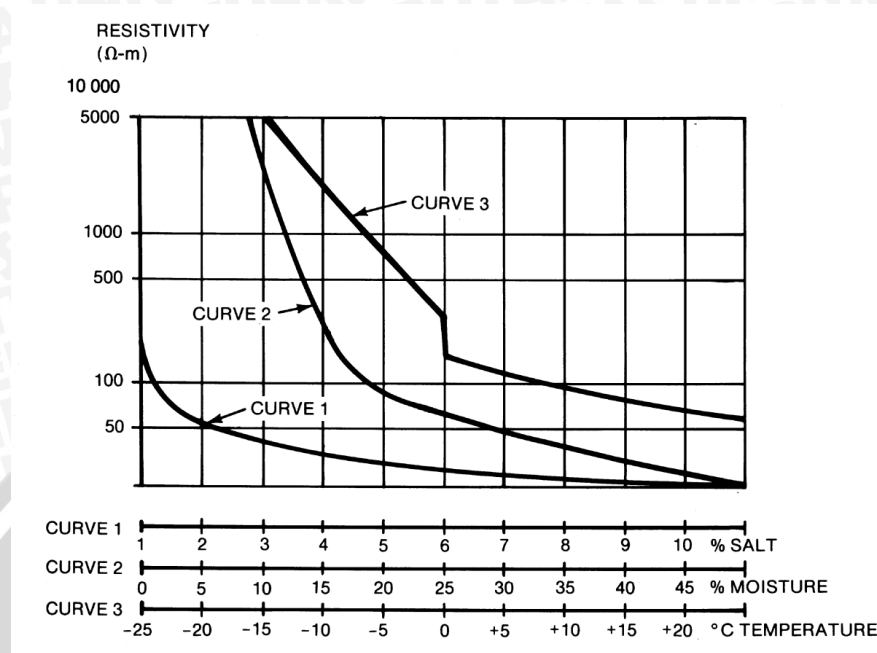
Tabel 2. 2 Nilai resistivitas berbagai jenis tanah

No	Jenis Tanah	Resistivitas Tanah (ohm-m)
1.	Tanah rawa	30
2.	Tanah liat dan tanah ladang	100
3.	Pasir basah	200
4.	Kerikil basah	500
5.	Pasir dan kerikil kering	1000
6.	Tanah berbatu	3000

Sumber : PUIL, 2000 : 80

Nilai resistivitas pada Tabel 2.2 merupakan suatu nilai perkiraan dari resistivitas berbagai jenis tanah. Sejumlah peneliti dari waktu ke waktu mengukur resistivitas berbagai jenis tanah baik melalui pengambilan contoh dan mengukurnya dalam piranti khusus maupun dengan pengukuran yang tak terpengaruh massa tanah. Keduanya bukan pengukuran gampang tetapi lebih memungkinkan untuk memberi hasil akurat. Sangat sulit untuk memastikan bahwa contoh yang diambil dari tanah dalam kondisi yang sama ketika

diukur sebagaimana ia ditempatkan. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan resistivitas tanah dengan kelembaban, kandungan garam, dan temperatur pada tanah.



Gambar 2.2 Pengaruh kelembaban, temperatur, dan kandungan garam terhadap nilai resistivitas tanah

Sumber : IEEE Std 80, 2000 : 50

Selain jenis tanah, pengaruh kandungan kimia dalam tanah juga ikut berperan menentukan nilai resistansi pentanahan. Pada persentase kelembaban, kandungan garam, dan temperatur yang tinggi, nilai resistivitasnya kecil. Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan konsentrasi kelembaban yang tinggi, maka nilai resistivitas akan turun dengan cepat. Nilai resistivitas tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-4).

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1} \quad (2-4)$$

dengan :

ρ : nilai resistivitas tanah (ohm-cm)

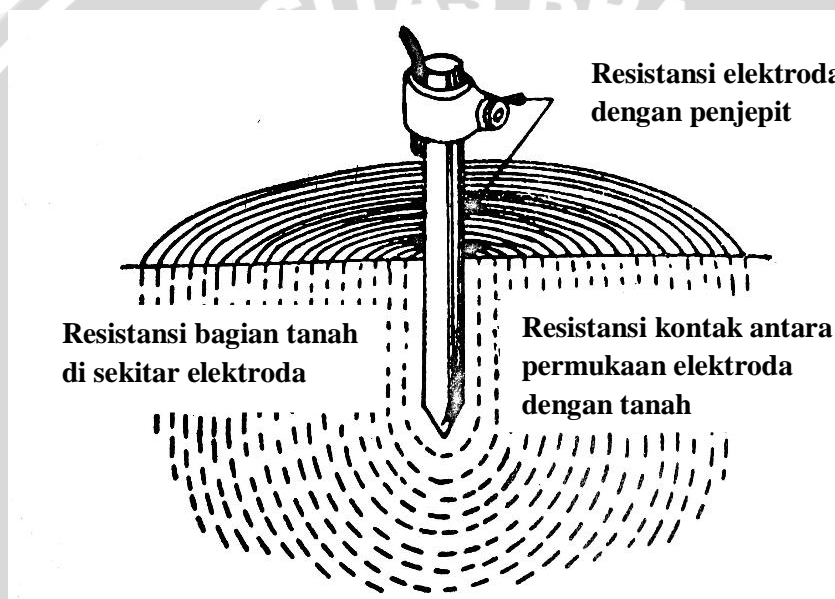
R : nilai resistansi tanah dari hasil pengukuran (ohm)

L_r : kedalaman penanaman elektroda batang (cm)

d : diameter elektroda batang (cm)

2.5. Resistansi Pentanahan

Nilai resistansi dari suatu sistem pentanahan merupakan komposisi dari resistansi elektroda pentanahan dengan penjepit, resistansi kontak antara permukaan elektroda pentanahan dengan tanah di sekitarnya, dan resistansi bagian tanah di sekitar elektroda pentanahan seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3. Umumnya resistansi elektroda pentanahan dan resistansi kontak nilainya kecil dan dapat diabaikan dengan resistansi bagian tanah di sekitar elektroda pentanahan. Hal tersebut dapat diabaikan apabila elektroda pentanahan bebas dari minyak maupun cat dan kontak antara tanah dengan elektroda pentanahan adalah sempurna tidak ada rongga udara. Dengan demikian resistansi yang paling menentukan harga resistansi sistem pentanahan adalah resistivitas tanah itu sendiri [G.F.Tagg, 1964 : 4].



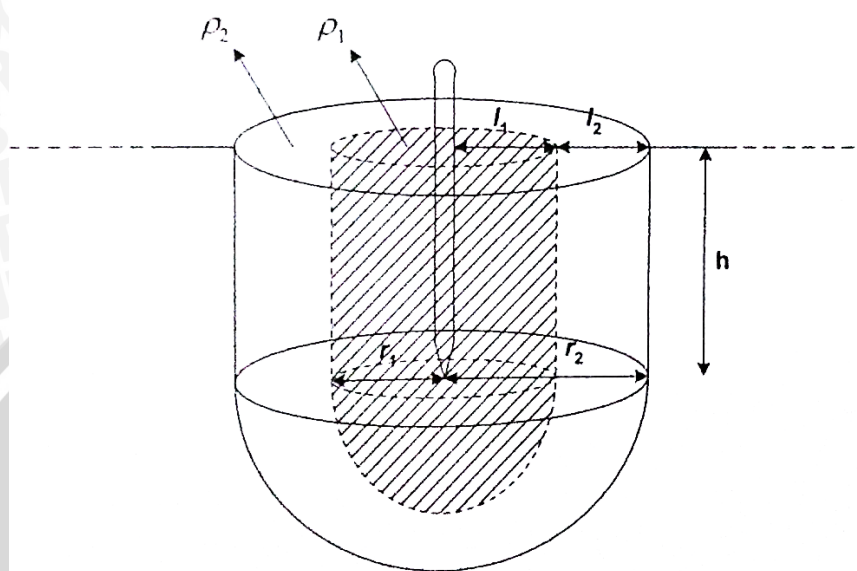
Gambar 2. 3 Komposisi resistansi pentanahan jenis elektroda batang

Sumber : Abdul Hadi, 1994

2.6. Heterogenitas Lapisan Tanah

Kandungan kimia tanah akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu menyangkut nilai resistivitas. Faktor luar tanah yang ikut menentukan nilai resistivitas (ρ) adalah campuran bahan lain seperti air, garam, larutan kimia, arang, dan sebagainya. Adanya perbedaan unsur kimia penyusun lapisan tanah mengakibatkan heterogenitas lapisan tanah [Roy, 1997]. Akibat dari heterogenitas lapisan tanah terhadap nilai resistansi tanah adalah perbedaan nilai resistansi tanah dari setiap lapisan tanah. Sehingga tidak mengherankan, apabila terkadang nilai resistivitas tanah yang seharusnya semakin kecil karena banyak mengandung air menjadi sama bahkan menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan nilai resistivitas tanah bagian atas.

Perbedaan nilai resistansi tanah pada setiap lapisan tanah dapat mempengaruhi nilai resistansi pentanahan. Perhitungan untuk pengaruh heterogenitas lapisan tanah untuk elektroda batang ditunjukkan pada Persamaan (2-5) sampai Persamaan (2-8) dengan mengacu pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Heterogenitas lapisan tanah

Sumber : Carpenter, 1999 : 6

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap tanah, sehingga nilai resistansi tanah untuk setiap lapisan tanah yang heterogen dapat dirumuskan dengan Persamaan (2-5) dan (2-6).

$$R_1 = \frac{\rho_1 \cdot l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 \cdot l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi r_1^2)} \quad (2-5)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 \cdot l_2}{A_2} = \frac{\rho_2 \cdot l_2}{(2\pi r_2 h + 2\pi r_2^2)} \quad (2-6)$$

Heterogenitas untuk setiap lapisan tanah jenis -n sesuai dengan Gambar 2.4 dapat dirumuskan dengan Persamaan (2-7).

$$R_n = \frac{\rho_n \cdot l_n}{A_n} = \frac{\rho_n \cdot l_n}{(2\pi r_n h + 2\pi r_n^2)} \quad (2-7)$$

Sehingga nilai resistansi pentanahan dengan mengabaikan nilai resistansi elektroda batang dan resistansi kontak antara elektroda batang dengan tanah dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-8) sebagai berikut :

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2-8)$$

dengan :

R_e : resistansi pentanahan (ohm)

R : resistansi tanah (ohm)

ρ : resistivitas tanah (ohm-cm)

l : tebal lapisan tanah (cm)

r : jari-jari lapisan tanah (cm)

A : luas rata-rata permukaan lapisan tanah (cm²)

h : kedalaman penanaman elektroda batang (cm)

n : jenis tanah - n

: 1,2,3,4.....dst.

2.7. Jenis Elektroda Pentanahan

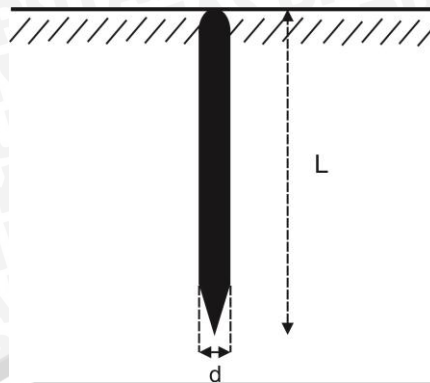
Elektroda pentanahan adalah elektroda yang terbuat dari bahan metal (biasanya dari bahan tembaga) yang ditanam dalam tanah yang digunakan untuk pentanahan untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah.

Elektroda-elektroda pentanahan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu : elektroda batang, elektroda plat, elektroda pita, dan juga elektroda yang lain [PUIL, 2000].

2.7.1. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah.. Panjang elektroda yang harus digunakan, disesuaikan dengan tahanan pentanahan yang diperlukan. Untuk memancangkan elektroda-elektroda ini sering digunakan palu lantak. Elektroda- elektroda tersebut dapat juga dimasukkan ke dalam tanah dengan getaran menggunakan palu kango. Elektroda batang ditanam pada tanah seperti ditunjukkan Gambar 2.5.

Jika tanah pada lokasi kering, kadang-kadang sangat sulit untuk mencapai resistansi penyebaran yang cukup rendah. Dalam hal ini, ada kalanya sifat-sifat tanah itu dapat diperbaiki dengan mengolahnya dengan bahan-bahan kimia.



Gambar 2. 5 Elektroda batang tunggal

Apabila digunakan beberapa elektroda batang yang dihubungkan paralel, jarak antara elektroda-elektroda ini harus sekurang-kurangnya 4 meter. Elektroda-elektroda itu tidak boleh berada dalam corong tegangan dari elektroda di sampingnya. Pentanahan dengan menggunakan elektroda batang juga disebut pentanahan dalam. Rumus resistansi pentanahan untuk elektroda batang-tunggal dapat dihitung dengan Persamaan (2-9).

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) \quad (2-9)$$

dengan :

ρ : resistivitas rata-rata tanah (ohm-cm)

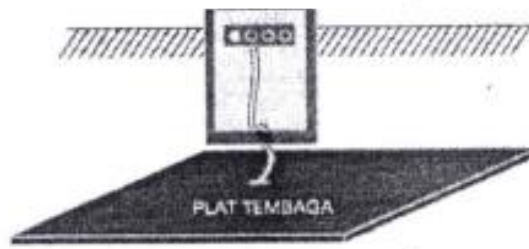
L : panjang elektroda pentanahan (cm)

d : diameter elektroda pentanahan (cm)

R : resistansi pentanahan (ohm)

2.7.2. Elektroda Plat

Elektroda plat dibuat dari plat logam, plat logam berlubang atau dari kawat kasa. Plat ini ditanam tegak lurus di dalam tanah, dengan tepi atasnya sekurang-kurangnya 1 meter di bawah permukaan tanah. Untuk memudahkan pada saat pengukuran resistansi pentanahan, maka elektroda plat yang ditanam di dalam tanah dihubungkan dengan kabel penghubung ke permukaan tanah seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Elektroda plat tunggal

Sumber : Berlianti, 2011

Luas plat yang harus digunakan tergantung pada resistansi pentanahan yang diperlukan. Pada umumnya selebar plat ukuran 1 m x 0,5 m sudah cukup. Kalau digunakan beberapa plat yang dihubungkan paralel untuk memperoleh resistansi pentanahan yang lebih rendah, jarak antara plat-plat ini harus sekurang-kurangnya 3 meter. Besar resistansi pentanahan pada elektroda plat tunggal dapat dihitung dengan Persamaan (2-10).

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (2-10)$$

dengan :

R : resistansi pentanahan (ohm)

A : luas penampang plat (cm²)

ρ : resistivitas tanah (ohm-cm)

2.7.3. Elektroda Pita

Elektroda pita dibuat dari hantaran berbentuk pipa, batang bulat, atau hantaran yang dipilin dan pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda pentanahan ini berbentuk radial, lingkaran atau suatu kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1.0 m.

Elektroda plat berbentuk radial harus disusun simetris, jumlah jari-jari yang digunakan tidak perlu lebih dari enam. Penambahan jari-jari melebihi jumlah ini tidak akan banyak mengurangi resistansi pentanahannya.

2.8. Bahan dan Ukuran Elektroda Pentanahan

2.8.1. Bahan Elektroda Pentanahan

Elektroda yang digunakan biasanya berasal dari bahan tembaga, plat besi, maupun baja yang digalvanisasi agar elektrodanya tidak mudah korosi. Bahan ini harus kuat, tahan pengaruh kimia, tahan pengaruh perubahan iklim dan tahan lama. Berikut merupakan sifat konduktivitas beberapa logam murni ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Beberapa sifat logam murni

Material	Conductivity (%)	T_m^a (°C)	K_f
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00
Copper, commercial hard-drawn	97.0	1084	7.06
Copper, commercial hard-drawn	97.0	250	11.78
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45
Copper-clad steel wire	30.0	1084	12.06
Copper-clad steel rod	20.0	1084	14.64
Aluminum EC Grade	61.0	657	12.12
Aluminum 5005 Alloy	53.5	652	12.41
Aluminum 6201 Alloy	52.5	654	12.47
Aluminum-clad steel wire	20.3	657	17.20
Steel 1020	10.8	1510	15.95
Stainless clad steel rod	9.8	1400	14.72
Zinc-coated steel rod	8.6	419	28.96
Stainless steel 304	2.4	1400	30.05

Sumber : IEEE std 80, 1986 : 44

2.8.2. Ukuran Elektroda Pentanahan

Ukuran minimum elektroda dapat dipilih menurut Tabel 2.4 dengan memperhatikan pengaruh korosi dan KHA (Kuat Hantar Arus). Jika keadaan tanah sangat korosif atau jika digunakan elektroda baja yang tidak digalvanisasi, dianjurkan untuk menggunakan luas penampang atau tebal sekurang-kurangnya 150 % dari yang tertera dalam Tabel 2.4.

Apabila elektroda pita hanya digunakan untuk mengatur gradien tegangan, luas penampang minimum pada baja digalvanisasi atau berlapis tembaga harus 16 mm² dan pada

tembaga 10 mm². Logam ringan hanya boleh ditanam dalam suatu jenis tanah jika lebih tahan korosi daripada baja atau tembaga.

Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektroda pentanahan, jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitas minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut [PUIL, 2000 : 82] :

- a. 4 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm²
- b. 10 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm² atau lebih.

Tabel 2. 4 Ukuran-ukuran minimum elektroda pentanahan

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
Elektroda pita	<ul style="list-style-type: none"> • Pita baja A = 100 mm² setebal minimum 3 mm • Penghantar pilin A = 95 mm² (bukan kawat halus) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pita baja A= 50 mm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Pita tembaga A = 50 mm² tebal minimum 2 mm • Penghantar pilin 35 mm² (bukan kawat halus)
Elektroda batang	<ul style="list-style-type: none"> • Pipa baja 25 mm • Baja profil 65 x 65 x 7 mm (batang profil lain yang setaraf) 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm 	
Elektroda plat	<ul style="list-style-type: none"> • Plat besi tebal 3 mm, A = 0,5 m² - 1 m² 		<ul style="list-style-type: none"> • Plat tembaga tebal 2 mm, A = 0,5 m² - 1 m²

Sumber : PUIL, 2000

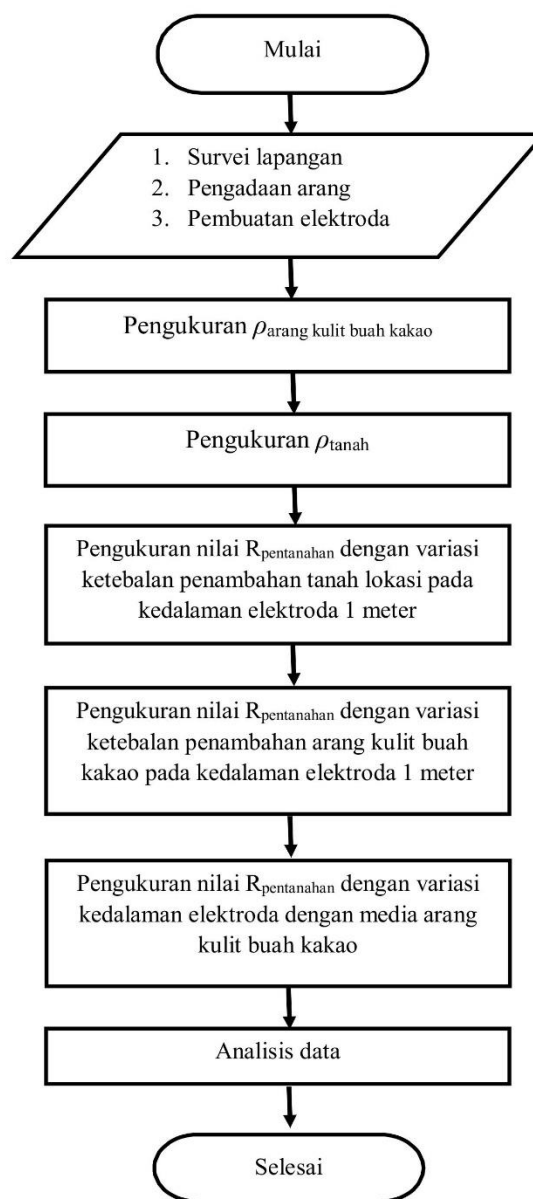
BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini terdiri dari beberapa langkah berikut :

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah pengujian mengacu pada diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2. Studi Literatur

Penelitian ini dibuat dengan memanfaatkan beberapa literatur baik dari buku referensi maupun hasil penelitian sebelumnya. Studi literatur ini berkaitan dengan :

- a. Sifat kimia arang kulit buah kakao
- b. Resistivitas arang kulit buah kakao
- c. Sistem pentanahan
- d. Resistivitas tanah
- e. Resistansi pentanahan
- f. Heterogenitas Lapisan Tanah
- g. Jenis elektroda pentanahan
- h. Bahan dan ukuran elektroda pentanahan

3.3. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang akan diamati, antara lain :

1. Berapa besar pengaruh penambahan ketebalan arang kulit buah kakao terhadap nilai resistansi pentanahan jenis elektroda plat berbentuk lingkaran.
2. Berapa besar pengaruh kedalaman penanaman elektroda plat berbentuk lingkaran terhadap nilai resistansi pentanahan.
3. Berapa besar pengaruh diameter elektroda plat berbentuk lingkaran terhadap nilai resistansi pentanahan.

3.4. Perencanaan Penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan penelitian untuk mencari karakteristik pengaruh penambahan arang kulit buah kakao terhadap perubahan nilai resistansi pentanahan ini meliputi :

1. Mempersiapkan lokasi pengujian
Pengujian dilakukan pada satu tempat penggalian dengan tujuan agar data yang diambil pada ketebalan penanaman elektroda pada kondisi tanah yang sama.
2. Mempersiapkan arang kulit buah kakao
Ukuran partikel arang kulit buah kakao dibuat seragam dengan menggunakan ayakan dengan dimensi 4 mm, agar nilai resistansi kontak antara permukaan elektroda plat berbentuk lingkaran dan tanah disekitarnya menjadi sangat kecil dan dapat diabaikan.

3. Mempersiapkan model elektroda

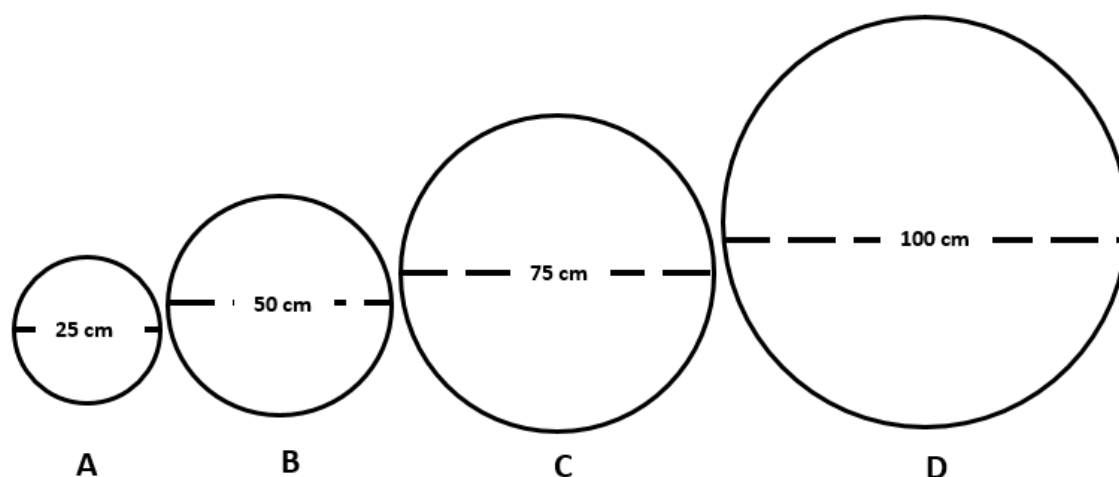
Elektroda plat yang digunakan terdiri dari 4 model dengan ukuran diameter yang berbeda-beda.

4. Metode Pengukuran

Dalam penelitian ini menggunakan metode 3 titik untuk mengukur resistansi pentanahan

3.5. Objek Uji

Pada penelitian ini obyek uji yang digunakan untuk mencari karakteristik pengaruh pemberian arang kulit buah kakao terhadap perubahan nilai resistansi pentanahan adalah elektroda plat berbentuk lingkaran. Elektroda plat ini ditanam dalam tanah bersama arang kulit buah kakao. Variabel yang diubah-ubah pada obyek uji adalah diameter elektroda. Ada 4 model variasi diameter elektroda pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran

3.6. Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah alat ukur digital *earth resistance tester* model 4105 A. Alat ukur ini dirancang menurut standar IEC. Selain untuk mengukur nilai resistansi pentanahan, alat ini juga dapat dipergunakan untuk mengukur nilai tegangan pentanahan. Tampilan dari alat ukur tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.3.

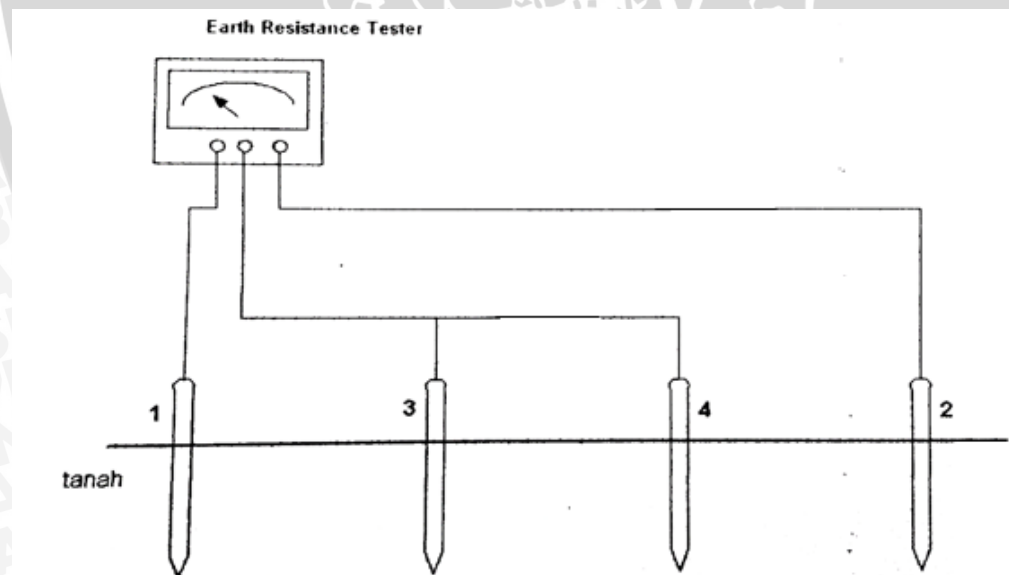


Gambar 3.3 Digital earth resistance tester model 4105 A

Sumber : Buku manual digital earth resistance tester model 4105 A

3.7. Penentuan Resistivitas Tanah

Untuk menentukan resistivitas tanah perlu diketahui nilai resistansi pentanahan menggunakan empat buah elektroda batang yang dihubungkan dengan *earth resistance tester* atau biasa disebut metode 4 titik, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4. Pada Gambar 3.4 angka 1 dan 2 menunjukkan elektroda bantu, sedangkan angka 3 dan 4 merupakan elektroda utama. Nilai resistivitas tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-4).

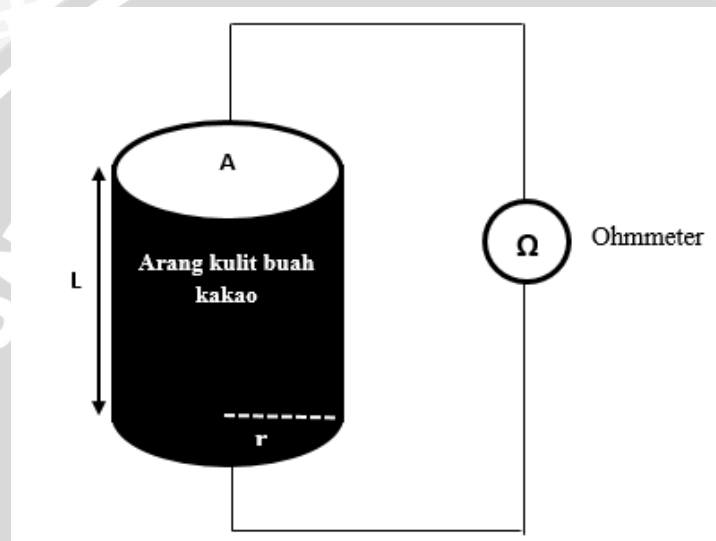


Gambar 3.4 Rangkaian untuk menentukan resistivitas tanah dengan metode 4 titik

Sumber : T.S.Hutauruk, 1999 : 142

3.8. Penentuan Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao

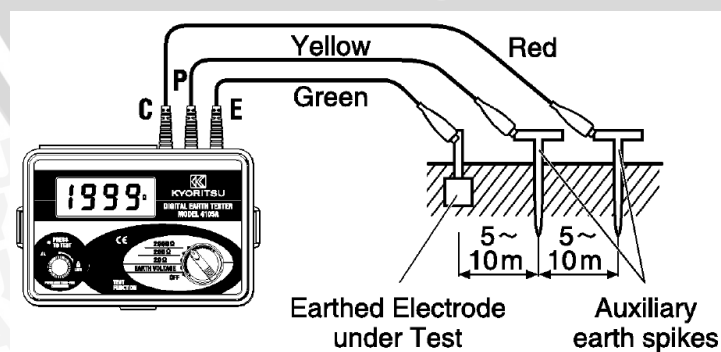
Nilai resistivitas arang kulit buah kakao yang akan digunakan sebagai media untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan dapat dihitung dengan Persamaan (2-2). Perlu diketahui nilai resistansi dari arang sebelum menentukan resistivitasnya. Pengukuran resistansi arang dilakukan dengan cara memasukkan partikel arang ke dalam pipa PVC dengan penutup aluminium pada setiap ujung pipa, setelah itu dihubungkan dengan ohmmeter dan dipasang kawat tembaga untuk mempermudah pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian untuk menentukan resistivitas arang kulit buah kakao

3.9. Rangkaian Pengukuran Resistansi Pentanahan

Pengukuran resistansi pentanahan jenis elektroda batang menggunakan metode 3 titik dengan menggunakan alat ukur yaitu *earth resistance tester* model 4105 A yang rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.6.



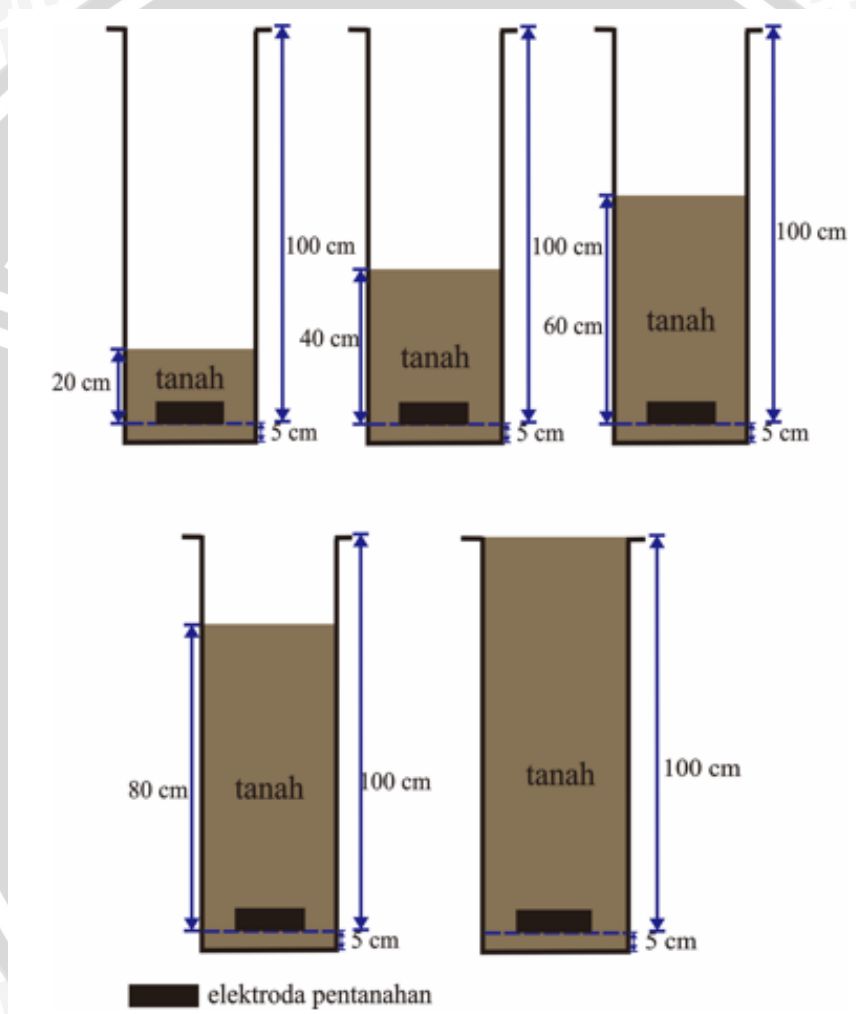
Gambar 3.6 Rangkaian pengukuran resistansi pentanahan

Sumber : Buku manual *earth resistance tester* model 4105 A

3.10. Analisis Hasil Pengujian

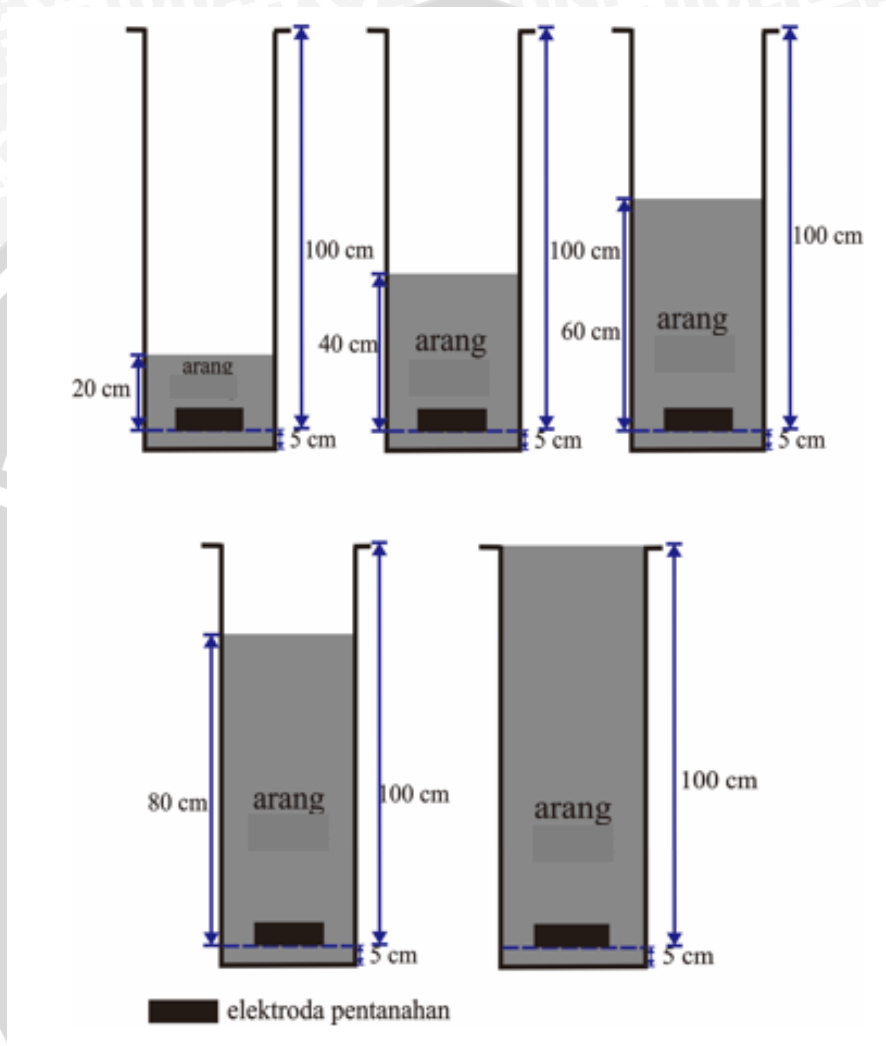
Setelah semua data yang diinginkan terkumpul maka dilakukan analisis data dan pembahasan dengan mengacu pada rumusan masalah. Berikut ini analisis data yang akan dilakukan dalam penelitian ini :

1. Mencari pengaruh ketebalan penambahan tanah lokasi dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model A, B, C, D terhadap nilai resistansi pentanahan pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7.



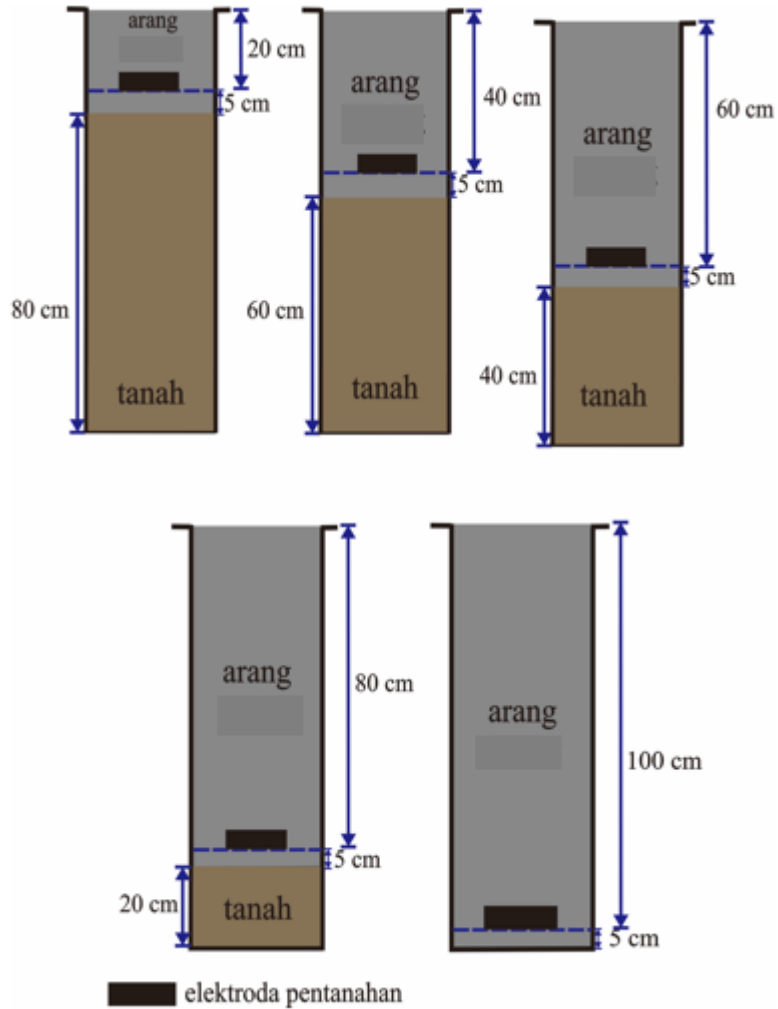
Gambar 3. 7 Tampak samping ketebalan penambahan tanah lokasi pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm

2. Mencari pengaruh ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model A, B, C, D terhadap nilai resistansi pentanahan pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Tampak samping variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm

3. Mencari pengaruh variasi kedalaman penanaman elektroda pentanahan terhadap nilai resistansi pentanahan dengan media arang kulit buah kakao, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Tampak samping variasi kedalaman penanaman elektroda pentanahan dengan media arang kulit buah kakao

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data

Penelitian dilaksanakan di lahan warga yang terletak di RT 05 RW 01 Kelurahan Bakalan Krajan, Kecamatan Sukun, Kota Malang, Jawa Timur pada musim hujan antara bulan Maret 2016 hingga April 2016 dengan kondisi tanah yang sedikit basah. Setelah diperoleh data-data dari hasil pengukuran di lapangan, maka langkah-langkah yang akan dilakukan adalah menghitung, menganalisis, dan menginterpretasikan ke dalam tabel maupun dalam bentuk grafik. Dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh variasi kedalaman penanaman elektroda, pengaruh ketebalan penambahan arang kulit buah kakao pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm, dan pengaruh variasi diameter dari elektroda plat berbentuk lingkaran terhadap nilai resistansi pentanahan. Arang kulit buah kakao yang digunakan adalah arang kulit buah kakao dalam kondisi kering. Ukuran partikel arang kulit buah kakao yang digunakan dibuat sama yaitu sebesar 4 mm.

4.2. Penentuan Resistivitas Tanah

Penentuan nilai resistivitas tanah diperoleh dari perhitungan hasil pengukuran pada Gambar 3.4 menggunakan Persamaan (2-4). Pada Gambar 3.4 digunakan elektroda batang yang ditanam sedalam (L_r) sebesar 1 m dengan diameter (d) sebesar 16 mm, dari hasil pengukuran besar resistansi pentanahan (R) adalah 246 ohm. Dengan data-data tersebut didapatkan nilai resistivitas tanah di sekitar tempat pengujian sebesar :

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1}$$

$$\rho = \frac{2\pi (1) (246)}{\left(\ln\frac{8(1)}{0,016}\right) - 1}$$

$$\rho = 296,41 \text{ ohm} - m$$

Jadi nilai resistivitas tanah di sekitar tempat pengujian adalah 296,41 ohm-m.

4.3. Penentuan Resistivitas Arang Kulit Buah Kakao

Dalam menentukan nilai resistivitas dari arang kulit buah kakao dilakukan pengukuran resistansi arang menggunakan rangkaian seperti yang ditunjukkan Gambar 3.5.

Nilai resistivitas dari arang kulit buah kakao dicari dengan memasukkan nilai resistansi yang didapatkan dari pengukuran ke dalam Persamaan (2-2).

Data yang digunakan dalam perhitungan resistivitas arang kulit buah kakao yaitu :

- r (jari-jari pipa PVC) : 5,14 cm
- l (tinggi pipa PVC) : 2 cm
- R (resistansi arang) : 210 ohm

Dengan menggunakan Persamaan (2-2), maka nilai resistivitas dari arang kulit buah kakao yaitu :

$$\rho = \frac{\pi r^2 \cdot R}{l} = \frac{3,14 \times 5,14^2 \times 210}{2}$$

$$\rho = 8714,56 \text{ ohm} - \text{cm}$$

$$\rho = 87,1456 \text{ ohm} - \text{m}$$

Nilai resistivitas arang kulit buah kakao dari hasil pengukuran di atas adalah 87,146 ohm-m, Jadi arang kulit buah kakao dapat digunakan sebagai media untuk menurunkan nilai resistansi pentanahan pada tanah lokasi karena tanah lokasi memiliki nilai resistivitas sebesar 296,41 ohm-m.

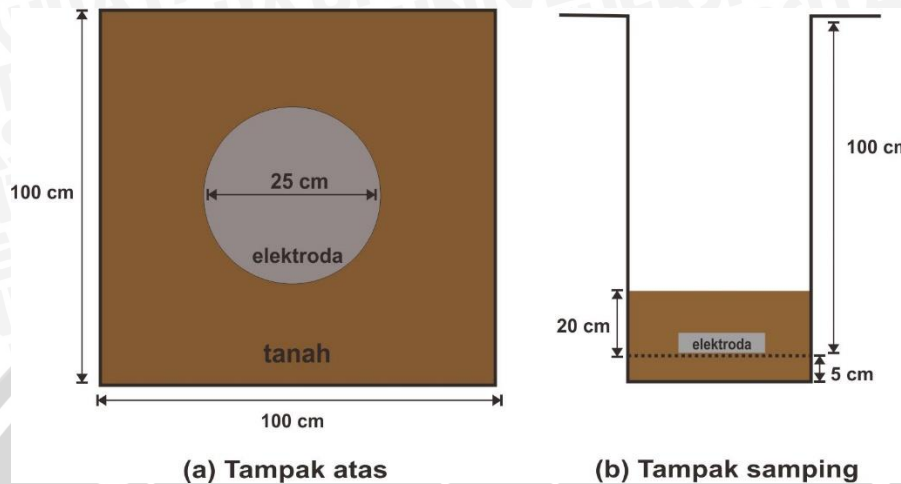
Resistivitas arang sangat dipengaruhi oleh kerapatan partikelnya. Dari masing-masing data hasil pengukuran secara umum dapat dilihat suatu kecenderungan yaitu semakin kecil kerapatan partikel arang tempurung kelapa pada ukuran partikel yang sama, maka resistivitasnya semakin besar. Dan apabila semakin besar kerapatan partikelnya arang tempurung kelapa pada ukuran partikel yang sama, maka resistivitasnya semakin kecil. Untuk menentukan kerapatan arang dapat digunakan Persamaan (2-3). (Yudistiro, 2008)

4.4. Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi

Penelitian ini menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran dengan bahan aluminium dengan tebal plat sebesar 1,5 mm. Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar resistansi pentanahan dengan ketebalan penambahan tanah yang bervariasi. Variasi ketebalan penambahan tanah sebesar 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, dan 100 cm dengan kedalaman penanaman elektroda pentanahan yang tetap sebesar 100 cm seperti yang ditunjukkan Gambar 3.7.

4.4.1. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model A pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.1.



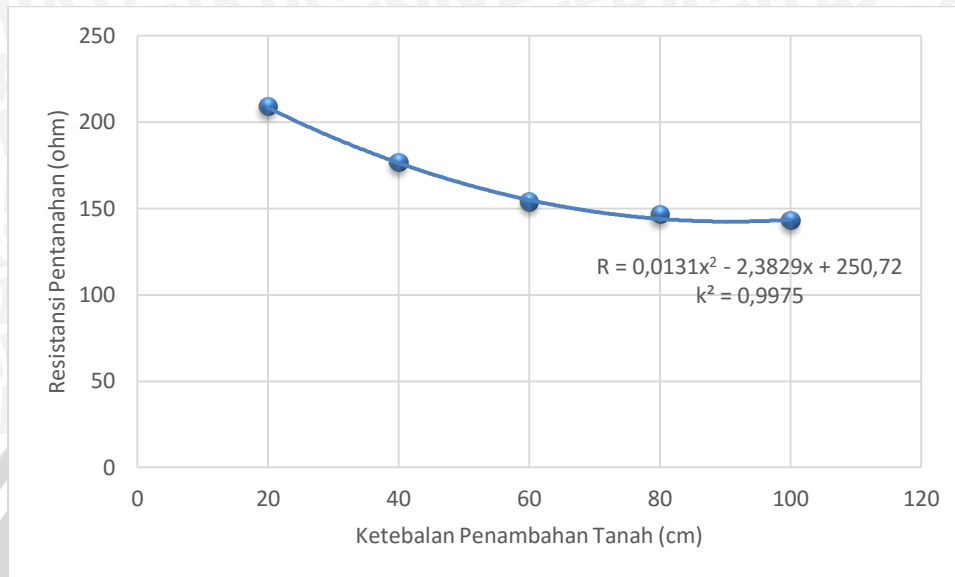
Gambar 4. 1 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model A pada ketebalan penambahan tanah lokasi 20 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model A pada ketebalan penambahan tanah lokasi dilakukan sebanyak 5 kali, variasi penambahan tanah ditunjukkan pada Gambar 3.7. Penambahan ketebalan tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama penambahan ketebalan tanah sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Tanah (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	208,6
	40	176,3
	60	153,4
	80	146,1
	100	142,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.

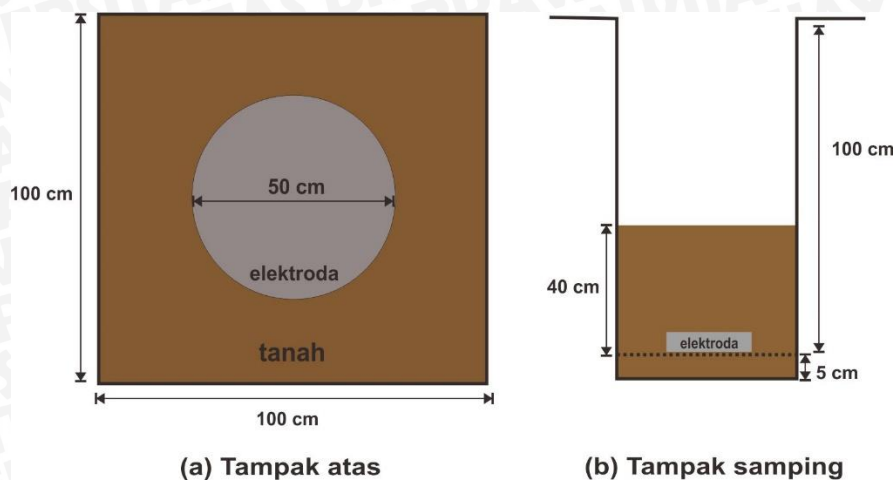


Gambar 4.2 Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model A

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 208,6 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan tanah 100 cm sebesar 142,7 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan tanah 20 cm menjadi ketebalan penambahan tanah 100 cm adalah 31,6 %. Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan tanah (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9975$ adalah $R = 0,0131x^2 - 2,3829x + 250,72$.

4.4.2. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model B pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m^2 dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.3.



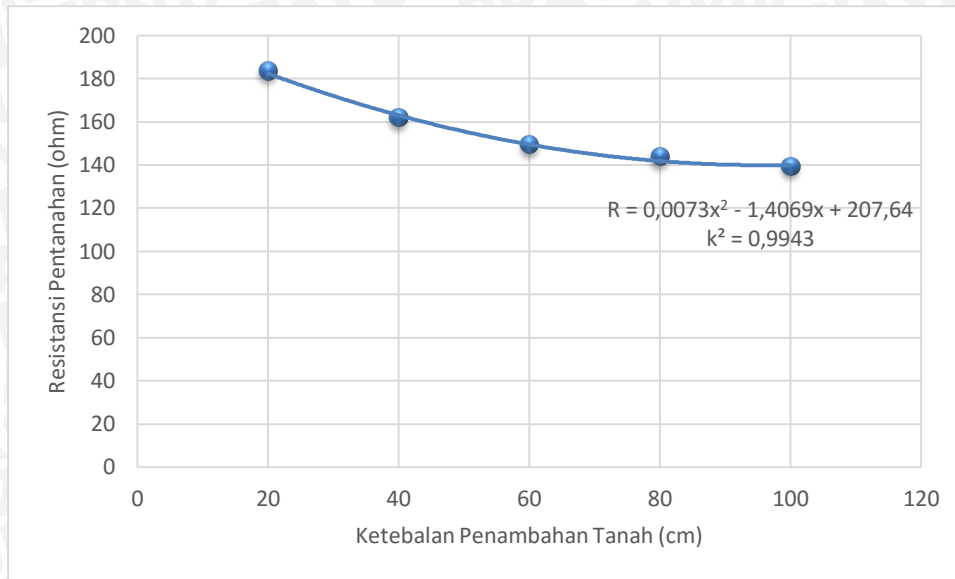
Gambar 4. 3 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model B pada ketebalan penambahan tanah lokasi 40 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model B pada ketebalan penambahan tanah lokasi dilakukan sebanyak 5 kali, variasi penambahan tanah ditunjukkan pada Gambar 3.7. Penambahan ketebalan tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama penambahan ketebalan tanah sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Tanah (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	183,2
	40	161,6
	60	149,2
	80	143,7
	100	139,1

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.

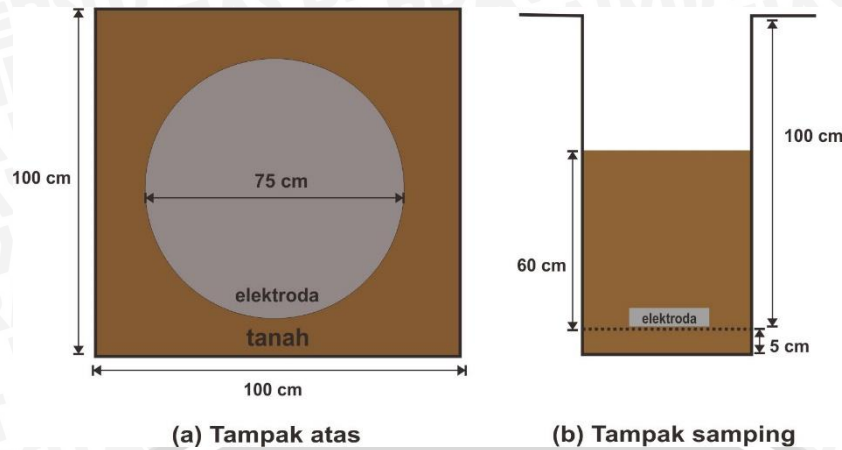


Gambar 4. 4 Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model B

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 183,2 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan tanah 100 cm sebesar 139,1 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan tanah 20 cm menjadi ketebalan penambahan tanah 100 cm adalah 24,07 %. Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan tanah (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9943$ adalah $R = 0,0073x^2 - 1,4069x + 207,64$.

4.4.3. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model C pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.5.



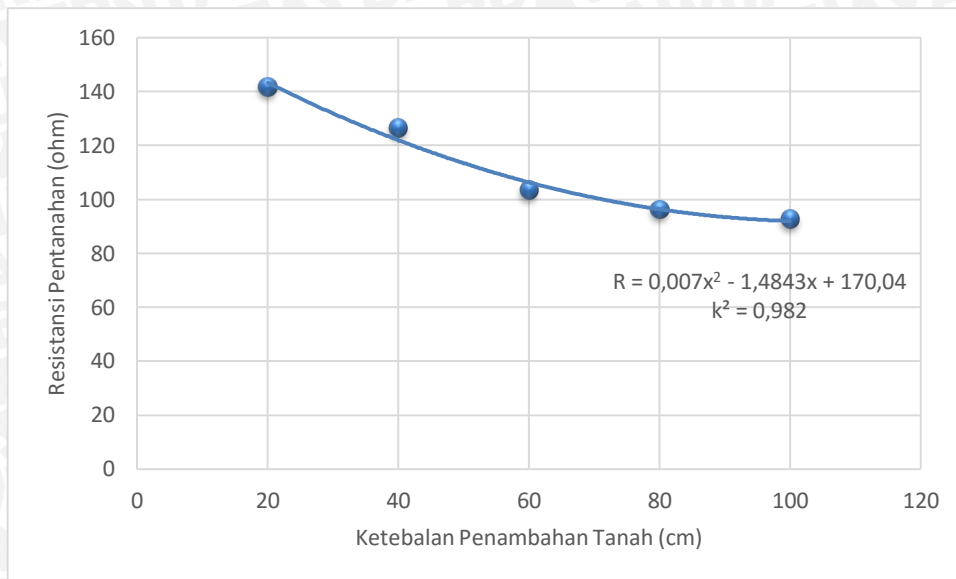
Gambar 4. 5 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model C pada ketebalan penambahan tanah lokasi 60 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model C pada ketebalan penambahan tanah lokasi dilakukan sebanyak 5 kali, variasi penambahan tanah ditunjukkan pada Gambar 3.7. Penambahan ketebalan tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama penambahan ketebalan tanah sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Tanah (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	141,5
	40	126,3
	60	103,2
	80	96,1
	100	92,6

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6.

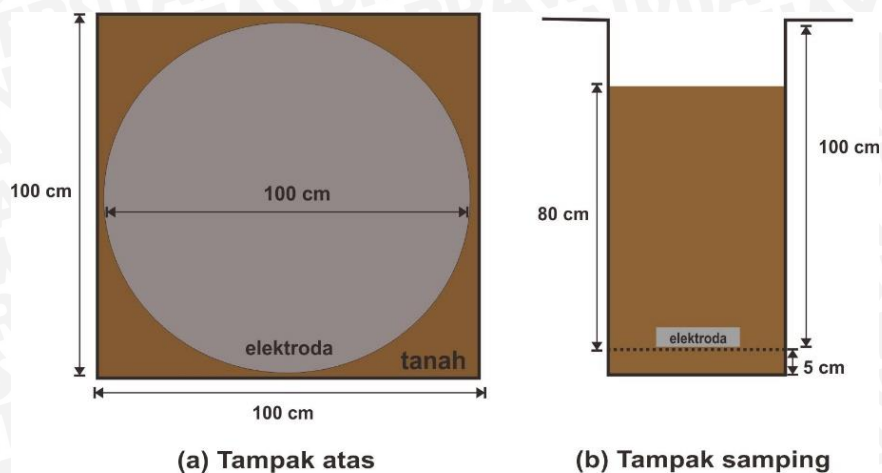


Gambar 4. 6 Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model C

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 141,5 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan tanah 100 cm sebesar 92,6 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan tanah 20 cm menjadi ketebalan penambahan tanah 100 cm adalah 34,55 %. Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan tanah (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,982$ adalah $R = 0,007x^2 - 1,484x + 170,04$.

4.4.4. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model D pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.7.



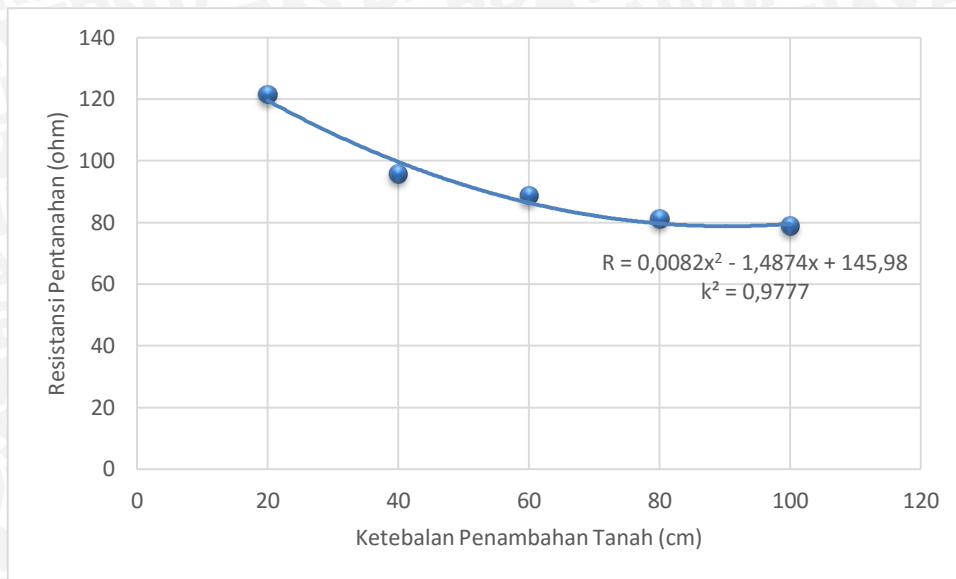
Gambar 4. 7 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model D pada ketebalan penambahan tanah lokasi 80 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model D pada ketebalan penambahan tanah lokasi dilakukan sebanyak 5 kali, variasi penambahan tanah ditunjukkan pada Gambar 3.7. Penambahan ketebalan tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama penambahan ketebalan tanah sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Tanah (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	121,2
	40	95,6
	60	88,5
	80	80,9
	100	78,6

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah terhadap resistansi pentanahan elektroda model D

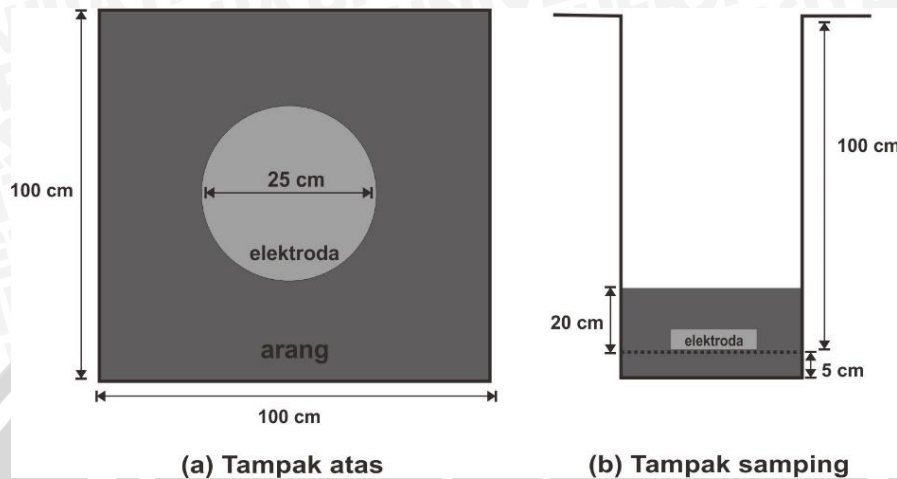
Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 121,2 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan tanah 100 cm sebesar 78,6 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan tanah 20 cm menjadi ketebalan penambahan tanah 100 cm adalah 35,15 %. Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan tanah (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9777$ adalah $R = 0,0082x^2 - 1,4874x + 145,98$.

4.5. Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao

Pada penelitian ini digunakan arang kulit buah kakao sebagai media untuk menurunkan resistansi pentanahan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran. Elektroda plat terbuat dari bahan aluminium dengan tebal plat sebesar 1,5 mm. Untuk mengetahui karakteristik dari ketebalan penambahan arang kulit buah kakao, maka penelitian ini menggunakan 4 model elektroda plat berbentuk lingkaran yang memiliki variasi ukuran diameter seperti pada Gambar 3.2.

4.5.1 Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model A pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.9.



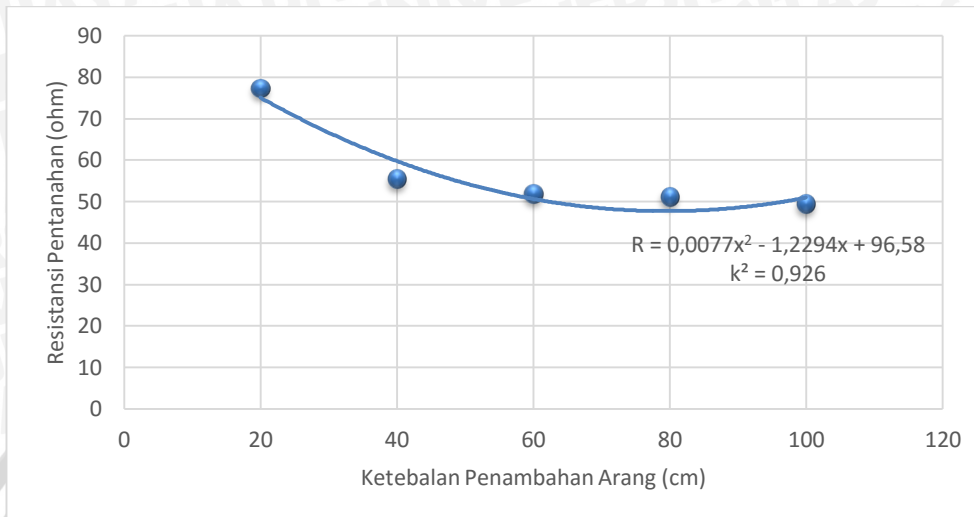
Gambar 4. 9 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dilakukan sebanyak 5 kali, variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao ditunjukkan pada Gambar 3.8. Penambahan ketebalan arang kulit buah kakao dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	77,2
	40	55,2
	60	51,7
	80	50,9
	100	49,2

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.

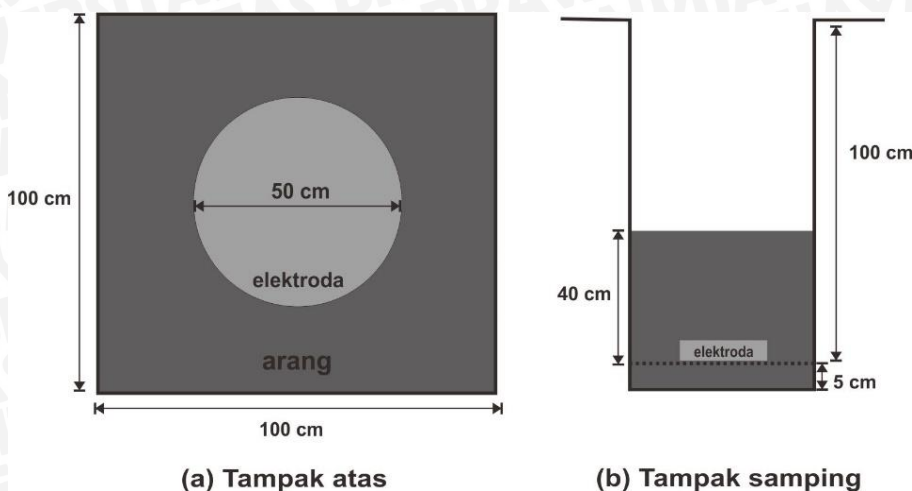


Gambar 4. 10 Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model A

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 77,2 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm sebesar 49,2 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm menjadi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm adalah 36,26 %. Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan arang kulit buah kakao (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,926$ adalah $R = 0,0077x^2 - 1,2294x + 96,58$.

4.5.2. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model B pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.11.



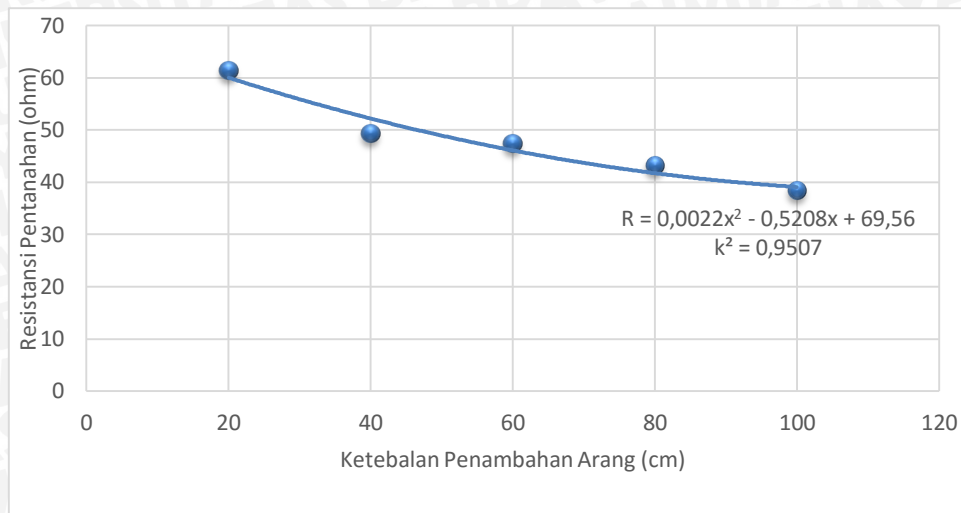
Gambar 4. 11 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model B pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 40 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model B pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dilakukan sebanyak 5 kali, variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao ditunjukkan pada Gambar 3.8. Penambahan ketebalan arang kulit buah kakao dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	61,3
	40	49,2
	60	47,3
	80	43,1
	100	38,2

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.

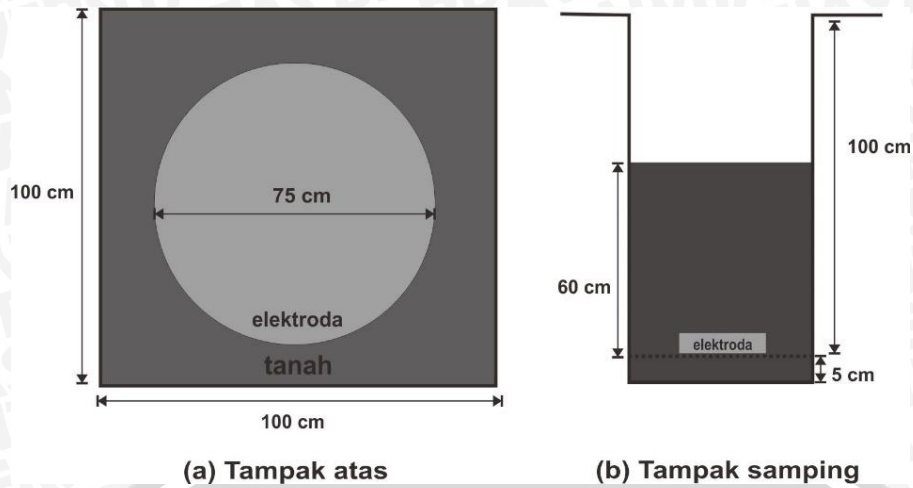


Gambar 4. 12 Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model B

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 61,3 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm sebesar 38,2 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm menjadi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm adalah 37,68 %. Berdasarkan Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan arang kulit buah kakao (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9507$ adalah $R = 0,0022x^2 - 0,5208x + 69,56$.

4.5.3. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model C pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m^2 dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.13.



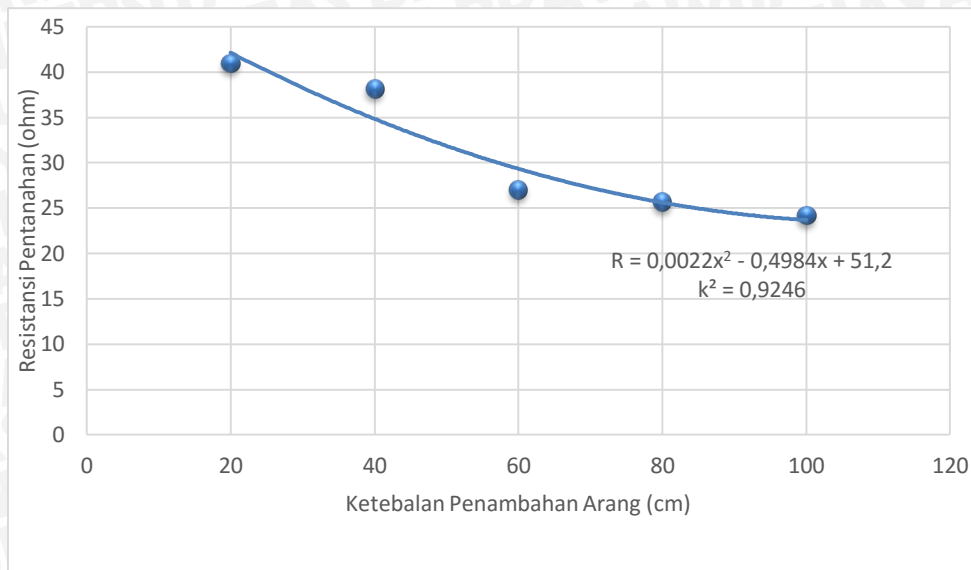
Gambar 4. 13 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model C pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 60 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model C pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dilakukan sebanyak 5 kali, variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao ditunjukkan pada Gambar 3.8. Penambahan ketebalan arang kulit buah kakao dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	40,9
	40	38,1
	60	26,9
	80	25,6
	100	24,1

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.

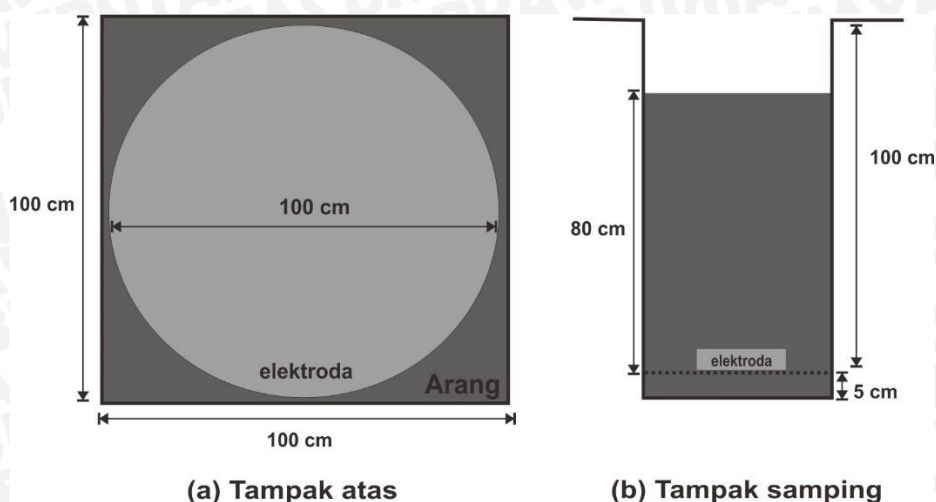


Gambar 4. 14 Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model C

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 40,9 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm sebesar 24,1 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm menjadi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm adalah 35,07 %. Berdasarkan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan arang kulit buah kakao (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9246$ yaitu $R = 0,0022x^2 - 0,4984x + 51,2$.

4.5.4. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao

Pengukuran resistansi elektroda plat berbentuk lingkaran model D pada tanah lokasi dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman 100 cm, seperti pada Gambar 4.15.



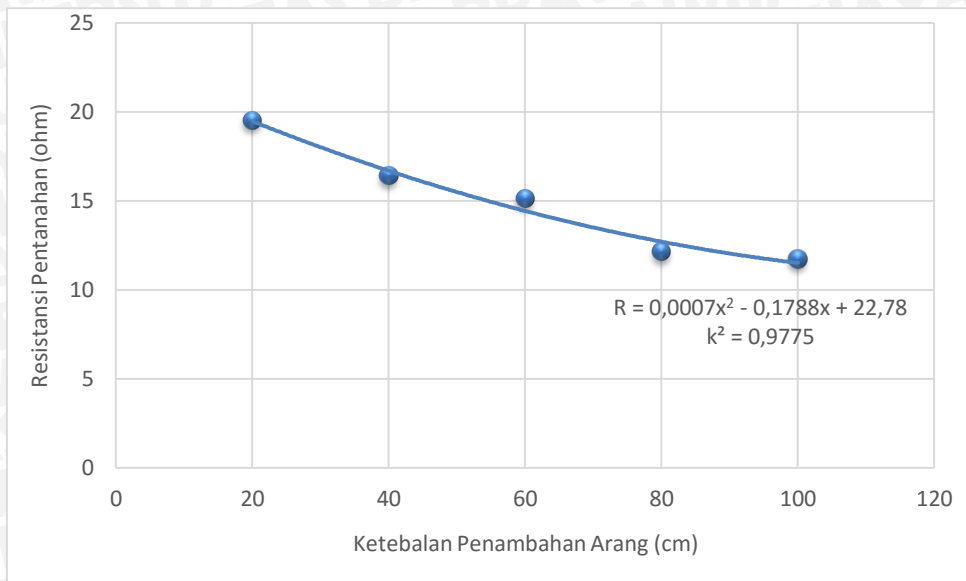
Gambar 4. 15 Tampak atas dan tampak samping peletakan elektroda model D pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 60 cm

Pengukuran resistansi pentanahan dengan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model D pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao dilakukan sebanyak 5 kali, variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao ditunjukkan pada Gambar 3.8. Penambahan ketebalan arang kulit buah kakao dilakukan secara bertahap dengan kedalaman penanaman elektroda tetap. Pertama ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 20 cm dari elektroda pentanahan, kedua 40 cm, ketiga 60 cm, keempat 80 cm, dan kelima 100 cm. Hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao

Kedalaman penanaman elektroda (cm)	Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
100	20	19,5
	40	16,4
	60	15,1
	80	12,1
	100	11,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Grafik hubungan ketebalan penambahan arang terhadap resistansi pentanahan elektroda model D

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada ketebalan penambahan tanah 20 cm sebesar 19,5 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm sebesar 11,7 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm menjadi ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm adalah 36,27 %. Berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap ketebalan penambahan arang kulit buah kakao (x) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9775$ adalah $R = 0,0007x^2 - 0,1788x + 22,78$.

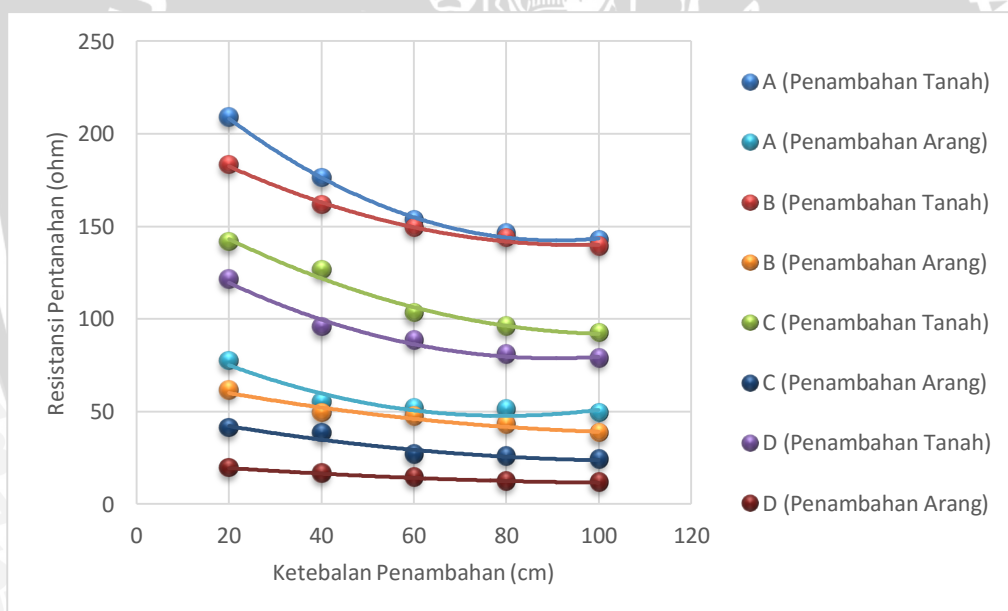
4.6. Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Model A, B, C, D dengan Variasi Ketebalan Penambahan Tanah Lokasi dan Arang Kulit Buah Kakao

Setelah diperoleh nilai resistansi pentanahan dari pengukuran, maka data tersebut dianalisis agar diketahui karakteristik perubahan resistansi pentanahan dari setiap penambahan ketebalan tanah dan arang kulit buah kakao pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm. Hasil pengukuran dengan berbagai variasi ketebalan penambahan tanah lokasi dan arang kulit buah kakao dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi ketebalan penambahan tanah lokasi dan arang kulit buah kakao

Ketebalan Penambahan (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)							
	Tanah Lokasi				Arang Kulit Buah Kakao			
	A	B	C	D	A	B	C	D
20	208,6	183,2	141,5	121,2	77,2	61,3	40,9	19,5
40	176,3	161,6	126,3	95,6	55,2	49,2	38,1	16,4
60	153,4	149,2	103,2	88,5	51,7	47,3	26,9	15,1
80	146,1	143,7	96,1	80,9	50,9	43,1	25,6	12,1
100	142,7	139,1	92,6	78,6	49,2	38,2	24,1	11,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.9, maka dapat dibuat grafik hubungan ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao terhadap nilai resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik hubungan ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao terhadap resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.17, maka terlihat bahwa ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan untuk semua model variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran. Untuk elektroda model A, dari hasil pengukuran pada ketebalan penambahan tanah 20 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 208,6 ohm yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling tinggi. Pada ketebalan penambahan arang kulit

buah kakao 100 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 11,7 ohm dengan menggunakan elektroda model D yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling rendah.

Berdasarkan Gambar 4.17 juga dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran elektroda plat berbentuk lingkaran pada ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao yang sama nilai resistansi pentanahannya mengalami penurunan yang signifikan. Nilai resistansi pentanahan pada semua model variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran mulai ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao 80 cm sampai 100 cm tidak mengalami perubahan yang cukup besar terhadap nilai resistansi pentanahannya. Hal ini berarti nilai resistansi pentanahan mengalami titik jenuh.

Apabila ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao 20 cm pada semua model variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran dijadikan acuan maka dapat dibuat tabel penurunan nilai resistansi pentanahan (ΔR) pada semua ketebalan penambahan. Misal untuk perhitungan ΔR (%) ketebalan penambahan tanah dari 20 cm ke 40 cm elektroda plat berbentuk lingkaran model A, maka besar ΔR (%) dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\Delta R_{\text{tanah}} (\%) = \frac{R_{20} - R_{40}}{R_{20}} \times 100\%$$

$$\Delta R_{\text{tanah}} (\%) = \frac{208,6 - 176,3}{208,6} \times 100\%$$

$$\Delta R_{\text{tanah}} (\%) = 15,48 \%$$

Dengan cara yang sama ΔR (%) untuk semua model variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran pada setiap perubahan ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao dapat dihitung seperti Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao

Ketebalan Penambahan (cm)	Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan							
	Tanah Lokasi				Arang Kulit Buah Kakao			
	A	B	C	D	A	B	C	D
	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)
Dari 20 ke 40	15,48	11,79	10,74	21,12	28,49	19,73	6,84	15,89
Dari 20 ke 60	26,46	18,55	27,06	26,98	33,03	22,83	34,22	22,56
Dari 20 ke 80	29,96	21,56	32,08	33,25	34,06	29,69	37,41	37,94
Dari 20 ke 100	31,59	24,07	34,55	35,14	36,26	37,68	41,07	40,00

Berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.10, terlihat bahwa semakin besar ketebalan penambahan tanah dan arang kulit buah kakao, maka besar prosentase penurunan nilai resistansi pentanahan semakin besar.

4.7. Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda

Pengukuran resistansi pentanahan elektroda plat berbentuk lingkaran pada pembahasan ini dilakukan dengan variasi kedalaman penanaman elektroda yang berbeda-beda yaitu 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, dan 100 cm dengan media arang kulit buah kakao untuk semua model elektroda seperti yang terlihat pada Gambar 3.7.

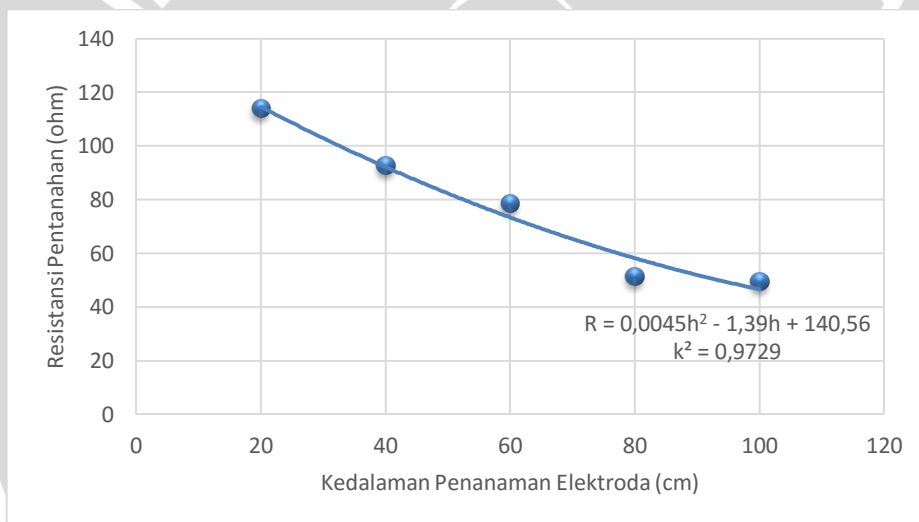
4.7.1. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model A dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda

Pengukuran resistansi elektroda model A dengan media arang kulit buah kakao dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman yang berbeda-beda. Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi kedalaman elektroda ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
20	113,6
40	92,4
60	78,3
80	51,2
100	49,2

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, maka dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda model A terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 18 Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model A

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm sebesar 113,6 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm sebesar 49,2 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari kedalaman penanaman elektroda 20 cm menjadi kedalaman penanaman elektroda 100 cm adalah 56,69 %. Berdasarkan Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap kedalaman penanaman elektroda (h) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9729$ adalah $R = 0,0045h^2 - 1,39h + 140,56$.

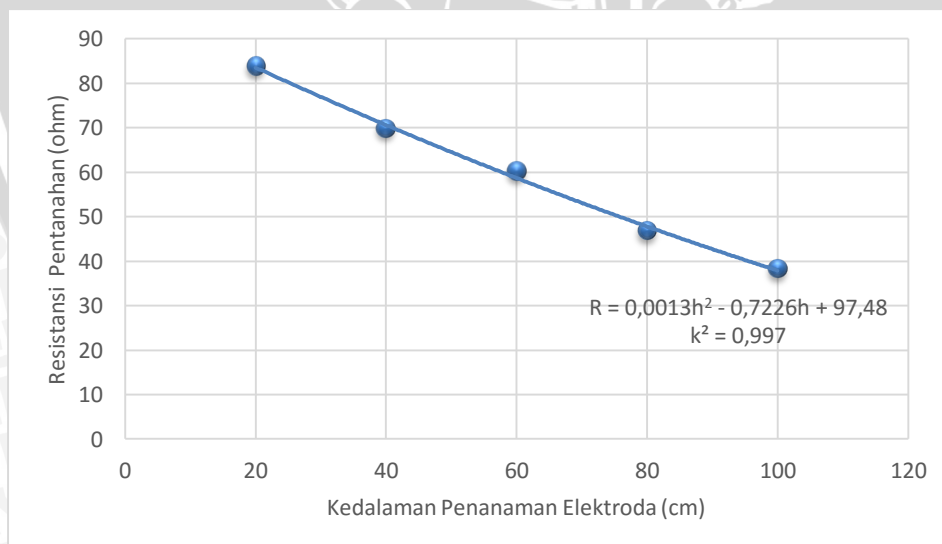
4.7.2. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model B dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda

Pengukuran resistansi elektroda model B dengan media arang kulit buah kakao dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman yang berbeda-beda. Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi kedalaman elektroda ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model B dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
20	83,7
40	69,8
60	60,1
80	46,7
100	38,2

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.12, maka dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda model B terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model B

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm sebesar 83,7 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada kedalaman penanaman elektroda 100

cm sebesar 38,2 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari kedalaman penanaman elektroda 20 cm menjadi kedalaman penanaman elektroda 100 cm adalah 54,36 %. Berdasarkan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap kedalaman penanaman elektroda (h) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,997$ adalah $R = 0,0013h^2 - 0,7226h + 97,48$.

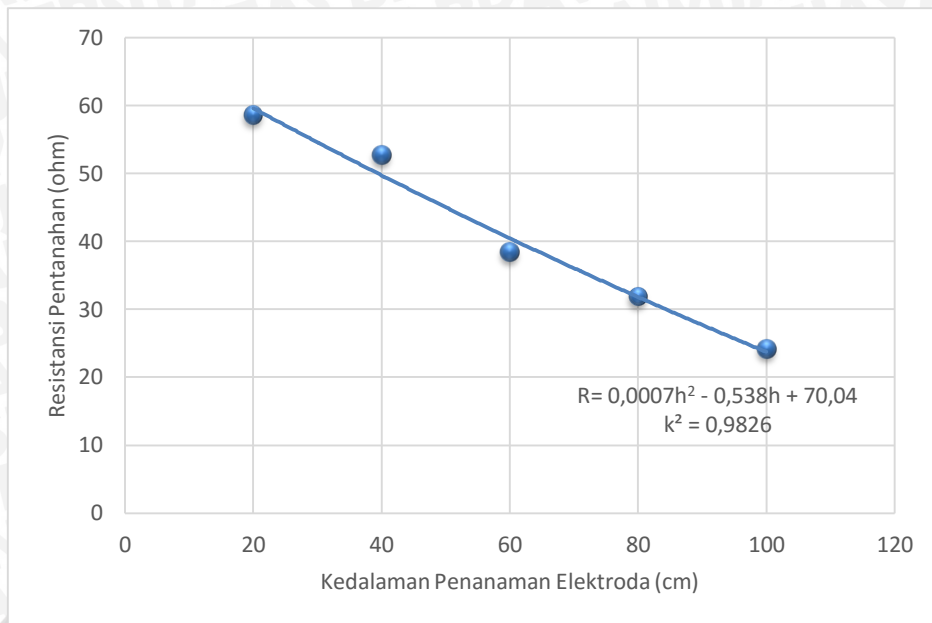
4.7.3. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model C dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda

Pengukuran resistansi elektroda model C dengan media arang kulit buah kakao dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman yang berbeda-beda. Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi kedalaman elektroda ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model C dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
20	58,5
40	52,6
60	38,3
80	31,8
100	24,1

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.13, maka dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda model C terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model C

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm sebesar 58,5 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm sebesar 24,1 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari kedalaman penanaman elektroda 20 cm menjadi kedalaman penanaman elektroda 100 cm adalah 58,8 %. Berdasarkan Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap kedalaman penanaman elektroda (h) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9826$ adalah $R = 0,0007h^2 - 0,538h + 70,04$.

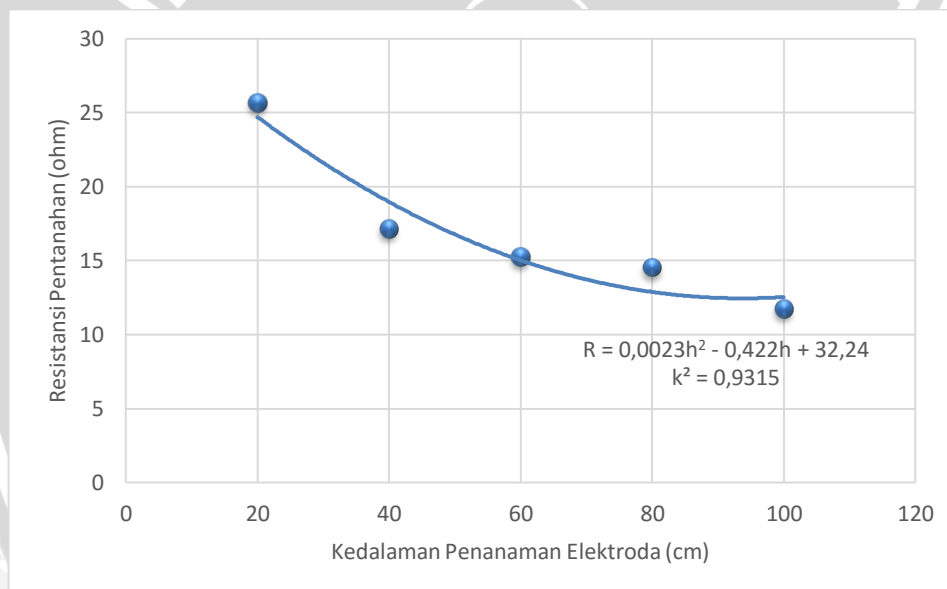
4.7.4. Pengukuran Resistansi Pentanahan Elektroda Model D dengan Variasi Kedalaman Penanaman Elektroda

Pengukuran resistansi elektroda model D dengan media arang kulit buah kakao dilakukan pada lahan seluas 1 m² dengan kedalaman yang berbeda-beda. Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi kedalaman elektroda ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)
20	25,6
40	17,1
60	15,2
80	14,5
100	11,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.14, maka dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda model D terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda model D

Dari hasil pengukuran ini didapatkan nilai resistansi pentanahan yang paling besar terletak pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm sebesar 25,6 ohm, sedangkan nilai resistansi pentanahan yang paling kecil terletak pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm sebesar 11,7 ohm. Dengan demikian penurunan nilai resistansi pentanahan dari kedalaman penanaman elektroda 20 cm menjadi kedalaman penanaman elektroda 100 cm adalah 54,29 %. Berdasarkan Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan (R) terhadap kedalaman penanaman elektroda (h) mengikuti *trendline polynomial* dengan kekuatan hubungan $k^2 = 0,9315$ adalah $R = 0,0023h^2 - 0,422h + 32,24$.

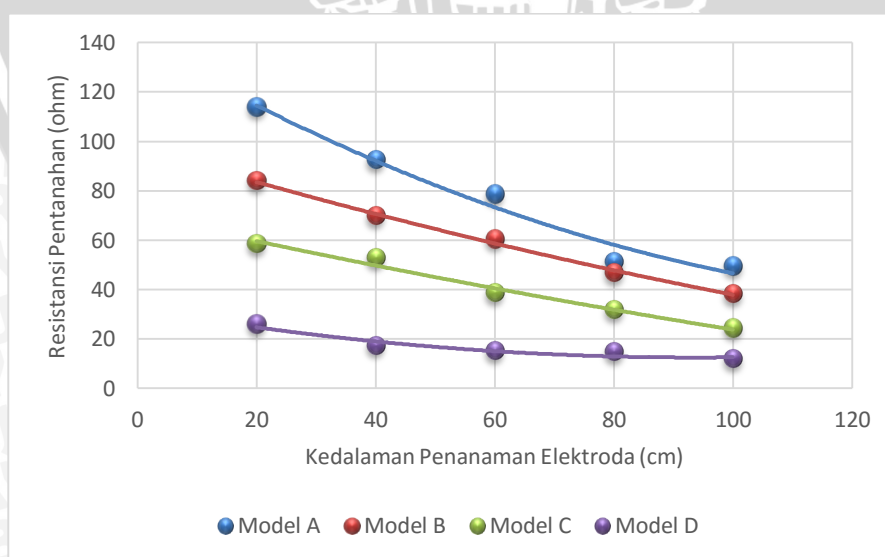
4.8. Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Model A, B, C, D dengan Variasi Kedalaman Elektroda

Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nilai-nilai resistansi pentanahan menggunakan elektroda plat berbentuk lingkaran model A, B, C, D dengan media arang kulit buah kakao dengan variasi kedalaman penanaman elektroda dari 20 cm sampai 100 cm. Hasil pengukuran dengan berbagai variasi kedalaman penanaman elektroda akan diketahui karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Hasil pengukuran resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)			
	Arang Kulit Buah Kakao			
	A	B	C	D
20	113,6	83,7	58,5	25,6
40	92,4	69,8	52,6	17,1
60	78,3	60,1	38,3	15,2
80	51,2	46,7	31,8	14,5
100	49,2	38,2	24,1	11,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.15, maka dapat dibuat grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Grafik hubungan kedalaman penanaman elektroda terhadap resistansi pentanahan elektroda plat berbentuk lingkaran model A, B, C, D

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.22, maka terlihat bahwa kedalaman penanaman elektroda dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan untuk semua variasi model elektroda. Dari hasil pengukuran ini pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm menggunakan arang kulit buah kakao didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 113,6 ohm untuk model A elektroda plat berbentuk lingkaran yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling tinggi. Pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 11,7 ohm untuk variasi model D elektroda plat berbentuk lingkaran yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling rendah.

Apabila kedalaman penanaman elektroda 20 cm pada semua variasi model elektroda plat berbentuk lingkaran dijadikan acuan maka dapat dibuat tabel penurunan nilai resistansi pentanahan (ΔR) pada semua kedalaman penanaman elektroda. Misal untuk perhitungan ΔR (%) kedalaman penanaman elektroda plat berbentuk lingkaran model A dari 20 cm ke 40 cm, maka besar ΔR (%) dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\Delta R_{\text{arang}} (\%) = \frac{R_{20} - R_{40}}{R_{20}} \times 100\%$$

$$\Delta R_{\text{arang}} (\%) = \frac{113,6 - 92,4}{113,6} \times 100\%$$

$$\Delta R_{\text{arang}} (\%) = 18,66 \%$$

Dengan cara yang sama ΔR (%) untuk semua model variasi diameter elektroda plat berbentuk lingkaran pada setiap perubahan kedalaman penanaman elektroda menggunakan arang kulit buah kakao dapat dihitung. Data perhitungan ΔR (%) ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda model A, B, C, D dengan variasi kedalaman penanaman elektroda

Kedalaman Penanaman (cm)	Penurunan Nilai Resistansi Pentanahan			
	Arang Kulit Buah Kakao			
	A	B	C	D
	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)	ΔR (%)
Dari 20 ke 40	18,66	16,60	10,08	33,20
Dari 20 ke 60	31,07	28,19	34,52	40,62
Dari 20 ke 80	41,41	44,20	45,64	43,35
Dari 20 ke 100	56,69	54,36	58,80	54,29

Berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.16, terlihat bahwa semakin besar kedalaman penanaman elektroda plat berbentuk lingkaran pada semua variasi model elektroda, maka besar prosentase penurunan nilai resistansi pentanahan semakin besar.

4.9. Karakteristik Resistansi Pentanahan Elektroda Plat Berbentuk Lingkaran dengan Variasi Diameter Lingkaran

Terdapat 4 model elektroda yang bervariasi pada ukuran diameter lingkarannya. Model elektroda pertama memiliki diameter berukuran 25 cm. Model elektroda kedua memiliki diameter berukuran 50 cm. Model elektroda ketiga memiliki diameter berukuran 75 cm. Model elektroda keempat memiliki diameter berukuran 100 cm. Variasi ukuran diameter elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pengukuran resistansi pentanahan elektroda plat berbentuk lingkaran dilakukan dengan variasi ketebalan penambahan yang berbeda-beda yaitu 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, dan 100 cm yang ditanam pada kedalaman 100 cm dan dengan variasi kedalaman penanaman elektroda yang berbeda-beda yaitu 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, dan 100 cm.

Tabel 4. 17 Hasil pengukuran resistansi pentanahan dengan variasi diameter elektroda pada ketebalan penambahan dan kedalaman penanaman elektroda

Elektroda	Nilai Resistansi Pentanahan (ohm)									
	Ketebalan Penambahan Arang Kulit Buah Kakao (cm)					Kedalaman Penanaman Elektroda (cm)				
	20	40	60	80	100	20	40	60	80	100
Model A	77,2	55,2	51,7	50,9	49,2	113,6	92,4	78,3	51,2	49,2
Model B	61,3	49,2	47,3	43,1	38,2	83,7	69,8	60,1	46,7	38,2
Model C	40,9	38,1	26,9	25,6	24,1	58,5	52,6	38,3	31,8	24,1
Model D	19,5	16,4	15,1	12,1	11,7	25,6	17,1	15,2	14,5	11,7

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pentanahan yang ditunjukkan pada Tabel 4.17, semakin besar ukuran diameter elektroda plat berbentuk lingkaran untuk ketebalan penambahan yang sama maka nilai resistansi pentanahan semakin kecil. Dari hasil pengukuran ini pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 20 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 77,2 ohm untuk model A elektroda plat berbentuk lingkaran dengan diameter 25 cm yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling tinggi. Pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao 100 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 11,7 ohm untuk model D elektroda plat berbentuk lingkaran dengan diameter 100 cm yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling rendah.

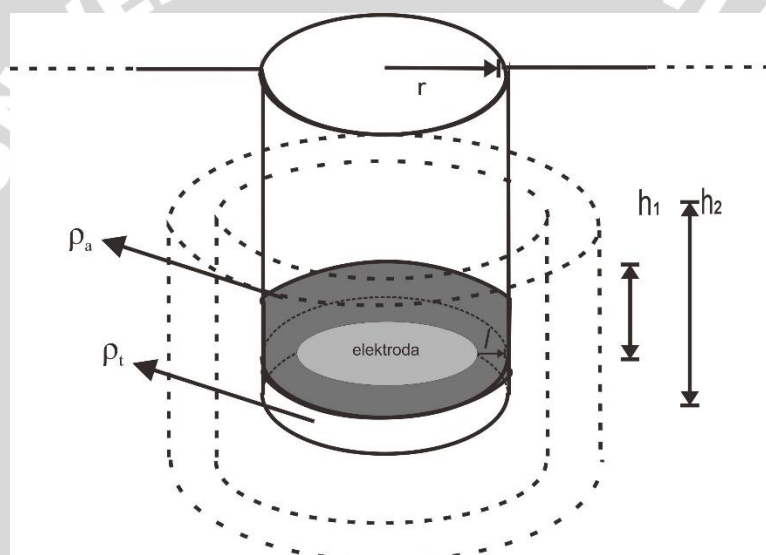
Dari Tabel 4.17 juga dapat terlihat untuk variasi kedalaman penanaman elektroda bahwa semakin besar ukuran diameter dari elektroda plat berbentuk lingkaran, maka nilai resistansi pentanahan akan semakin kecil. Dari hasil pengukuran pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 113,6 ohm untuk model A elektroda plat berbentuk lingkaran dengan diameter 25 cm yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling tinggi. Pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 11,7 ohm untuk model D elektroda plat berbentuk lingkaran dengan diameter 100 cm yang merupakan nilai resistansi pentanahan paling rendah.

4.10. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan Berdasarkan Heterogenitas Lapisan Tanah dan Arang Kulit Buah Kakao dengan Elektroda Model A

Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah dengan hasil pengukuran di lapangan. Perbedaan nilai resistansi tanah pada setiap lapisan tanah dapat mempengaruhi nilai resistansi pentanahan.

4.10.1. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 20 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 20 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm
- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 20 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 65 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan

nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.23 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(20)} = 48,56 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(65)} = 50,82 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 24,83 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 20 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	48,56	50,82	24,83	26,85
2	85	28,56	29,89	14,60	41,46
3	120	20,23	21,17	10,34	51,81
4	155	15,66	16,39	8,01	59,82
.
.
250	8765	0,28	0,14	0,28	199,21

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 20 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 199,21 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.19.

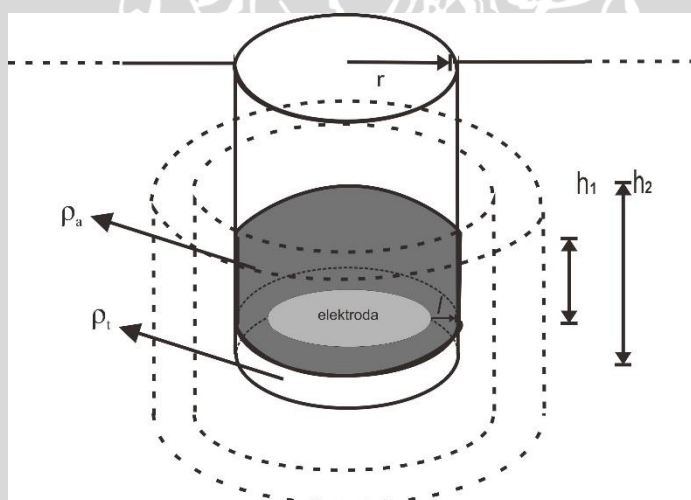
Tabel 4. 19 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 20 cm

Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
20	77,2	199,21

Berdasarkan Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 122,01 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran sangat besar yaitu 61,25 %.

4.10.2. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 40 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 40 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 40 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 85 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.24 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(40)} = 24,28 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(85)} = 38,86 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 14,94 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 40 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	24,28	38,86	14,94	26,85
2	85	14,28	22,86	8,79	35,64
3	120	10,11	16,19	6,22	41,87
4	155	7,83	12,53	4,82	46,69
.
.
250	8765	0,13	0,22	0,08	118,66

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 40 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 119,66 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.21.

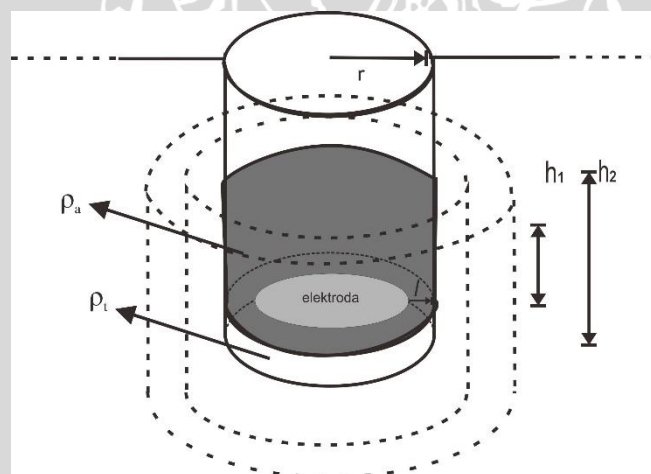
Tabel 4. 21 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 40 cm

Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
40	55,2	118,66

Berdasarkan Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 63,46 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran sangat besar yaitu 53,48 %.

4.10.3. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 60 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 40 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 600 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 105 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.25 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(80)} = 16,18 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(125)} = 31,46 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 10,68 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 60 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	16,18	31,46	10,68	26,85
2	85	9,52	18,53	6,28	33,14
3	120	6,74	13,11	4,45	37,59
4	155	5,22	10,15	3,44	41,04
.
.
250	8765	0,179	0,06	0,09	84,87

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 60 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 84,87 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.23.

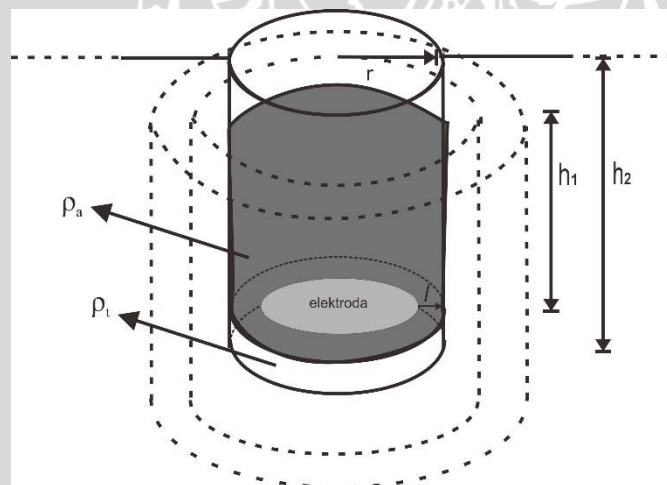
Tabel 4. 23 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 60 cm

Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
60	51,7	84,87

Berdasarkan Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 33,17 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 39,08 %.

4.10.4. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan 80 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang 80 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 80 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 125 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.26 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(80)} = 12,14 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(125)} = 26,43 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 8,32 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada ketebalan penambahan arang 80 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	12,14	26,43	8,32	26,86
2	85	7,14	15,55	4,89	31,75
3	120	5,06	11,01	3,47	35,22
4	155	3,92	8,53	2,68	37,90
.
.
250	8765	0,07	0,15	0,05	66,06

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao sebesar 100 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 66,06 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.25.

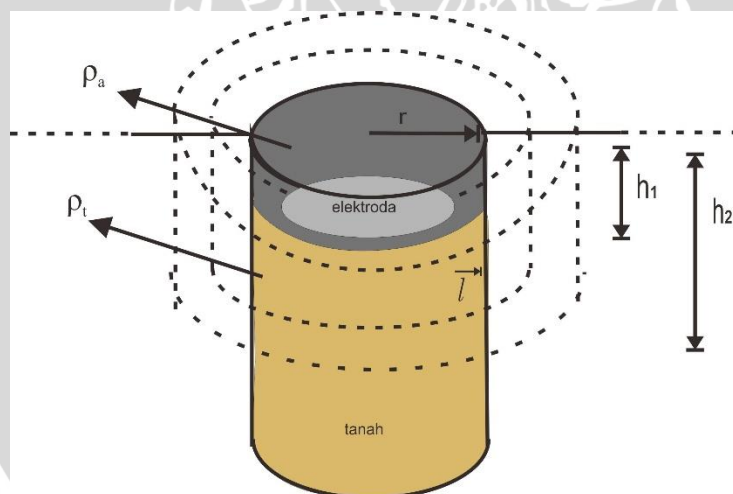
Tabel 4. 25 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada ketebalan penambahan arang 80 cm

Ketebalan Penambahan Arang (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
80	50,9	66,06

Berdasarkan Tabel 4.25 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 15,16 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 22,94 %.

4.10.5. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 20 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.27.



Gambar 4. 27 Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 20 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 20 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 50 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.27 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(20)} = 48,57 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(50)} = 66,08 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 27,99 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 20 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	48,57	66,08	27,99	44,46
2	85	28,57	38,87	16,47	56,12
3	120	20,24	27,53	11,66	65,15
4	155	15,67	21,32	9,03	72,52
.
.
250	8765	0,28	0,38	0,16	222,25

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada kedalaman elektroda sebesar 20 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 222,25 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.27.

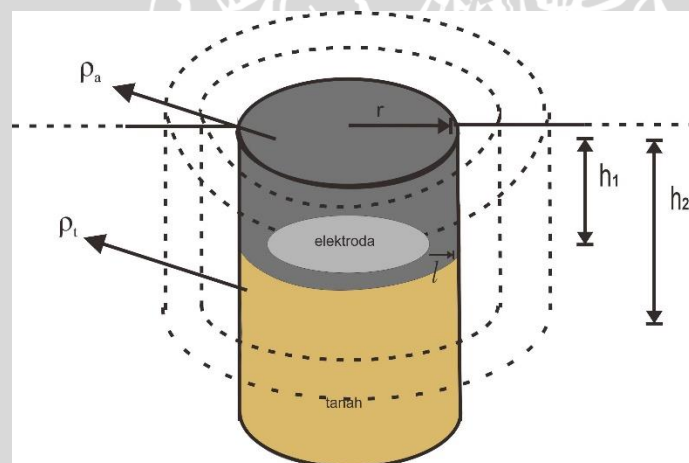
Tabel 4. 27 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 20 cm

Kedalaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
20	113,6	222,25

Berdasarkan Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 108,65 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 48,88 %.

4.10.6. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 40 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.28.



Gambar 4. 28 Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 40 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 40 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 70 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.28 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(40)} = 24,28 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(70)} = 47,20 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 16,03 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 40 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	24,28	47,20	16,03	25,47
2	85	14,28	27,76	9,43	32,15
3	120	10,12	19,67	6,68	37,32
4	155	7,83	15,23	5,17	41,54
.
.
250	8765	0,14	0,27	0,09	127,31

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada kedalaman elektroda sebesar 40 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 127,31 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.29.

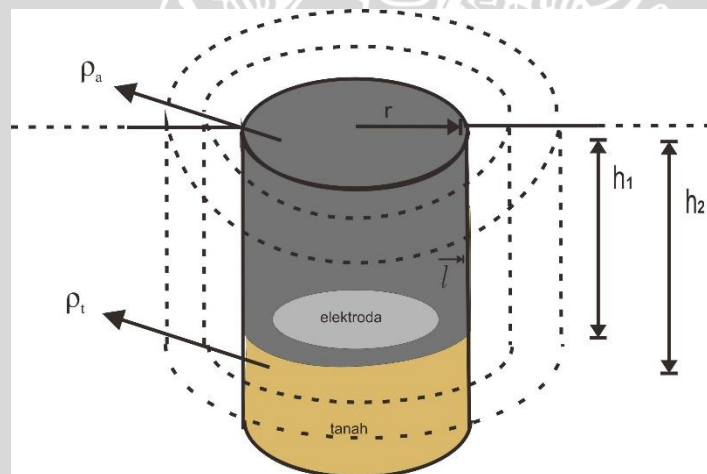
Tabel 4. 29 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 40 cm

Kedalaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
40	92,4	127,31

Berdasarkan Tabel 4.29 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 34,91 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 27,42 %.

4.10.7. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 60 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 60 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 60 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 90 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.29 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(60)} = 16,19 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(90)} = 36,71 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 11,23 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 60 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	16,19	36,71	11,23	17,84
2	85	9,52	21,59	6,61	22,52
3	120	6,75	15,30	4,68	26,15
4	155	5,22	11,84	3,62	29,11
.
.
250	8765	0,09	0,21	0,06	89,20

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada kedalaman elektroda sebesar 60 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 89,20 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.31

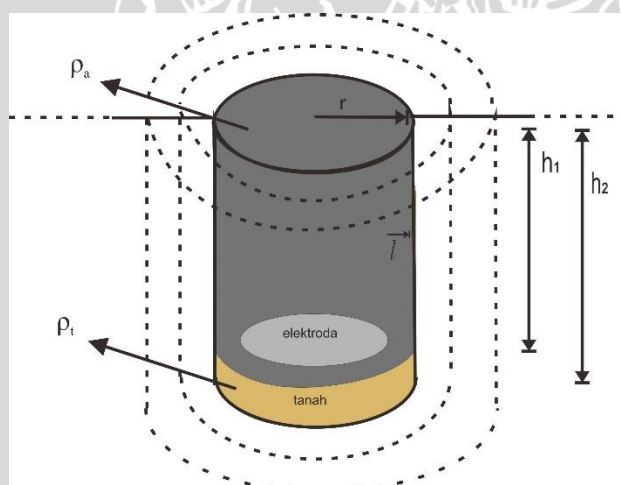
Tabel 4. 31 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 60 cm

Kedalaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
60	78,3	89,20

Berdasarkan Tabel 4.31 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 10,90 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 12,21 %.

4.10.8. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Kedalaman Elektroda 80 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.30.



Gambar 4. 30 Heterogenitas lapisan tanah pada kedalaman elektroda 80 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm
- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm

- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 80 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 110 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.30 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(80)} = 12,14 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(110)} = 30,04 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 8,65 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4. 32 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada kedalaman elektroda 80 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	12,14	30,04	8,65	13,73
2	85	7,14	17,67	5,09	17,34
3	120	5,06	12,51	3,60	20,12
4	155	3,92	9,69	2,79	22,40
.
.
250	8765	0,07	0,17	0,05	68,65

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada kedalaman elektroda sebesar 80 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 68,65 ohm. Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.33

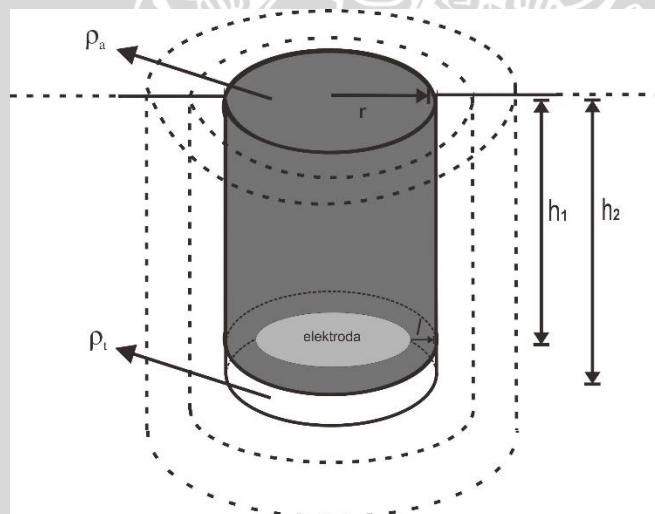
Tabel 4. 33 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada kedalaman elektroda 60 cm

Kedalaman Elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
80	51,2	68,65

Berdasarkan Tabel 4.33 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 17,45 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 25,42 %.

4.10.9. Pendekatan Perhitungan Resistansi Pentanahan pada Ketebalan Penambahan atau Kedalaman Elektroda 100 cm

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap elektroda pentanahan, sehingga heterogenitas lapisan tanah akan membuat suatu bangun ruang yang terdiri dari beberapa bagian seperti yang ditunjukkan Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Heterogenitas lapisan tanah pada ketebalan penambahan arang atau kedalaman elektroda 100 cm

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan dengan menggunakan elektroda model A sebagai berikut :

- ρ_a (resistivitas arang) : 8714,56 ohm-cm
- ρ_t (resistivitas tanah) : 29641 ohm-cm
- r (jari-jari lapisan tanah) : 50 cm

- l (tebal lapisan tanah) : 35 cm
- h_1 (kedalaman penanaman elektroda) : 100 cm
- h_2 (kedalaman akibat distribusi arus) : 135 cm

Untuk mencari nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah yang terdekat dengan elektroda (R_1), perlu dicari nilai resistansi dari lapisan arang (R_a) dan nilai resistansi dari tanah itu sendiri (R_t) karena bidang tabung pada Gambar 4.31 terbentuk dari media yang berbeda. Berikut merupakan perhitungan nilai R_1 yaitu :

$$R_a = \frac{\rho_a \times l}{2\pi r h_1} = \frac{(8714,56)(35)}{(6,28)(50)(100)} = 9,71 \text{ ohm}$$

$$R_t = \frac{\rho_t \times l}{2\pi r h_2} = \frac{(29641)(35)}{(6,28)(50)(135)} = 24,47 \text{ ohm}$$

$$R_1 = R_a // R_t = 6,95 \text{ ohm}$$

Setelah diketahui nilai R_1 , maka dicari nilai R_2 , R_3 , dan R_4 sampai dengan R_n lalu dijumlahkan untuk mencari nilai resistansi pentanahan (R_e) seperti yang ditunjukkan persamaan (2-8). Hasil perhitungan nilai R_e ditunjukkan pada Tabel 4.34.

Tabel 4. 34 Hasil perhitungan nilai resistansi pentanahan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah elektroda model A pada variasi 100 cm

n	Elektroda Model A				
	r (cm)	R_a (ohm)	R_t (ohm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	50	9,71	24,47	6,95	6,95
2	85	5,71	14,39	4,09	11,04
3	120	4,04	10,19	2,89	13,93
4	155	3,13	7,89	2,24	16,17
.
.
250	8765	0,05	0,14	0,03	55,21

Jadi nilai resistansi pentanahan (R_e) elektroda model A pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao atau kedalaman elektroda sebesar 100 cm dari perhitungan berdasarkan heterogenitas lapisan tanah adalah 55,21 ohm. Perbandingan nilai resistansi

pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan heterogenitas tanah dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4. 35 Perbandingan nilai resistansi pentanahan dari hasil pengukuran dan perhitungan pada variasi 100 cm

Variabel	Resistansi Pentanahan (ohm)	
	Hasil Pengukuran	Perhitungan
Ketebalan Penambahan 100 cm	49,2	55,21
Kedalaman Elektroda 100 cm		

Berdasarkan Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa nilai resistansi pentanahan antara hasil pengukuran dengan perhitungan memiliki selisih 6 ohm. Dari data tersebut terlihat bahwa penyimpangan nilai resistansi pentanahan dari perhitungan dan hasil pengukuran yaitu sebesar 10,86 %.





BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilaksanakan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar ketebalan penambahan arang kulit buah kakao atau tanah lokasi pada kedalaman elektroda 100 cm, maka nilai resistansi pentanahannya akan semakin kecil. Dari hasil pengukuran pada ketebalan penambahan tanah lokasi 20 cm dengan elektroda model A yang bediameter 25 cm pada kedalaman elektroda 100 cm didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 208,6 ohm, sedangkan pada ketebalan penambahan arang kulit buah kakao didapatkan nilai resistansi pentanahan sebesar 77,2 ohm. Berdasarkan data tersebut, media arang kulit buah kakao dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan sebesar 131,4 ohm atau 62,99 %.
2. Pada variasi kedalaman penanaman elektroda dengan media arang kulit buah kakao semakin dalam penanaman elektroda, maka nilai resistansi pentanahannya akan semakin kecil. Dari hasil pengukuran nilai resistansi pentanahan paling besar yaitu 113,6 ohm pada kedalaman penanaman elektroda 20 cm untuk elektroda model A yang berdiameter 25 cm, sedangkan nilai resistansi pentanahan paling kecil yaitu 11,7 ohm pada kedalaman penanaman elektroda 100 cm untuk elektroda model D yang berdiameter 100 cm.
3. Semakin besar ukuran diameter elektroda, maka semakin kecil nilai resistansi pentanahannya. Nilai resistansi pentanahan sangat dipengaruhi oleh media disekitar elektroda. Hal ini dibuktikan dengan data hasil pengukuran mengalami penurunan secara signifikan pada variasi ketebalan penambahan arang rentang 20 cm sampai 60 cm dan pada rentang 80 cm sampai 100 cm penurunan nilai resistansi pentanahannya tidak signifikan.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

1. Dikarenakan nilai resistansi pentanahan setiap harinya tidak sama akibat cuaca atau kondisi tanah, maka perlu ditentukan nilai resistivitas acuan berdasarkan pengukuran agar nilai resistansi pentanahan lebih akurat.



2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait pengaruh bahan utama pembuatan elektroda, paralel beberapa elektroda plat, ketebalan elektroda, dan proses pembakaran arang yang efisien agar didapatkan nilai resistansi sekecil mungkin.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro B, Sinisuka N.I, & Pakpahan P.M. 2006. *Resistivity and Dielectric Constant Characteristic of Soil If are Treated by Water, Salt and Carbon*. Bandung : School Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung.
- Asmungi, G. 2004. *Kimia Teknik*. Malang : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Jakarta : Yayasan PUIL.
- Hadi, A. 1994. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga.
- Hutauruk, TS. 1987. *Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga.
- IEEE. 1986. *Guide For Safety In Substation Grounding*. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Kyoritsu. *Instruksi Manual Digital Earth Resistance Tester Model 4105 A*. Jepang.
- Nurida N.L, A. Dariah, & A. Rachman. 2008. *Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah tanah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan*. Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Salamah, S. 2008. *Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Buah Mahoni Dengan Perlakuan Perendaman Dalam Larutan KOH*. Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Kimia dan Tekstil. Yogyakarta : Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan.
- Tagg, G.F. 1964. *Earth Resistance*. London : The Whitefriars Press Ltd.
- Usman, M. N. 2007. *Mutu Briket Arang Kulit Buah Kakao dengan Menggunakan Kanji Sebagai Perekat*. Jurnal Perennial Vol. 3 No. 2 : 55-58.
- Yanuarianto, Y. 2008. *Usage of Charcoal as Rod Electrode Grounding Media*. Malang : Brawijaya University.





LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian**Gambar 1. Pembersihan kulit buah kakao****Gambar 2. Penjemuran kulit buah kakao**



Gambar 3. Elektroda plat berbentuk lingkaran



Gambar 4. Alat ukur digital earth resistance tester 4105 A



Gambar 5. Elektroda bantu pada metode 3 titik



Gambar 6. Penanaman elektroda batang untuk pengukuran resistivitas tanah



Gambar 7. Pengukuran elektroda model A dengan arang



Gambar 8. Ketebalan penambahan arang 100 cm



Gambar 9. Hasil pengukuran pada ketebalan penambahan arang 60 cm



Gambar 10. Penutupan lubang sebelum pengukuran