

**STUDI PEMANFAATAN ARANG TEMPURUNG KELAPA
UNTUK PERBAIKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN
JENIS ELEKTRODA BATANG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

LUCKY DEDY PURWANTORO
NIM. 0610630059-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI PEMANFAATAN ARANG TEMPURUNG KELAPA
UNTUK PERBAIKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN
JENIS ELEKTRODA BATANG**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

LUCKY DEDY PURWANTORO

NIM. 0610630059-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Soemarwanto, MT.

NIP. 19500715 198003 1 002

DR. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.S.

NIP. 19490309 198602 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PEMANFAATAN ARANG TEMPURUNG KELAPA
UNTUK PERBAIKAN RESISTANSI PEMBUMIHAN
JENIS ELEKTRODA BATANG**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

LUCKY DEDY PURWANTORO

NIM. 0610630059-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 1 Agustus 2013

Majelis Penguji :

Ir. Hery Purnomo, M.T.
NIP. 19550708 198212 1 001

Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.
NIP. 19600701 199002 1 001

DR. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc.
NIP. 19680122 199512 2 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Alhamdulillah robbil 'aalamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul **“STUDI PEMANFAATAN ARANG TEMPURUNG KELAPA UNTUK PERBAIKAN RESISTANSI PEMBUMIAN JENIS ELEKTRODA BATANG”** dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan sebagian syarat kelulusan dalam memperoleh gelar kesarjanaan di Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Brawijaya Malang. Terhadap beberapa pihak yang terkait dalam proses penyelesaian skripsi ini disampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S selaku ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., PhD. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Ir. Soemarwanto, MT. atas ide, bimbingan, arahan dan motivasi yang diberikan hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak DR. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.S. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan koreksi dalam skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staf karyawan di lingkungan Fakultas Teknik, khususnya Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Ibu dan Bapakku tercinta serta adikku tersayang atas segala doa, kasih sayang, pengertian, dorongan moril maupun materiil selama ini.
6. Mas Yudistiro, Made Budi, Annisa atas motivasi dan inspirasinya selama ini.
7. Seluruh rekan-rekan angkatan 2006, khususnya Sahirul Alam, Yudistira Adi Guna, Martha Yudistya, Januar Mutaqin yang telah memberikan saran dan kritik yang sangat berguna demi kesempurnaan skripsi ini.

Tak ada gading yang tak retak, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan, maka kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan dalam penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Malang, 25 Juli 2013
Penulis

Lucky Dedy Purwantoro

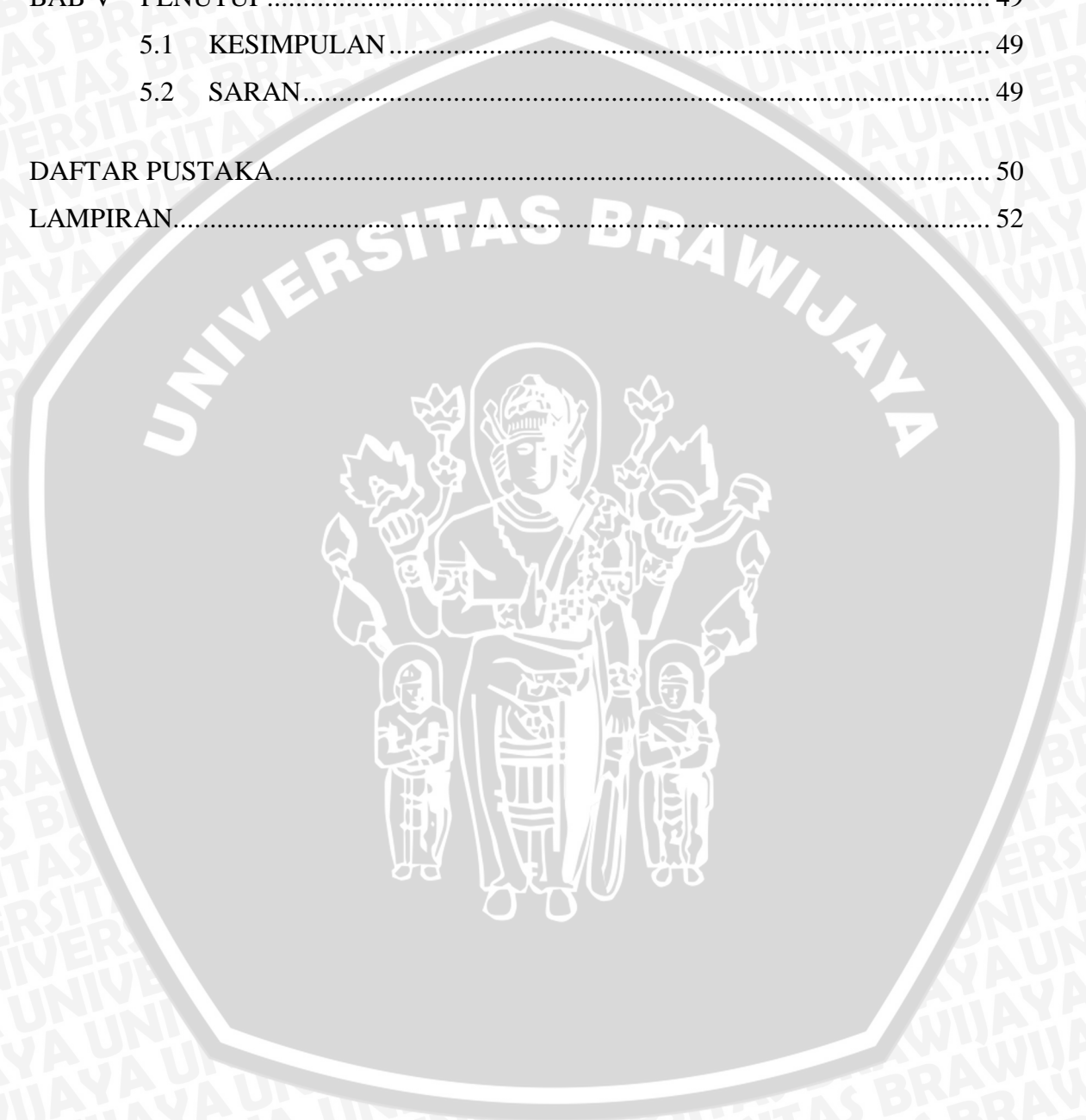
DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	1
1.3 BATASAN MASALAH.....	2
1.4 RUANG LINGKUP	2
1.5 TUJUAN PENULISAN	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 PENELITIAN TERDAHULU.....	4
2.2 SIFAT KIMIA ARANG	4
2.3 RESISTIVITAS ARANG TEMPURUNG KELAPA.....	5
2.4 MEKANISME INTERAKSI ARANG DENGAN AIR	6
2.5 TANAH SEBAGAI KONDUKTOR	8
2.6 JENIS TANAH	9
2.7 RESISTANSI PEMBUMIAN	10
2.8 SISTEM PEMBUMIAN.....	10
2.9 JENIS ELEKTRODA PEMBUMIAN	11
2.10 SISTEM PEMBUMIAN MENGGUNAKAN ELEKTRODA BATANG	12
2.11 PENANAMAN SATU ELEKTRODA BATANG PEMBUMIAN TEGAK LURUS DENGAN PERMUKAAN TANAH.....	14
2.12 PENGARUH KETIDAKSERAGAMAN LAPISAN TANAH TERHADAP NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN	17
2.13 METODE PENGUKURAN	19



2.13.1 Pengukuran Resistivitas Tanah.....	19
2.13.2 Pengukuran Resistansi Tanah.....	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 STUDI LITERATUR.....	22
3.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN.....	22
3.3 PERENCANAAN PENELITIAN.....	23
3.4 RANGKAIAN PENGUKURAN.....	24
3.4.1 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung Kelapa .	24
3.4.2 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Tanah.....	25
3.4.3 Rangkaian Pengukuran Resistansi Pembumian.....	26
3.5 LANGKAH-LANGKAH PENGUKURAN.....	26
3.5.1 Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung Kelapa.....	26
3.5.2 Pengukuran Resistivitas Tanah.....	27
3.5.3 Pengukuran Resistansi Pembumian.....	27
3.6 ANALISIS HASIL PENGUJIAN.....	27
3.7 DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....	28
BAB IV DATA DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN.....	29
4.1 PENGARUH PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG KELAPASECARA KONSENTRIS ELEKTRODA BATANG TERHADAP NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN.....	29
4.1.1 Perhitungan Resistansi Elektroda Batang.....	30
4.1.2 Pengukuran Resistivitas Tanah.....	30
4.1.3 Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung Kelapa.....	32
4.1.4 Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa Disekitar Elektroda Batang Terhadap Nilai Resistansi Pembumian Berdasarkan Analisis Numerik.....	33
4.1.4.1 Penambahan Arang Tempurung Kelapa Dengan Diameter 10.....	35
4.2 PENGARUH PEMBERIAN AIR PADA ARANG TEMPURUNG KELAPA.....	39
4.2.1 Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung Kelapa Terhadap Kerapatannya.....	39

4.2.2	Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Resistivitasnya.....	41
4.2.3	Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Resistansi Pembumian.....	43
BAB V PENUTUP.....		49
5.1	KESIMPULAN.....	49
5.2	SARAN.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....		50
LAMPIRAN.....		52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sifat dipolar air	7
Gambar 2.2	Grafik resistivitas fungsi kadar air dalam tanah	9
Gambar 2.3	Sel-sel tanah sebagai elektroda pbumian.....	14
Gambar 2.4	Distribusi arus didalam tanah.....	15
Gambar 2.5	Grafik fungsi resistansi terhadap jarak.....	15
Gambar 2.6	Elektroda batang dan bayangannya.....	16
Gambar 2.7	Heterogenitas lapisan tanah	18
Gambar 2.8	Pengukuran resistivitas tanah dengan menggunakan metode empat titik..	19
Gambar 2.9	Pengukuran resistansi tanah dengan menggunakan metode tiga titik	20
Gambar 3.1	Variasi peletakan arang tempurung kelapa pada obyek uji.	24
Gambar 3.2	Pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa.....	24
Gambar 3.3	Pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode empat titik dengan Earth Resistance Tester.	25
Gambar 3.4	Pengukuran resistansi pbumian dengan menggunakan Earth Resistance Tester.....	26
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 4.1	Grafik fungsi resistivitas tanah terhadap diameter arang tempurung kelapa	32
Gambar 4.2	Model peletakan arang tempurung kelapa diameter 10 cm.....	35
Gambar 4.3	Grafik fungsi resistansi pbumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 10 cm...	38
Gambar 4.4	Grafik fungsi resistansi pbumian terhadap jarak pada setiap lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 10 cm dan kadar air 20 %.....	45
Gambar 4.5	Grafik fungsi resistansi pbumian terhadap diameter arang tempurung kelapa dengan kadar air 20 %	46
Gambar 4.6	Grafik fungsi resistansi pbumian terhadap diameter arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah pemberian air 20 %	48
Gambar L-1	Skala alat ukur.....	52
Gambar L-2	Layout alat ukur tahanan pbumian analog	53

Gambar L-3 Pengukuran Resistivitas Arang 76

Gambar L-4 *Earth Tester Resistance* 76

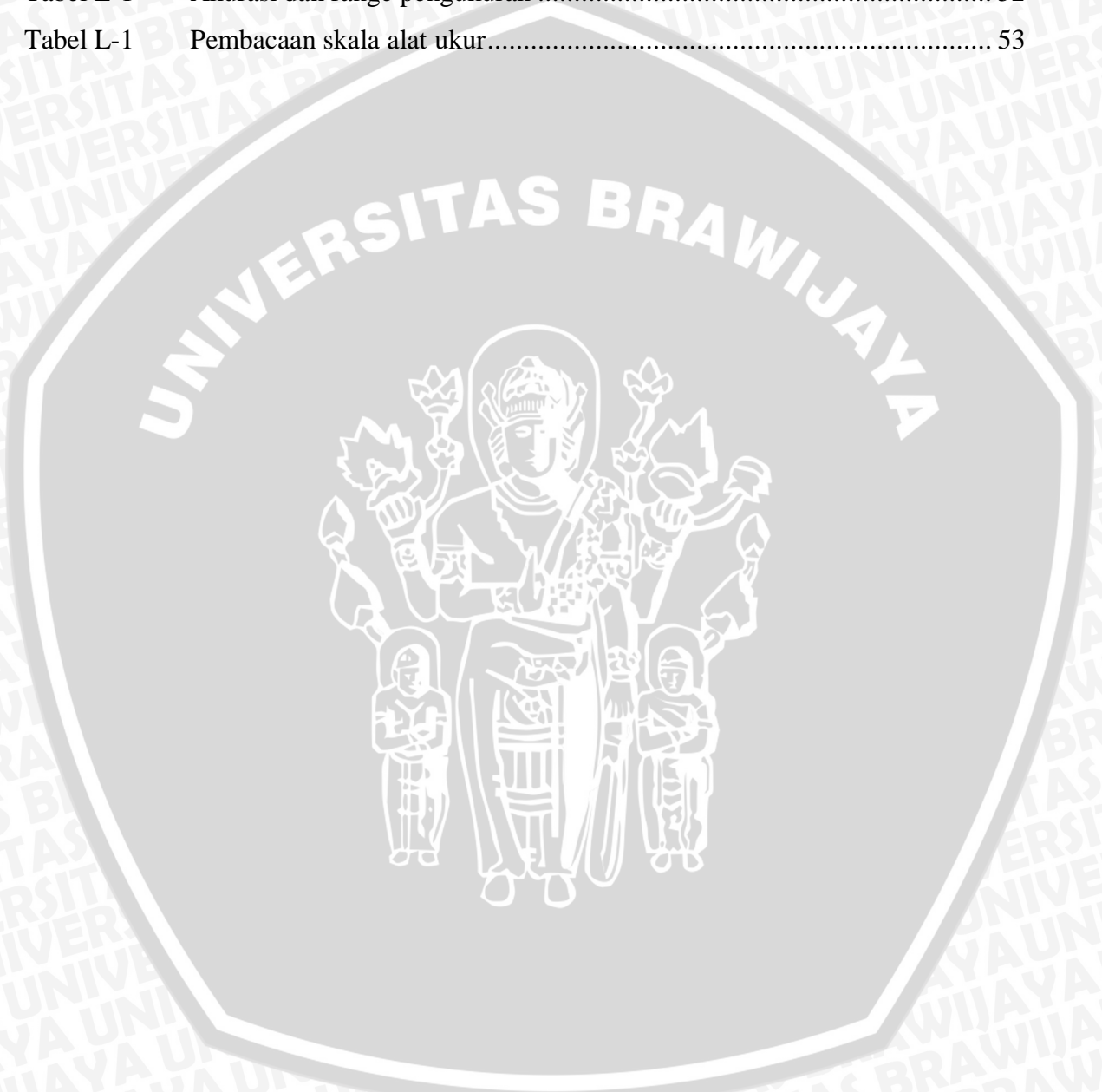
Gambar L-5 Pengukuran resistansi pembumian dengan pemberian arang tempurung kelapa..... 76



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-sifat kimia arang	5
Tabel 2.2	Sifat-sifat kimia air	7
Tabel 2.3	Nilai resistivitas beberapa jenis tanah	9
Tabel 2.4	Dimensi standar elektroda batang	12
Tabel 2.5	Luas penampang minimum elektroda batang pembedaan standar berdasarkan jenis bahan	13
Tabel 4.1	Hasil pengukuran tegangan dan arus dengan berbagai variasi penambahan diameter arang tempurung kelapa.....	31
Tabel 4.2	Hasil pengukuran resistivitas tanah dengan berbagai variasi penambahan diameter arang tempurung kelapa dengan a=500 cm dan b=150 cm.....	32
Tabel 4.3	Hasil pengukuran resistansi pembedaan sebelum dan sesudah pemberian arang tempurung kelapa.	34
Tabel 4.4	Hasil perhitungan nilai resistansi pembedaan dengan model peletakan arang tempurung kelapa diameter 10 cm untuk setiap lapisan (l=5 cm)....	36
Tabel 4.5	Perbandingan antara nilai resistansi pembedaan hasil pengukuran dengan nilai resistansi pembedaan hasil analisis numerik.....	39
Tabel 4.6	Perbandingan antara kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi kering dengan kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah menggunakan volume tabung uji V=40,08 cm ³	41
Tabel 4.7	Hasil perhitungan resistivitas arang tempurung kelapa dengan volume tabung uji V=40,08 cm ³	42
Tabel 4.8	Perbandingan antara resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi kering dengan resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi basah menggunakan volume tabung uji V=40,08 cm ³	43
Tabel 4.9	Hasil perhitungan nilai resistansi pembedaan dengan diameter penambahan arang 10 cm dan kadar air dalam arang tempurung kelapa 20 %.....	44
Tabel 4.10	Hasil perhitungan nilai resistansi pembedaan tiap-tiap diameter penambahan arang dan kadar air 20 %.....	46

Tabel 4.11	Perbandingan antara nilai resistansi pembumian dengan kadar air dalam arang 20 % hasil pengukuran dengan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik	47
Tabel 4.12	Perbandingan antara nilai resistansi pembumian sebelum dan sesudah pemberian air pada arang tempurung kelapa.....	48
Tabel L-1	Akurasi dan range pengukuran	52
Tabel L-1	Pembacaan skala alat ukur.....	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data sheet analog Earth Tester Resistance.....	52
Lampiran 2	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 10 cm hasil analisis numerik	54
Lampiran 3	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 20 cm hasil analisis numerik.....	57
Lampiran 4	Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 20 cm. ...	60
Lampiran 5	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 30 cm hasil analisis numerik.....	61
Lampiran 6	Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 30 cm. ...	64
Lampiran 7	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 40 cm hasil analisis numerik.....	65
Lampiran 8	Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 40 cm. ...	68
Lampiran 9	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 50 cm hasil analisis numerik.....	69
Lampiran 10	Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 50 cm ..	72
Lampiran 11	Nilai resistansi pembumian dengan diameter arang tempurung kelapa 10 cm dan kadar air 20 % hasil analisis numerik	73
Lampiran 12	Foto- foto penelitian	76

RINGKASAN

LUCKY DEDY PURWANTORO (NIM. 0610630059), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2013, **“Studi Pemanfaatan Arang Tempurung Kelapa Untuk Perbaikan Resistansi Pembumian Jenis Elektroda Batang”**. Dosen Pembimbing: **Ir. Soemarwanto, MT.** dan **DR. Ir. Harry Soekotjo Dachlan., M.S.**

Skripsi ini menyampaikan hasil analisis tentang pemanfaatan arang tempurung kelapa sebagai media pembumian elektroda jenis batang. Dalam penelitian ini dilakukan treatment terhadap tanah dengan pemberian arang tempurung kelapa untuk memperkecil nilai resistansi pembumiannya karena arang tempurung kelapa memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah dari tanah serta memiliki struktur pori yang lebih besar sehingga dapat menyerap air lebih banyak dan memiliki sifat konduktif. Faktor yang mempengaruhi sistem pembumian dengan memanfaatkan arang tempurung kelapa, diantaranya adalah pengaruh penambahan diameter arang tempurung kelapa di sekitar elektroda batang dan pengaruh kadar air dalam arang terhadap nilai resistansi pembumian.

Dalam penelitian ini digunakan serbuk arang tempurung kelapa dengan ukuran partikel 1 mm, menggunakan elektroda batang tunggal dengan diameter sebesar 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5 mm yang ditanam pada tanah dengan kedalam 150 cm, pengukuran resistansi pembumian menggunakan metode 3 titik. Setelah itu akan dilakukan pengukuran nilai resistansi pembumian sebelum pemberian arang tempurung kelapa, agar dapat diketahui penurunan nilai resistansi pembumian setelah pemberian arang tempurung kelapa untuk berbagai perubahan variabel.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan diameter arang tempurung kelapa ditanam dalam tanah terhadap nilai resistansi pembumiannya adalah dengan melakukan pengujian menggunakan 5 model penambahan arang tempurung kelapa yang berbeda yakni diameter 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm dan 50 cm. Sehingga setelah dilakukan analisis dapat diketahui bahwa penambahan diameter arang tempurung kelapa 50 cm yang diletakkan konsentris bersama elektroda batang memiliki nilai resistansi pembumian yang paling kecil, yaitu sebesar 4,73 ohm dari nilai resistansi pembumian sebelum pemberian arang tempurung kelapa, yaitu sebesar 10,97 ohm. Untuk mengetahui pengaruh kadar air dalam arang terhadap nilai resistansi pembumian adalah dengan memberikan air dalam arang dengan kadar air tertentu yakni sebesar 20 % pada tiap – tiap perubahan variabel penambahan diameter arang tempurung kelapa. Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan air dalam arang tempurung kelapa memberikan pengaruh terhadap nilai resistansi pembumian, dengan kadar air 20% dalam arang pada diameter arang 50 cm memiliki nilai resistansi pembumian sebesar 2,45 ohm dari nilai resistansi pembumian sebelum pemberian air pada arang tempurung kelapa, yaitu sebesar 4,73 ohm. Dengan menggunakan beberapa perubahan variabel dalam penelitian tersebut akan diketahui pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian.

Kata Kunci : arang tempurung kelapa, elektroda batang, resistansi pembumian

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem Distribusi tenaga listrik merupakan sistem yang luas yang menghubungkan satu titik ke titik lain sehingga sangat peka terhadap adanya gangguan, gangguan yang terjadi biasanya disebabkan karena hubung singkat dan gangguan tanah. Gangguan-gangguan tersebut dapat berakibat penurunan tegangan yang cukup besar, penurunan stabilitas sistem, membahayakan jiwa orang serta dapat merusak peralatan elektronik. Salah satu faktor utama yang sangat berpengaruh dalam menjaga kestabilan sistem serta keamanan peralatan listrik adalah pembumian pada peralatan.

Dalam sistem pembumian, semakin kecil nilai resistansi pembumian maka kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin besar sehingga arus gangguan tidak mengalir dan merusak peralatan, ini berarti semakin baik sistem pembumian tersebut. Pembumian ideal memiliki nilai resistansi hingga mendekati nol. Dalam prakteknya, kenaikan tegangan tanah pada sekitar lokasi menjadi bertambah sesuai dengan arus gangguan yang terjadi. Untuk daerah yang kelistrikanannya lebih luas, nilai resistansi pembumian harus lebih rendah dari 1 ohm. Untuk jaringan distribusi yang lebih kecil sering digunakan pembumian dengan nilai tahanan antara 1-5 ohm atau lebih rendah lagi, tergantung kondisi lokasi sekitar.

Lokasi dimana resistivitas tanah cukup tinggi, dengan kondisi tanah yang berbatu dan padas itu bisa menjadi tidak mungkin untuk melakukan suatu perbaikan penurunan impedansi dari sistem pembumian dengan pembumian batang vertikal, karena faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu: jenis tanah, komposisi kimia yang terkandung didalam tanah, konsentrasi kimia garam yang terkandung didalam tanah, kadar air yang terkandung dalam tanah, temperatur tanah, ukuran butiran material dan distribusinya. Maka solusi yang mungkin dilakukan untuk memperkecil resistivitas tanah di suatu lokasi adalah dengan memberikan perlakuan khusus untuk memperbaiki nilai resistansi pembumian. Dalam skripsi ini akan dilakukan *treatment* tanah menggunakan arang tempurung kelapa dengan tujuan agar didapatkan nilai resistivitas tanah yang paling kecil, karena secara umum resistivitas arang lebih rendah dari resistivitas tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

Bagaimana pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Elektroda pembumian adalah elektroda batang (*rod*) tunggal
2. Elektroda batang yang digunakan adalah yang terdapat dipasaran yaitu dari bahan baja dengan sepuhan luar tembaga
3. Kedalaman penanaman elektroda batang dibuat tetap
4. Posisi peletakan arang tempurung kelapa disekitar elektroda batang ditanam konsentris elektroda batang
5. Ukuran partikel arang tempurung kelapa dibuat seragam dengan menggunakan ayakan dengan satu ukuran tertentu
6. Metode pengukuran resistansi pembumian menggunakan metode 3 titik
7. Variabel dalam penelitian ini adalah peletakan arang tempurung kelapa, volume arang tempurung kelapa serta konsentrasi air pada partikel arang tempurung kelapa yang ditanam bersama elektroda batang

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh volume arang tempurung kelapa yang ditanam konsentris elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi air dalam arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian

1.5 Tujuan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah untuk melakukan studi karakteristik pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai resistansi pembumian

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut :

- BAB I** : Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika penulisan
- BAB II** : Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan
- BAB III** : Berisi metode penelitian yang akan dilakukan meliputi studi literatur, tempat penelitian, waktu penelitian, peralatan yang digunakan untuk penelitian, model rangkaian penelitian, langkah penelitian dan teknik pengumpulan data
- BAB IV** : Berisi analisa serta pembahasan terhadap masalah yang diajukan dalam skripsi
- BAB V** : Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan serta saran dari penulis



BAB II DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pentingnya sistem pembumian telah dilakukan beberapa penelitian, diantaranya T.S. Hutaeruk (1987), dalam bukunya menerangkan bagaimana pentingnya sistem pembumian yang bertujuan untuk memadamkan terjadinya busur tanah pada sistem yang besar yang tidak diketanahkan sehingga arus gangguan yang terjadi relatif besar (lebih besar dari 5A) dan untuk membatasi tegangan-tegangan fasa sehat yang sehat agar tidak ikut terjadi gangguan.

Roy B. Carpenter (1997) menuliskan hasil penelitiannya dalam jurnal tentang cara untuk memperkecil resistansi pembumian, dengan lokasi yang memiliki resistansi tanah cukup tinggi. Dikarenakan hal itu bisa menjadi tidak mungkin untuk melakukan suatu perbaikan penurunan impedansi dari sistem pembumian dengan pelebaran batang dan jaring pentanahan yang lebih besar di daerah yang luas. Dan menghasilkan kesimpulan antara lain adalah dengan mengubah resistansi tanah di suatu lokasi tertentu dengan mengubah sifat-sifat kimia dari tanah dengan *treatment* khusus, membuat jaring pentanahan tipis yang dihubungkan ke sistem pembumian, menanam elektroda batang pembumian hingga menyentuh bagian dalam tanah dengan resistansi rendah atau yang mengandung air, pengendalian kondisi tanah agar memiliki resistansi tetap seperti yang telah direncanakan.

B. Anggoro, N.I Sinisuka, P.M. Pakpahan (2006), melakukan penelitian mengenai karakteristik resistivitas dan permitivitas tanah terhadap perubahan frekuensi. Pengujian resistivitas dan permitivitas tanah dengan arus bolak-balik, dan menghasilkan kesimpulan bahwa harga resistivitas dan permitivitas tanah berubah terhadap frekuensi arus yang diinjeksikan, harga resistivitas dan permitivitas tanah cenderung menurun dengan naiknya frekuensi, fungsi penurunannya tergantung dari kandungan mineral tanahnya, penambahan air dari 2,5% s/d 15% akan efektif menurunkan harga resistivitasnya bila kandungan air telah mencapai 7,5% ke atas untuk permitivitas tidak berpengaruh banyak. Hal ini terjadi karena kandungan tanah liat sangat sedikit dan untuk sistem pembumian yang akan digunakan pada frekuensi tinggi perubahan permitivitas tanah tidak boleh diabaikan.

2.2 Sifat Kimia Arang

Arang yaitu residu hitam berisi [karbon](#) tidak murni yang dihasilkan dengan jalan menghilangkan kandungan air dan komponen [volatil](#) dari [hewan](#) atau [tumbuhan](#), terutama dengan jalan memanaskan [tempurung kelapa](#) (tanpa [oksigen](#)). Arang tempurung kelapa adalah arang yang berasal dari [tempurung kelapa](#) yang terbakar, tempurung kelapa yang telah terbakar umumnya memiliki kadar air (7,31%), zat terbang (11,1%), kadar abu (5,4%), fixed C (83,89%), nilai kalor (6601 kal/gram) [Kresno Dwi,2005]. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1. Sifat-sifat kimia arang

pH (H ₂ O)	8
pH (KCl)	8
C-Organik, %	55
N-Kjeldahl, %	0.1
C/N	131
P Potensial (HCl 25%, P ₂ O ₅), ppm	290.6
K Potensial (HCl 25%, K ₂ O), mg/100 g	18
P-tersedia (Bray, P ₂ O ₅), ppm	69
K-tersedia (Morgan, K ₂ O), ppm	133
Ca (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	28
Mg (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	8
K (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	17
Na (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	2
Total (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	55
KTK (1 N NH ₄ Oac, pH 7.0 ekstraksi), me/100 g	19
Kejenuhan Basa, %	> 100
KCl 1 N, H ⁺ , me/100 g	0

 Sumber: Haris Iskandar, 2005: 37

2.3 Resistivitas Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa memiliki sifat-sifat listrik yaitu resistivitas. Resistivitas adalah salah satu faktor yang menentukan resistansi suatu bahan. Untuk mengukur resistivitas tanah dapat dilakukan dengan menggunakan Ohmmeter dan dilakukan perhitungan dari hasil pengukuran, dengan Persamaan (2-1) [G.F. Tagg, 1964]:

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

$$\rho = \frac{A.R}{l} \quad (2-2)$$

$$\rho = \frac{\pi r^2 . R}{l} \text{ ohm-cm}$$

dengan

R= nilai resistansi arang tempurung kelapa hasil pengukuran (ohm)

l = tinggi arang tempurung kelapa yang terisi dalam pipa (cm)

A= luas penampang pipa (cm²)

r = jari-jari pipa (cm)

ρ= nilai resistivitas arang tempurung kelapa (ohm-cm)

Resistivitas arang tempurung kelapa sangat dipengaruhi oleh kerapatan partikel arangnya serta kadar air yang terkandung dalam arang tempurung kelapa tersebut. Kerapatan adalah suatu [besaran turunan](#) dalam [fisika](#) yang secara umum lebih dikenal [massa jenis](#). Maka dalam penelitian perlu juga diketahui kerapatan dari partikel arang tempurung kelapa yang digunakan dalam penelitian. Dan kerapatan arang tempurung kelapa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-3) [Gaguk A, 2004]:

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

dengan

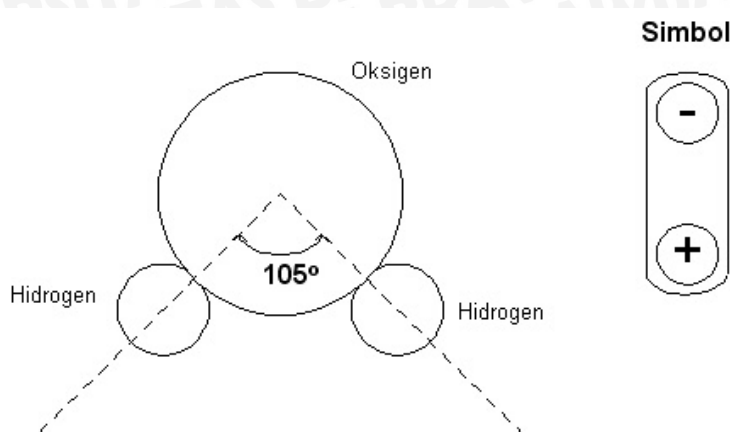
K = kerapatan arang tempurung kelapa (gram/cm³)

m = massa arang tempurung kelapa (gram)

V = volume arang tempurung kelapa dalam pipa (cm³)

2.4 Mekanisme Interaksi Arang Dengan Air

Pada umumnya partikel arang adalah karbon aktif yang memiliki bentuk *amorf* dan mempunyai luas permukaan yang besar (300-2000 m²/g) [Child, 1974]. Besarnya luas permukaan ini menunjukkan bahwa struktur pori internalnya juga besar, akibatnya karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap gas, uap dan air [Mark, 1972]. Arang berbentuk *amorf* terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu sisi hexagonal [Mark, 1972]. Berdasarkan karakteristik arang, arang mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan negatif dan positif seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel arangnya. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel arang menarik ion positif (kation) yang ada didalam pori air.



Gambar 2.1 Sifat dipolar air

----- Sumber: Hardiyatmo, 1992: 19

Tabel 2.2 Sifat-sifat kimia air

<u>nama</u> umum	Air
Nama lain	larutan, <u>dihidrogenmonoksida</u> , hidrogen hidroksida
<u>rumus</u> molekul	H ₂ O
<u>InChI</u>	InChI=1/H2O/h1H2
<u>massa</u> molar	18.0153 g/mol
Kerapatan dan wujud	0.998 g/cm ³ (liquid at 20 °C) 0.92 g/cm ³ (solid)
<u>titik</u> beku	0 °C (273.15 K) (32 °F)
<u>titik</u> didih	100 °C (373.15 K) (212 °F)
<u>kapasitas</u> panas spesifik	4.184 J/(g·K) (liquid at 20 °C)
reaksi kimia	2H ₂ O + 2e ⁻ → 2OH ⁻ + H ₂

Sumber: Yudistiro, 2008

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan tabel 2.2 bahwa molekul air tersusun dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen. Atom hidrogen pada molekul air tidak tersusun secara simetris di sekeliling atom oksigen, melainkan membentuk sudut ikatan sebesar 105°. Akibat dari sifat ini, molekul air berkelakuan seperti batang-batang kecil yang mempunyai muatan positif di satu sisi dan muatan negatif disisi yang lain (dipolar). Dalam penentuan kadar air dapat dilakukan dengan asumsi bahwa dalam karbon aktif hanya air yang merupakan senyawa volatil. Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII), karbon aktif yang baik memiliki kadar air maksimal 20% dan menurut penelitian yang dilakukan Hilman S. Iskawanto (2009) nilai resistansi pembumian

dengan tambahan arang kayu sedikit sekali mengalami penurunan saat arang diberi air sebesar 20 %, dengan kata lain arang mencapai titik jenuhnya pada pemberian air 20 %.

Kadar air dalam arang memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap resistansinya, karena dapat memperkecil nilai resistansinya. Untuk memperkecil resistansi arang diperlukan pengaturan komposisi air tertentu untuk mendapatkan resistansi yang diharapkan pada arang, maka untuk melakukan pengaturan kadar air dalam arang tersebut dapat menggunakan Persamaan (2-4) [Hilman, 2009]:

$$KA_a = \frac{(m_{ab} - m_{ak})}{m_{ak}} \times 100\% \quad (2-4)$$

$$m_{ab} = \left(\frac{KA_a \times m_{ak}}{100\%} \right) + m_{ak} \quad (2-5)$$

dengan

KA_a = kadar air dalam arang (%)

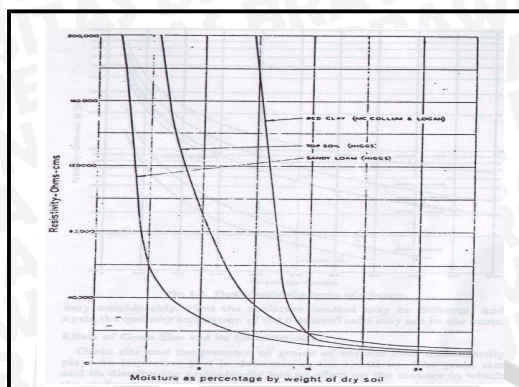
m_{ab} = massa arang yang diukur pada keadaan basah (gr)

m_{ak} = massa arang yang diukur pada keadaan kering (gr)

2.5 Tanah Sebagai Konduktor

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, tanah digunakan sebagai konduktor listrik. Pada prakteknya tanah digunakan sebagai konduktor baik, meskipun tanah memiliki banyak kelemahan jika digunakan sebagai konduktor. Karena dimensi lintasan arus yang melalui tanah sangat besar, resistansi beberapa lintasan diabaikan. Bentuk elektroda yang digunakan akan sangat menentukan besarnya resistansi tanah yang dilewati arus keluar dan masuk tanah.

Sifat listrik tanah sangat penting dan menarik khususnya resistansi spesifik atau resistivitas. Resistivitas merupakan suatu faktor yang menentukan resistansi elektroda pembumian. Sebagian besar tanah dan batu ketika sangat kering bukan merupakan konduktor listrik. Namun jika tanah dan batu mengandung mineral tertentu, maka menjadi bersifat konduktor listrik karena kandungan metaliknya. Pasir dan batu memiliki resistivitas yang tinggi, sehingga bukan merupakan suatu konduktor yang baik. Ketika mengandung air, resistivitasnya akan sangat turun sehingga tanah bersifat konduktor, meskipun merupakan konduktor yang buruk bila dibandingkan dengan bahan metal. Sebagai contoh, resistivitas baja sepuhan tembaga adalah 1,6 mikrohm-cm, sedangkan tanah pada umumnya mempunyai resistivitas sekitar 10000 ohm-cm.



Gambar 2.2 Grafik resistivitas tanah fungsi kadar air dalam tanah

----- Sumber: G.F. Tagg, 1964: 5

Gambar 2.2 menunjukkan hubungan resistivitas tanah dengan kadar air yang dikandungnya untuk beberapa jenis tanah. Pada persentase air yang besar, kelembaban tinggi, maka resistivitasnya kecil. Dari gambar dapat dilihat bahwa resistivitas akan turun dengan cepat ketika terjadi penambahan kelembaban/kadar air. Dan untuk mengkondisikan tanah menjadi lebih konduktif perlu dilakukan *treatment* khusus terhadap tanah, *treatment* khusus tersebut bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat kimia dasar dari tanah [Roy, 1997]. Resistivitas tanah ditentukan oleh kadar air dalam tanah serta perlakuan terhadap tanah.

2.6 Jenis Tanah

Jenis tanah sangat menentukan resistivitas tanah tersebut. Terkait dengan pembumian tanah dibagi dalam beberapa jenis. Tanah liat dapat terdiri dari beberapa jenis. Karena alasan ini sungguh mustahil untuk menyatakan bahwa tanah liat, atau tanah lain sebetulnya mempunyai suatu resistivitas yang sangat tinggi. Lagipula jenis tanah yang sama terdapat dalam berbagai tempat berbeda dari tempat lain.

Tabel 2.3 Nilai resistivitas beberapa jenis tanah

Jenis Tanah	Resistivitas dalam (ohm-cm)
Tanah liat, tanah kebun, dll	500 – 5.000
Tanah liat	800 – 5.000
Campuran tanah liat, pasir dan kerikil	4.000 – 25.000
Pasir dan kerikil	6.000 – 10.000
Batu tulis, pasir berbatu, dll	1.000 – 50.000
Batu karang	20.000 – 1.000.000

Sumber: G.F. Tagg, 1964: 4

Nilai resistivitas dalam Tabel 2.3 adalah suatu perkiraan untuk resistivitas yang diharapkan. 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.

2.7 Resistansi Pembumian

Resistansi dalam sistem pembumian adalah komposisi dari [IEEE Green Book std 142-1991: 171]:

1. Resistansi elektroda batang
2. Resistansi kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah di sekitarnya
3. Resistansi bagian tanah di sekitar elektroda batang pembumian

Umumnya resistansi elektroda batang dan resistansi kontak nilainya kecil dan dapat diabaikan dengan resistansi bagian tanah di sekitar elektroda pembumian [katalog, 1986]. Hal tersebut dapat diabaikan apabila elektroda batang pembumian bebas dari minyak maupun cat dan kontak antara tanah dan elektroda pembumian adalah sempurna (tidak ada rongga udara). Dengan demikian resistansi yang paling menentukan harga resistansi sistem pembumian adalah resistivitas tanah itu sendiri. Komponen yang mempengaruhi resistivitas tanah adalah jenis tanah, komposisi kimia yang terkandung di dalam tanah, konsentrasi kimia garam yang terkandung di dalam tanah, kadar air yang terkandung dalam tanah, temperatur tanah, ukuran butiran material serta distribusinya, kepadatan dan tekanan tanah [G.F. Tagg, 1964: 4].

2.8 Sistem Pembumian

Sistem pembumian dirancang untuk tindakan pengamanan terhadap gangguan yang terjadi pada jaringan listrik dan peralatan. Dalam kenyataannya tidak semua sistem jaringan listrik dihubungkan langsung dengan sistem pembumian. Sistem yang tidak ditanahkan adalah suatu sistem yang memang sengaja tidak dihubungkan dengan sistem pembumian langsung kecuali dihubungkan dengan alat ukur atau peralatan proteksi lainnya. Sebenarnya sistem ini dihubungkan dengan pembumian, namun tidak secara langsung melainkan melalui distribusi kapasitansi dari belitan fasa dan penghantar. Sistem pembumian digunakan untuk menyalurkan arus gangguan seperti hubung

singkat, petir, maupun arus bocor, sehingga aman bagi peralatan maupun untuk manusia. Yang menjadi acuan kita adalah bahwa semakin kecil nilai dari resistansi pembumiannya maka akan semakin baik, karena arus cenderung akan mengalir pada resistansi yang lebih kecil dibandingkan dengan resistansi yang besar.

Sistem yang ditanahkan adalah suatu sistem yang dihubungkan dengan sistem pembumian langsung dengan netral atau satu penghantar padat ke tanah atau melewati batas arus impedansi. Macam-macam pembumian dengan menggunakan bahan padat untuk impedansi tinggi, seperti resistansi. Menurut IEEE Buff Book std 242-1986 menjelaskan bahwa secara umum jenis sistem pembumian untuk industri dan sistem tenaga komersil dibagi menjadi 6, yaitu : sistem pembumian tanpa impedansi, sistem pembumian dengan resistansi rendah, sistem pembumian dengan resistansi tinggi, sistem yang tidak diketanahkan (sistem delta), sistem pembumian dengan reaktansi, sistem pembumian dengan kumparan Petersen.

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

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil maupun peralatan.
2. Dapat menyebarkan arus gangguan secara berulang akibat surja hubung (*surge currents*).
3. Menggunakan elektroda yang tahan korosi terhadap pengaruh kimia tanah sehingga menjamin kontinuitas pengamanan sepanjang umur objek yang diamankan.
4. Menggunakan bahan yang tahan terhadap pengaruh mekanis.

2.9 Jenis Elektroda Pembumian

Jenis - jenis elektroda pembumian dan penggunaannya :

- 1) Pembumian batang vertikal (*grounding rod*)

Grounding rod adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menanam batang elektroda pembumian tegak lurus dengan permukaan tanah.

- 2) Pembumian kisi-kisi (*grounding grid*)

Grounding grid adalah pembumian yang dilakukan dengan cara menanam batang elektroda pembumian sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda pembumian tersebut dihubungkan satu dengan yang lain sehingga berbentuk mesh / jaring.

Kegunaan elektroda pembumian dalam sistem tenaga misalnya untuk :

- Pembumian peralatan
- Pembumian titik netral, dll.

2.10 Sistem Pembumian Menggunakan Elektroda Batang (*Rod*)

Sistem pembumian memiliki tujuan untuk mendapatkan resistansi yang rendah sehingga memungkinkan arus gangguan dengan cepat terdistribusi ke tanah. Elektroda pembumian yang digunakan untuk melewatkan arus gangguan ke tanah adalah elektroda pembumian jenis batang. Elektroda batang adalah elektroda yang terbuat dari tembaga, besi baja profil atau pipa yang dipancangkan kedalam bumi. Dalam penggunaan elektroda batang sangat dipengaruhi oleh ukuran, dimensi serta bahan pembuatan elektroda batang tersebut, karena pada dasarnya pembumian dengan elektroda batang perlu memperhatikan panjang dan ukuran elektrodanya agar dalam melakukan instalasi pembumian bisa diperoleh hasil dan nilai yang baik, meskipun pengaruh ukuran diameter terhadap resistansi pembumiannya adalah kecil yang hanya berpengaruh sekitar 10% [Roy, 1997].

Dimensi standar elektroda batang yang umum dipakai tersebut dapat dilihat di dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Dimensi standar elektroda batang

No.	Elektroda Batang				Ukuran Klem* (mm ²)
	Diameter (inchi)	Panjang (ft)	Diameter (mm)	Panjang (m)	
1	3/8	5-40	9,53	1,5-12,2	6-10
2	1/2		12,7		6-16
3	5/8		15,88		6-16
4	3/4		19,05		25-50
5	1		25,4		25-50

----- Sumber: IEEE Green book Std 142-1991: 184 (* Sesuai SPLN 102, 1993: 9)

Pada umumnya elektroda batang menggunakan silinder yang terbuat dari tembaga murni, batang tembaga telanjang dan berlapis (*copper-clad steel*), batang besi tahan karat (*stainless rod*), kawat tembaga yang dimasukkan ke dalam batang pipa yang digalvanisasi dan dapat berupa baja yang sudah disepuh oleh tembaga.

Tabel 2.5 Luas penampang minimum elektroda batang pembedaan standar berdasarkan jenis bahan

Jenis elektroda	Bahan		
	Baja berlapis seng dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
Elektroda batang	<i>Pipa baja berdiameter 1 inchi:</i> Baja profil: L 65x65x7 U 6 ½ T 6 X 50x3 atau batang profil lain yang setara	<i>Baja bulat:</i> Berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5 mm	<i>Pipa tembaga:</i> Luas penampang: 50 mm ² Tebal : 2 mm Hantaran pilin: (bukan kawat halus) Luas penampangnya: 35 mm ²

Sumber: Pedoman Pengawasan Instalasi Listrik (Disnaker-RI), 1987: 18

Kalau tanahnya sangat korosif sebaiknya digunakan ukuran-ukuran minimum 1,5x ukuran yang diberikan pada Tabel 2.5. Kalau elektroda yang dimaksudnya untuk mengatur gradient tegangan, luas penampang minimum yang boleh digunakan adalah sebagai berikut [DISNAKER RI, 1987: 18]:

1. Untuk baja berlapis tembaga : minimum 16 mm²
2. Untuk tembaga : minimum 10 mm²

Untuk memancarkan elektroda-elektroda ini sering digunakan *palu lantak*. Elektroda-elektroda tersebut dapat juga dimasukkan ke dalam tanah dengan getaran, dengan menggunakan *palu kango*. Kalau tanahnya kering, kadang-kadang sangat sulit untuk mencapai tahanan penyebaran yang cukup rendah. Dalam hal ini, ada kalanya sifat-sifat tanah itu dapat diperbaiki dengan mengolahnya dengan bahan-bahan kimia. Kalau digunakan beberapa elektroda batang yang dihubungkan paralel, jarak antara elektroda-elektroda ini harus sekurang-kurangnya sama dengan 2 panjang efektif dari satu elektroda, atau sekurang-kurangnya 4 meter. Elektroda-elektroda itu tidak boleh

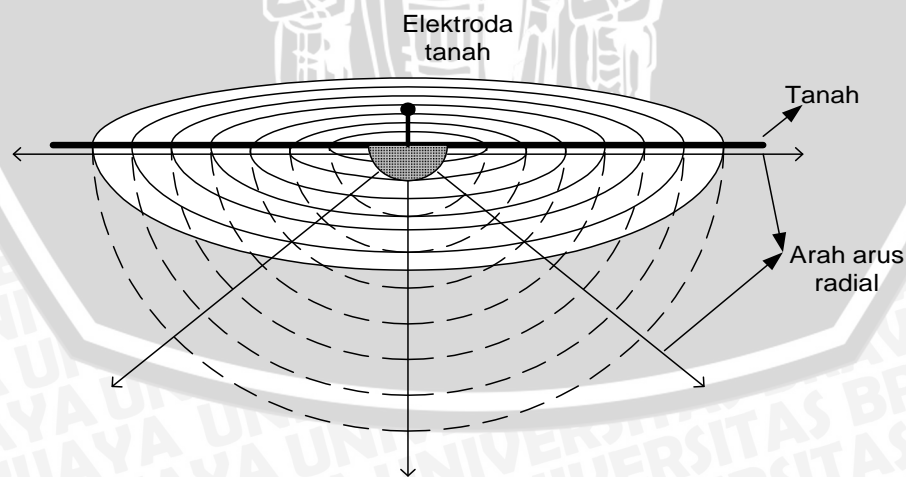
berada dalam corong tegangan dari elektroda di sampingnya. Pembumian dengan menggunakan elektroda batang juga disebut *pembumian dalam*.

Adapun beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan elektroda batang dalam suatu sistem pembumian antara lain:

1. Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang cukup baik sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang bisa sangat membahayakan
2. Memiliki kekuatan secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik
3. Tahan terhadap peledakan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena *magnitude* arus gangguan dalam waktu yang lama
4. Tahan terhadap korosi

2.11 Penanaman Satu Batang Elektroda Pembumian Tegak Lurus Permukaan Tanah

Sebuah sistem pembumian membentuk elektroda tanah yang umumnya dimodelkan sebagai sebuah setengah lingkaran, setengah ellips atau setengah tabung dengan alas berupa setengah bola. Elektroda ini digambarkan sebagai konduktor yang terdiri dari lapisan berupa sel-sel tanah yang tebalnya sama seperti yang dilihatkan pada Gambar 2.3, berupa penanaman satu elektroda batang pembumian tegak lurus dengan permukaan tanah.

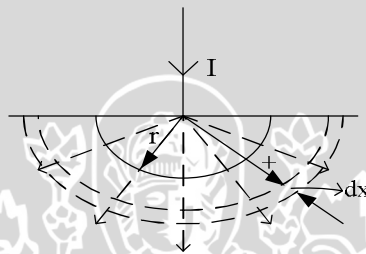


Gambar 2.3 Sel-sel tanah sebagai elektroda pembumian

Sumber: Pabla, 1988: 218

Arus yang mengalir dari pembumian tersebut akan melintasi sel-sel ini ke semua arah. Sel tanah yang terdekat dengan batang pembumian mempunyai permukaan paling kecil sehingga memberikan resistansi paling besar. Bila jarak dari elektroda bertambah, maka luasan ini juga akan membesar. Pada beberapa titik yang menentukan jarak tertentu, penambahan sel secara signifikan tidak menambah resistansi tanah sekitar elektroda batang pembumian. Hal ini diketahui sebagai daerah resistansi efektif dan jarak ini ditentukan oleh kedalaman penanaman dan diameter elektroda batang pembumian yang dipakai.

Agar pengukuran sifat resistansi elektroda pembumian sederhana maka elektroda tanah dianggap berbentuk *hemisphere* (setengah bola) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4

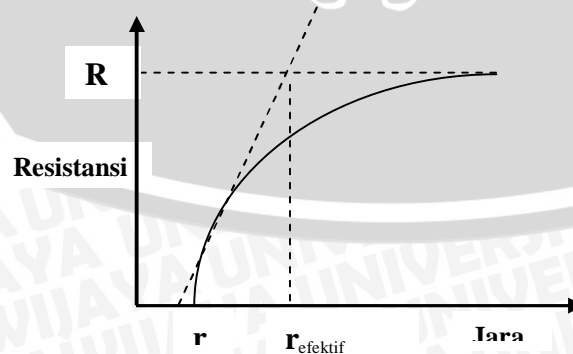


Gambar 2.4 Distribusi arus didalam tanah

-----Sumber: G.F Tagg, 1964: 90

Pada Gambar 2.4 mengandaikan arus I mengalir ke tanah melalui elektroda hemisphere.

Arus I mengalir ke semua arah dan jika elektroda kembali sepanjang jalur yang jauh, maka arus akan mengalir secara seragam pada semua arah. Semua permukaannya tersusun secara seri. Jarak dari elektroda bertambah sehingga elemennya juga bertambah, sedangkan nilai resistansinya perlahan berkurang. Kurva resistansi terhadap jarak diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik fungsi resistansi terhadap jarak

-----Sumber: G.F Tagg, 1964: 91

Jika sel individual pada radius x , mempunyai lapisan tipis setebal dx , mempunyai resistansi dR yang dinyatakan:

$$dR = \frac{\rho dx}{2\pi x^2} \quad (2-6)$$

Integrasi dari r menuju titik r_1 menghasilkan :

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right) \quad (2-7)$$

Bila r_1 berada dijauh tak berhingga ($r_1 = \infty$), maka rumusan di atas menjadi :

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2-8)$$

Yang menyatakan resistansi efektif sistem pembumian.

Karena kapasitansi elektroda bola C yang berjari-jari r di udara adalah sama dengan r , maka resistansi efektif tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi C} \quad (2-9)$$

dengan

R = tahanan satu batang elektroda (ohm)

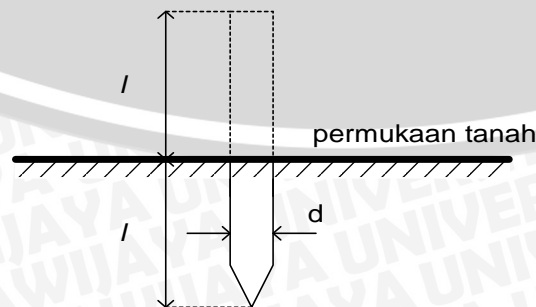
ρ = resistivitas tanah (ohm-cm)

C = kapasitansi elektroda (farad)

Pendekatan yang paling bagus diperoleh dengan menganggap elektroda sebagai setengah putaran ellipsoida dimana axis mayor lebih besar dibandingkan axis minor, Maka dapat dinyatakan muatan sebuah ellipsoid adalah [G.F Tagg, 1964: 94]:

$$C = \frac{a}{2 \log_e \frac{2a}{b}} \quad (2-10)$$

Dimana a adalah panjang axis mayor dan b adalah panjang axis minor dari ellips



Gambar 2.6 Elektroda batang dan bayangannya

-----Sumber: G.F Tagg, 1964: 94

Pada Gambar 2.6 menunjukkan penanaman elektroda batang dengan bayangannya. Yang digunakan untuk mengetahui kapasitansi elektroda batang.

Jika Persamaan (2-5) diterapkan untuk elektroda batang, maka:

$$C = \frac{2l}{2 \log_e \frac{4l}{d}} = \frac{l}{\log_e \frac{4l}{d}} \quad (2-11)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2-11) ke Persamaan (2-9), maka besar resistansi dari suatu elektroda batang yang ditanam tegak lurus dengan tanah dapat ditentukan dengan Persamaan (2-12) [G.F Tagg, 1964:96]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \log_e \frac{4l}{d} \quad (2-12)$$

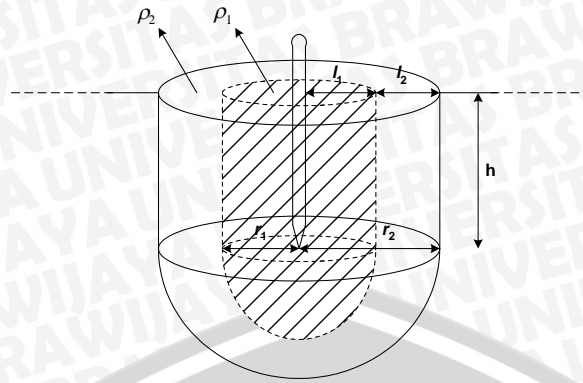
dengan

- R = tahanan satu batang elektroda (ohm)
- ρ = tahanan jenis elektroda batang (ohm-cm)
- l = panjang elektroda batang dalam tanah (cm)
- d = diameter konduktor pembumian (cm)

2.12 Pengaruh Ketidakseragaman Lapisan Tanah Terhadap Nilai Resistansi Pembumian

Kandungan mineral tanah akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu menyangkut nilai resistivitas. Faktor luar tanah yang ikut menentukan harga resistivitas (ρ) adalah campuran bahan lain seperti air, garam, larutan kimia, arang dan lain-lain. Adanya perbedaan unsur kimia penyusun lapisan tanah mengakibatkan ketidakseragaman lapisan tanah [Roy, 1997]. Akibat dari ketidakseragaman lapisan tanah terhadap nilai resistansi tanah adalah perbedaan nilai resistansi tanah dari setiap lapisan tanah. Sehingga tidak mengherankan, apabila terkadang nilai resistivitas tanah bagian dalam yang seharusnya semakin kecil karena semakin 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 pembumian. Analisis kuantitatif untuk pengaruh heterogenitas tanah ditunjukkan pada Persamaan (2-13) sampai (2-16) dengan mengacu pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Heterogenitas lapisan tanah

----- Sumber: Carpenter, 1997

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap tanah, sehingga nilai resistansi tanah untuk setiap lapisan tanah yang heterogen dapat dirumuskan dengan Persamaan (2-13) dan (2-14)

$$R_1 = \frac{\rho_1 \cdot l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 \cdot l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi r_1^2)} \quad (2-13)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 \cdot l_2}{A_2} = \frac{\rho_2 \cdot l_2}{(2\pi r_2 h + 2\pi r_2^2)} \quad (2-14)$$

Heterogenitas untuk setiap lapisan tanah jenis -n sesuai dengan Gambar 2.7 dapat dirumuskan dengan persamaan (2-15)

$$R_n = \frac{\rho_n \cdot l_n}{A_n} = \frac{\rho_n \cdot l_n}{(2\pi r_n h + 2\pi r_n^2)} \quad (2-15)$$

Sehingga nilai resistansi pembumian dengan mengabaikan nilai resistansi elektroda batang dan resistansi kontak antara elektroda batang dengan tanah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_e = R_1 + R_2 \dots\dots\dots + R_n \quad (2-16)$$

dengan

R_e = resistansi pembumian (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)

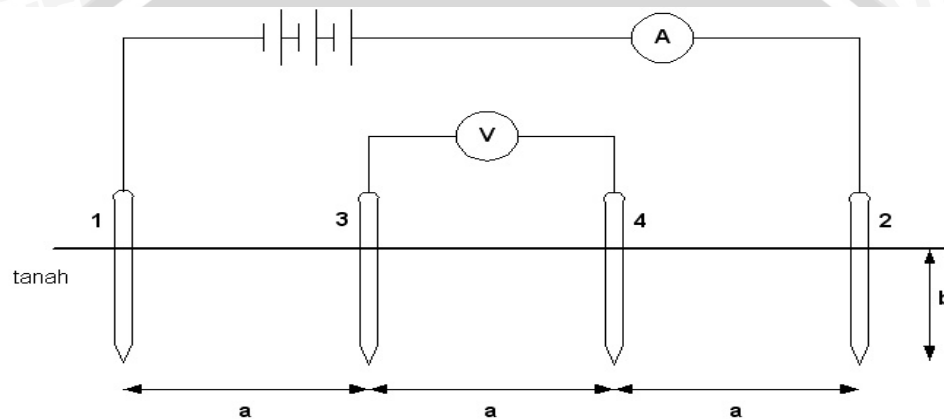
h = kedalaman penanaman elektroda batang (cm)

n = jenis tanah -n = 1,2,3.....dst.

2.13 Metode Pengukuran Resistivitas Dan Resistansi Tanah

2.13.1 Pengukuran Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah dapat diketahui dengan menggunakan metode empat titik, yaitu menyusun empat buah elektroda batang pada satu garis dengan jarak yang sama antara elektroda batang yang satu dengan elektroda batang yang lainnya. Dengan syarat bahwa diameter dari elektroda batang yang dimasukkan ke tanah tidak boleh lebih dari 10 persen dari jarak antara elektroda, dan semua elektroda batang yang dimasukkan ke tanah harus memiliki kedalaman yang sama, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pengukuran resistivitas tanah dengan menggunakan metode empat titik

Sumber: T.S Hutauruk, 1987:142

Arus I dapat mengalir dan dapat terbaca pada Ampermeter karena adanya lebih dari satu buah elektroda batang yang dimasukkan ke tanah sehingga membentuk *loop* tertutup, arus masuk ke tanah melalui salah satu elektroda batang dan kembali melalui elektroda batang yang lain. Pengukuran resistivitas tanah dengan menggunakan metode empat titik tidak dipengaruhi oleh diameter dari elektroda batang dan komponen penghantarnya, tetapi sangat dipengaruhi oleh jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah. Mengacu pada Gambar 2.8 maka dapat dihitung nilai efektif dari resistivitas tanah, yang ditunjukkan pada Persamaan (2-17) [G.F Tagg, 1964:14]:

$$\rho = \frac{4\pi a U}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{(4a^2 + 4b^2)}}\right) I} = \frac{4\pi a U}{n I} \quad (2-17)$$

Dengan,

- a = jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah (cm)
 b = kedalaman penanaman elektroda batang (cm)
 ρ = resistivitas tanah (ohm-cm)
 U = tegangan yang terukur pada Voltmeter (volt)
 I = arus yang terukur pada Amperemeter (ampere)
 n = memiliki nilai antara 1 sampai 2 tergantung oleh perbandingan b/a
 apabila $b=a$, maka $n= 1,187$;
 apabila $b=2a$, maka $n= 1,038$.

Dengan kasus yang sama apabila nilai a jauh lebih besar jika dibandingkan dengan b , maka nilai resistivitas tanah menjadi:

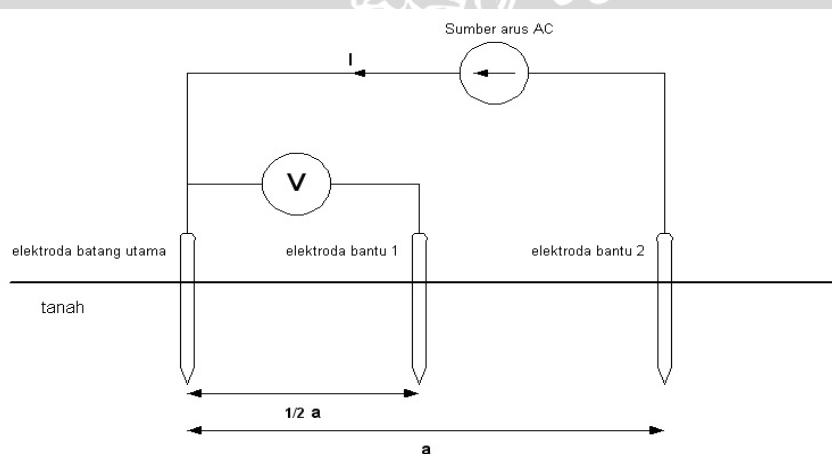
$$\rho = \frac{2\pi aU}{I} \quad (2-18)$$

Dan apabila nilai b jauh lebih besar jika dibandingkan dengan a , maka nilai resistivitas tanah menjadi:

$$\rho = \frac{4\pi aU}{I} \quad (2-19)$$

2.13.2 Pengukuran Resistansi Tanah

Untuk mengetahui besar resistansi tanah dapat menggunakan metode tiga titik, yaitu dengan memasang tiga buah elektroda batang yang terdiri satu buah elektroda batang utama dan dua buah elektroda batang bantu dengan jarak tertentu. Dengan memberikan sumber arus yang dipasang antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 2, serta memasang Voltmeter yang dipasang antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 1, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pengukuran resistansi tanah dengan menggunakan metode tiga titik

----- Sumber: T.S Hutauruk, 1987:144

a adalah jarak antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 2, dan elektroda batang bantu 1 dimasukkan ke tanah dengan jarak minimal $\frac{1}{2} a$ dari elektroda batang utama.

Setelah menetapkan besar arus yang dialirkan ke tanah dan didapatkan hasil pengukuran pada Voltmeter, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai Persamaan (2-20):

$$U = R.I$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (2-20)$$

Dengan:

U = tegangan yang terukur oleh Voltmeter (volt)

I = besar arus yang diinjeksikan oleh sumber arus (ampere)

R = resistansi tanah (ohm)



BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam penyusunan skripsi ini adalah metode perhitungan dimana data-data yang didapatkan akan dihitung dan kemudian di analisa, adapun metode ini meliputi:

3.1 Studi Literatur

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

- a. Penelitian terdahulu
- b. Sifat-sifat kimia arang
- c. Resistivitas arang tempurung kelapa
- d. Mekanisme interaksi arang dengan air
- e. Tanah sebagai konduktor
- f. Jenis tanah
- g. Resistivitas arang tempurung kelapa dan tanah
- h. Resistansi pembumian
- i. Sistem pembumian
- j. Jenis elektroda pembumian
- k. Sistem pembumian menggunakan elektroda batang (*rod*)
- l. Penanaman satu elektroda batang pembumian tegak lurus dengan permukaan tanah
- m. Pengaruh ketidak seragaman lapisan tanah terhadap nilai resistansi embumian
- n. Metode pengukuran resistivitas dan resistansi tanah

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

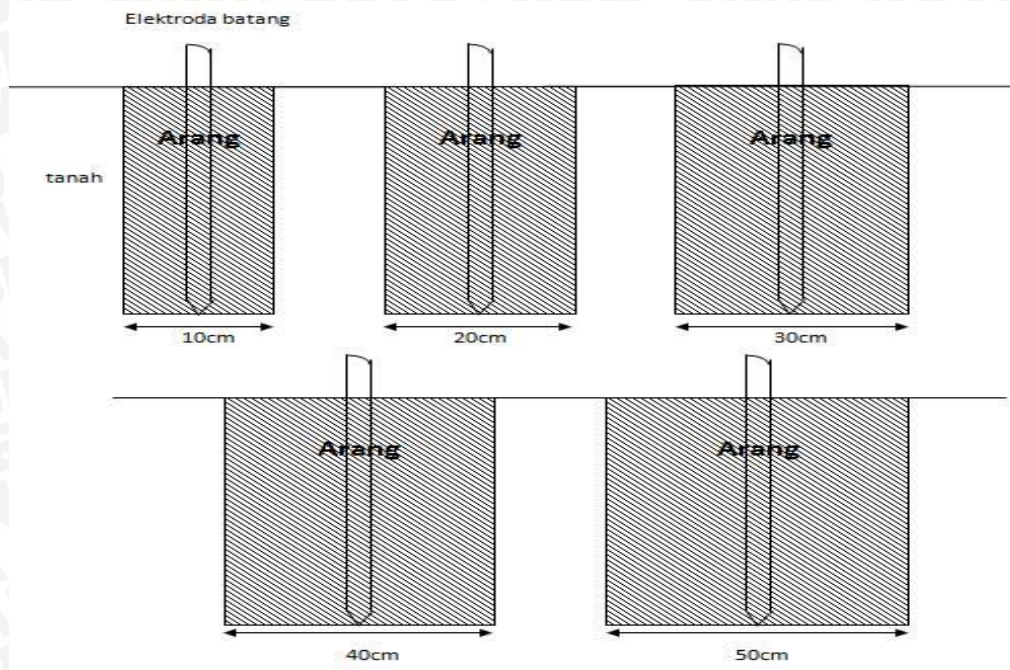
Penelitian dilakukan di lapangan terbuka di sekitar Dukuh Jetis Desa Mulyoagung Kecamatan Dau Kabupaten Malang pada bulan Juni sampai dengan bulan Juli 2013.

3.3 Perencanaan Penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan elektroda alat untuk mencari karakteristik pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai resistansi pembumian ini meliputi:

- a. Mempersiapkan medium tanah yang akan digunakan untuk pengujian
Medium tanah yang akan digunakan untuk pengujian yaitu jenis Tanah Lempung supaya kondisi saat dilakukan pengujian satu ke pengujian lainnya tidak jauh berbeda/seragam, dengan tujuan agar data yang diambil pada semua model percobaan lebih akurat karena jenis tanah yang akan diuji adalah sama.
- b. Pemilihan bentuk elektroda
Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini berupa batang (*rod*). Elektroda batang yang digunakan terbuat dari baja bulat berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5 mm.
- c. Mempersiapkan arang tempurung kelapa
Arang tempurung kelapa yang digunakan adalah arang tempurung kelapa yang ada di pasaran. Ukuran partikel arang tempurung kelapa dibuat seragam dengan menggunakan ayakan dengan satu ukuran tertentu, agar nilai tahanan kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah disekitarnya menjadi sangat kecil dan dapat diabaikan.
- d. Metode pengukuran
Dalam penelitian ini menggunakan metode 3 titik untuk mengukur resistansi pembumian dan metode 4 titik untuk mengukur resistivitas media disekitar elektroda batang.

Benda uji yang digunakan untuk mencari karakteristik pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai resistansi pembumian dengan menggunakan elektroda batang adalah satu kesatuan elektroda yang terdiri dari komponen konduktor elektroda batang yang ditanam dalam tanah bersama arang tempurung kelapa. Variabel yang diubah-ubah pada benda uji adalah diameter arang tempurung kelapa dengan kerapatan tertentu yang ditanam konsentris elektroda batang. selain itu arang tempurung kelapa juga akan ditambahkan air untuk mengetahui perubahan nilai resistansi pembumian jika arang tempurung dalam kondisi basah Untuk memperoleh data-data tersebut dilakukan dengan beberapa variasi model obyek uji yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



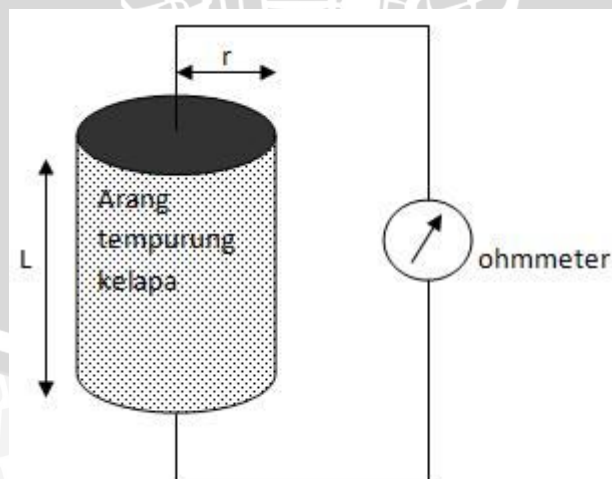
Gambar 3.1 Variasi peletakan arang tempurung kelapa pada obyek uji

Sumber: perencanaan

3.4 Rangkaian Pengukuran

3.4.1 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung kelapa

Arang tempurung kelapa yang akan digunakan sebagai media untuk memperkecil nilai resistansi pbumian dimasukkan kedalam pipa PVC tersebut dengan diberi penutup PCB pada setiap ujung pipa dan dipasang kawat tembaga untuk mempermudah pengukuran, yang ditunjukkan pada Gambar 3.2



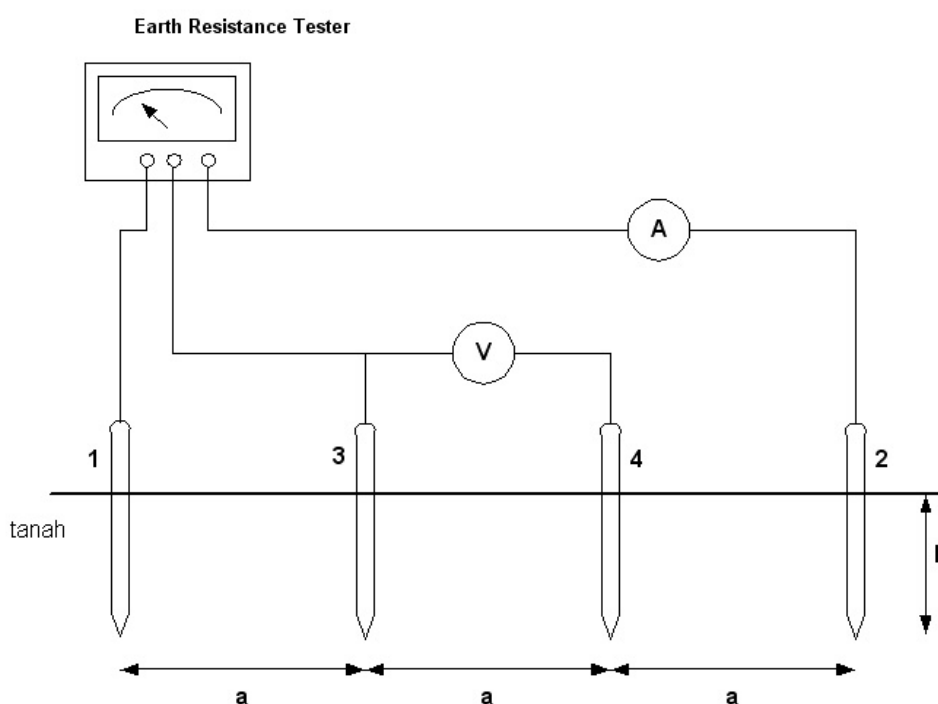
Gambar 3.2 Pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa

Sumber: perencanaan

Dari rangkaian pada Gambar 3.2 maka diperoleh nilai resistansinya dengan ohmmeter. Resistansi arang tempurung kelapa yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung resistivitas arang tempurung kelapa yang ditunjukkan dengan menggunakan Persamaan (2-2).

3.4.2 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Tanah

Rangkaian pengukuran resistivitas tanah dapat diketahui menggunakan empat buah elektroda batang yang dihubungkan dengan *Earth Resistance Tester*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



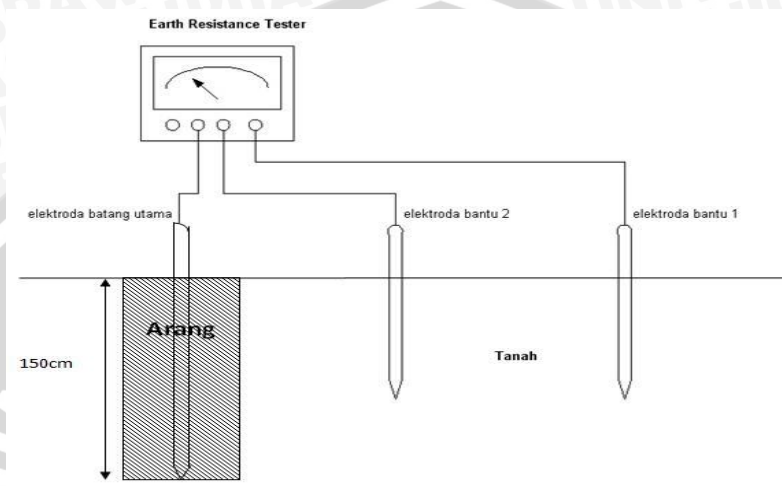
Gambar 3.3 Pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode empat titik dengan *Earth Resistance Tester*

Sumber : perencanaan

Earth Resistance Tester selain digunakan untuk mengukur nilai resistansi pembumian, dapat juga digunakan untuk menghasilkan sumber tegangan, yang dibutuhkan dalam pengukuran resistivitas tanah. Arus I dapat mengalir dan dapat terbaca pada Ampermeter karena adanya lebih dari satu buah elektroda batang yang dimasukkan ke tanah sehingga membentuk *loop* tertutup, arus masuk ke tanah melalui salah satu buah elektroda batang dan kembali ke elektroda batang yang lain. Setelah itu dapat diketahui nilai tegangan dan arus yang terbaca pada masing-masing alat ukur Voltmeter dan Ampermeter.

3.4.3 Rangkaian Pengukuran Resistansi Pembumian

Rangkaian pengukuran resistansi pembumian dengan menggunakan elektroda batang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Satu elektroda sebagai elektroda utama dan elektroda lainnya sebagai elektroda bantu. Dari rangkain tersebut, arus mengalir dari sumber tegangan yang berasal dari *Earth Resistance Tester* ke elektroda utama, kemudian melalui tanah dan menuju ke elektroda bantu.



Gambar 3.4 Pengukuran resistansi pembumian dengan menggunakan Earth Resistance Tester

Sumber: perencanaan

Dengan menggunakan *Earth Resistance Tester*, maka akan diketahui besar resistansi pembumian.

3.5 Langkah-langkah Pengukuran

3.5.1 Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung kelapa

Arang tempurung kelapa yang akan digunakan dalam penelitian akan diukur resistivitas arang tempurung kelapa yang akan digunakan sebagai media untuk memperkecil resistansi pembumian dengan menggunakan pipa PVC dengan diameter dan panjang tertentu dengan diberi penutup PCB pada setiap ujung pipa dan dipasang kawat tembaga, lalu dihubungkan pada ohmmeter. Setelah arang tempurung kelapa yang digunakan ditimbang dan dicatat massanya, kemudian dicampurkan dengan tanah yang akan diukur resistansinya. Kemudian dimampatkan untuk mendapatkan kerapatan tertentu, dengan menggunakan Persamaan (2-3). Setelah diketahui nilai resistivitas arang tempurung kelapa, maka akan diketahui pengaruh konsentrasi air dalam arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian. Tujuan pengukuran nilai

resistivitas dari arang tempurung kelapa tersebut adalah untuk mengetahui nilai resistivitas arang tempurung kelapa sebelum atau sesudah pemberian air.

3.5.2 Pengukuran Resistivitas Tanah

Pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode 4 titik dengan menggunakan "Earth Resistance Tester" yang rangkaianannya ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pada pengukuran resistansi tanah besar arus yang mengalir ke tanah akan terbaca pada Ampermeter dan hasil pengukuran pada Voltmeter juga terbaca, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai Persamaan (2-20). Setelah resistansi tanah diketahui, maka dapat diketahui besar resistivitas tanah dengan perhitungan sesuai dengan Persamaan (2-17).

3.5.3 Pengukuran Resistansi Pembumian

Pengukuran resistansi pembumian jenis elektroda batang (tanpa dan dengan arang tempurung kelapa) untuk berbagai perubahan variabel menggunakan metode 3 titik dengan menggunakan alat ukur resistansi pembumian yaitu "Earth Resistance Tester" yang rangkaianannya ditunjukkan pada Gambar 3.4. Dan model variasi peletakan arang terhadap elektroda batang pembumian dengan peletakan elektroda batang utama simetris terhadap luasan tanah yang digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini, ditunjukkan pada Gambar 3.1.

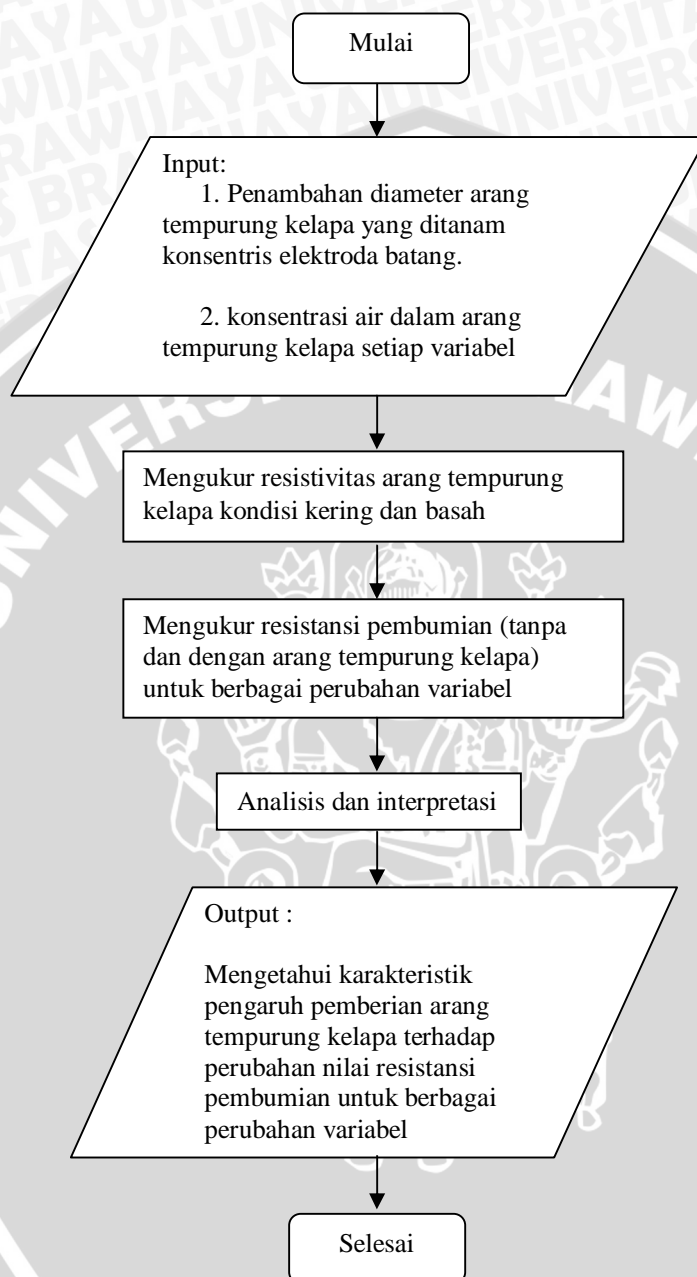
3.6 Analisis Hasil Pengujian

Analisis data, yaitu pengolahan data yang telah dikumpulkan dengan metode yang diperoleh dari literatur yang ada. Sehingga mengetahui karakteristik pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai resistansi pembumian. Sehingga dari pengujian tersebut dapat diketahui:

3. Pengaruh Penambahan diameter arang tempurung kelapa dengan model peletakan arang pada posisi yang konsentris elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian
4. Pengaruh konsentrasi air dalam arang tempurung kelapa pada tiap-tiap penambahan diameter arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian studi pemanfaatan arang tempurung kelapa untuk perbaikan resistansi pembumian jenis elektroda batang dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB IV

DATA DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN

Data-data dalam penelitian adalah data-data yang didapatkan dari hasil pengambilan data berupa pengukuran dilapangan. Langkah-langkah setelah mendapatkan data-data tersebut adalah menghitung, menganalisis dan menginterpretasikannya. Data-data yang telah didapatkan bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap perubahan nilai resistansi pembumian. Sebelum pengambilan data tersebut perlu dilakukan pengujian mengenai karakteristik sifat-sifat kelistrikan arang tempurung kelapa, sehingga dari pengujian tersebut dapat dianalisis:

5. Pengaruh Penambahan diameter arang tempurung kelapa dengan model peletakan arang pada posisi yang konsentris elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian
6. Pengaruh konsentrasi air dalam arang tempurung kelapa pada tiap-tiap penambahan diameter arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian

4.1 Pengaruh Penambahan Arang Tempurung kelapa Secara Konsentris Elektroda Batang Terhadap Nilai Resistansi Pembumian

Pengukuran resistansi arang tempurung kelapa yang bertujuan untuk mengetahui nilai resistivitasnya. Arang tempurung kelapa yang akan digunakan dalam penelitian adalah arang tempurung kelapa yang sudah diayak dengan beberapa macam ukuran *mesh* yang berbeda sehingga arang memiliki ukuran partikel yang berbeda-beda. Namun sebelum menetapkan ukuran partikel arang yang akan digunakan dalam penelitian, maka terlebih dahulu membandingkan besar pengaruh kerapatan terhadap masing-masing ukuran partikel arang yang berbeda-beda tersebut. Setelah mengetahui pengaruh ukuran partikel arang terhadap kerapatannya, lalu menganalisis serta menetapkan ukuran partikel arang tempurung kelapa yang memiliki kerapatan tertentu yang nantinya akan digunakan sebagai variabel tetap dalam penelitian selanjutnya. Kerapatan partikel sangat mempengaruhi nilai resistivitasnya. Bersamaan dengan itu dilakukan juga penelitian tentang pengaruh pemberian air dengan kadar air tertentu pada arang tempurung kelapa sehingga dapat diketahui pengaruh konsentrasi air dalam arang tempurung kelapa terhadap kerapatan partikel serta nilai resistivitasnya.

4.1.1 Perhitungan Resistansi Elektroda Batang

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

Data perhitungan resistansi elektroda batang yaitu:

Elektroda batang terbuat dari bahan baja berlapis tembaga

ρ	(resistivitas elektroda batang)	= $1,6 \times 10^{-6}$ ohm- cm
l	(panjang elektroda batang dalam tanah)	= 150 cm
d	(diameter elektroda batang)	= 1,5 cm

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

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{2\pi l} \log_e \frac{4l}{d} \\
 &= \frac{1,6 \times 10^{-6}}{2(3,14)(150)} \log_e \frac{4(150)}{1,5} \\
 &= 4,2463 \times 10^{-9} (69,4871) \\
 &= 295,063 \times 10^{-9} \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

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

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

4.1.2 Pengukuran Resistivitas Tanah

Pengukuran resistivitas tanah menggunakan metode *Wenner*, yaitu metode pengukuran resistivitas tanah dengan menyusun empat buah elektroda batang pada satu garis dengan jarak yang sama antara elektroda batang yang satu dengan elektroda batang yang lainnya. Rangkaian pengukuran dengan menggunakan empat buah elektroda batang yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3. Dan hasil

pengukuran tegangan dan arus masing-masing akan terbaca pada alat ukur Voltmeter dan Ampermeter, tabel 4.1. menunjukkan besar tegangan dan arus yang terbaca pada masing-masing diameter arang hasil pengukuran.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran tegangan dan arus dengan berbagai variasi penambahan diameter arang Tempurung kelapa

Diameter arang (cm)	U (volt)	I (ampere)
10	0,057	0,103
20	0,047	0,088
30	0,040	0,076
40	0,032	0,063
50	0,023	0,047

Sumber: Hasil pengukuran

Setelah didapatkan besar tegangan dan arus yang terukur maka nilai resistansi pembumian dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-20). Kemudian setelah nilai resistansi tanah diketahui, maka dapat diketahui resistivitas tanah dengan perhitungan sesuai dengan Persamaan (2-17).

Data perhitungan resistivitas tanah lempung pada baris kesatu Tabel 4.1 yaitu:

- a (jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah) = 500 cm
 b (kedalaman penanaman elektroda batang) = 150 cm
 U (tegangan terukur pada Voltmeter) = 0,057 V
 I (arus terukur pada Ampermeter) = 0,103 A

Dengan menggunakan Persamaan (2-17), maka untuk diameter arang 10cm resistivitasnya dapat dihitung yaitu:

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

$$= \frac{4 (3,14) (500) (0,057)}{\left(1 + \frac{2(500)}{\sqrt{(500^2 + 4(150)^2)}} - \frac{2(500)}{\sqrt{(4(500)^2 + 4(150)^2)}}\right) 0,103}$$

$$= \frac{4 (3,14) (500) (0,5534)}{1 + \frac{2(500)}{\sqrt{(500^2 + 4(150)^2)}} - \frac{2(500)}{\sqrt{(4(500)^2 + 4(150)^2)}}$$

$$\rho = 1977,82 \Omega - cm$$

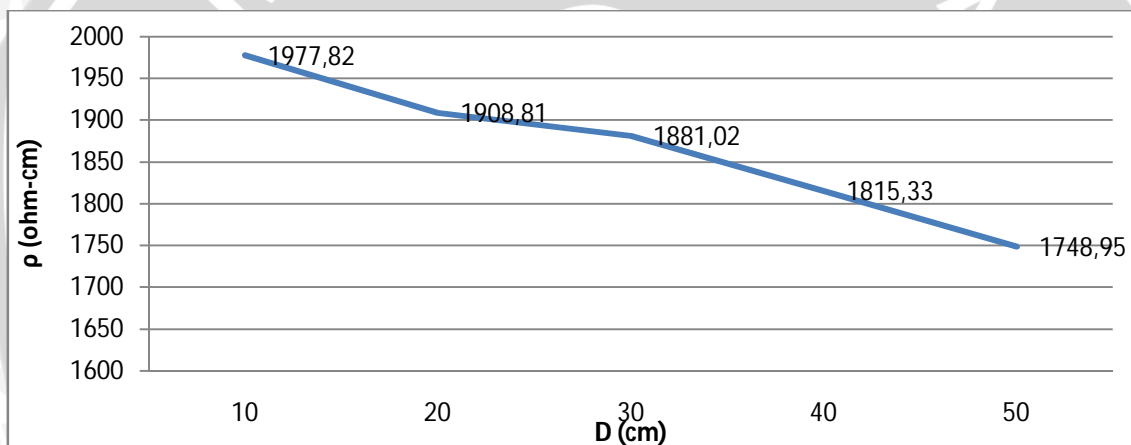
Jadi resistivitas tanah hasil pengukuran adalah 1977,82Ω -cm

Hasil perhitungan resistivitas tanah untuk setiap penambahan diameter arang tempurung kelapa ditunjukkan pada tabel 4.2. dan grafik fungsi resistivitas tanah terhadap diameter arang tempurung kelapa ditunjukkan pada gambar 4.1

Tabel 4.2 Hasil pengukuran resistivitas tanah dengan berbagai variasi penambahan diameter arang Tempurung kelapa dengan $a=500$ cm dan $b=150$ cm

Diameter arang (cm)	U (volt)	I (ampere)	ρ (ohm-cm)
10	0,057	0,103	1977,82
20	0,047	0,088	1908,81
30	0,040	0,076	1881,02
40	0,032	0,063	1815,33
50	0,023	0,047	1748,95

Sumber: Hasil pengukuran



Gambar 4.1 Grafik fungsi resistivitas tanah terhadap diameter arang tempurung kelapa

----- Sumber: Hasil pengukuran

Pada Tabel dan Gambar 4.1 tampak bahwa seiring dengan penambahan diameter arang tempurung kelapa, nilai resistivitas tanah akan semakin berkurang.

4.1.3 Pengukuran Resistivitas Arang Tempurung kelapa

Pengukuran nilai resistansi arang tempurung kelapa ini bertujuan untuk mengetahui resistivitas arang tempurung kelapa melalui perhitungan matematis yang berdasarkan data dari hasil pengukuran resistansinya. Rangkaian pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa dapat dilihat pada Gambar 3.2. Ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansinya. Nilai resistansi arang tempurung kelapa yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung resistivitas arang tempurung kelapa dapat menggunakan Persamaan (2-2).

Data perhitungan resistivitas partikel arang tempurung kelapa yaitu:

Ukuran partikel arang tempurung kelapa 1 mm dalam kondisi kering

$$r \text{ (jari-jari tabung pengujian)} = 1,75 \text{ cm}$$

$$l \text{ (tinggi tabung pengujian)} = 5 \text{ cm}$$

$$R \text{ (resistansi arang tempurung kelapa)} = 598,37 \text{ ohm}$$

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

$$\rho = \frac{\pi r^2 \cdot R}{l} = \frac{(3,14) (1,75)^2 (598,37)}{5}$$

$$\rho = 1150,815 \text{ ohm} - \text{cm}$$

Jadi resistivitas arang tempurung kelapa hasil pengukuran adalah 1150,815 ohm-cm.

Nilai resistivitas arang tempurung kelapa 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 partikel arang tempurung kelapa pada ukuran partikel yang sama, maka resistivitasnya semakin kecil [yudistiro,2008]

4.1.4 Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa Disekitar Elektroda Batang Terhadap nilai Resistansi Pembumian Berdasarkan Analisis Numerik

Untuk mengetahui pengaruh Penambahan Diameter arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumiannya, perlu dilakukan pengukuran nilai resistansi pembumian lapangan. Pengukuran ini bertujuan untuk membandingkan nilai resistansi pembumian hasil pengukuran dan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik. Pengukuran resistansi pembumian menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester*, rangkaian pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 3.4. Model peletakan arang tempurung kelapa terhadap elektroda batang pada tanah ditunjukkan pada Gambar 3.1..

Tabel 4.3 Hasil pengukuran resistansi pembumian sebelum dan sesudah pemberian arang tempurung kelapa

Tanah	R_e (ohm)
1. Sebelum pemberian arang Tempurung kelapa	10,97
2. Setelah pemberian arang Tempurung kelapa, dengan penambahan diameter arang tempurung kelapa pada:	
- 10 cm	6,12
- 20 cm	5,72
- 30 cm	5,41
- 40 cm	4,76
- 50 cm	4,73

Sumber: Hasil pengukuran

Keterangan: R_e = resistansi pembumian (ohm)

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi pembumian yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, maka terlihat bahwa pemberian arang tempurung kelapa yang diletakkan konsentris elektroda batang dapat menurunkan nilai resistansi pembumian. Nilai resistansi pembumian sebelum pemberian arang tempurung kelapa pada tanah sebesar 10,97 ohm dan nilai resistansi pembumian setelah pemberian arang tempurung kelapa pada tanah untuk tiap penambahan arang tempurung kelapa bernilai lebih kecil dari nilai resistansi pembumian sebelum pemberian arang tempurung kelapa. Pada Tabel 4.3 menunjukkan nilai resistansi pembumian setelah pemberian arang tempurung kelapa pada tiap penambahan diameter arang tempurung kelapa.. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa penambahan diameter arang tempurung kelapa pada tanah dengan diameter 50 cm memiliki nilai resistansi pembumian yang paling kecil.

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

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

$$R_T = \frac{\rho_T \cdot l_T}{2\pi \cdot r_T^2}$$

dengan:

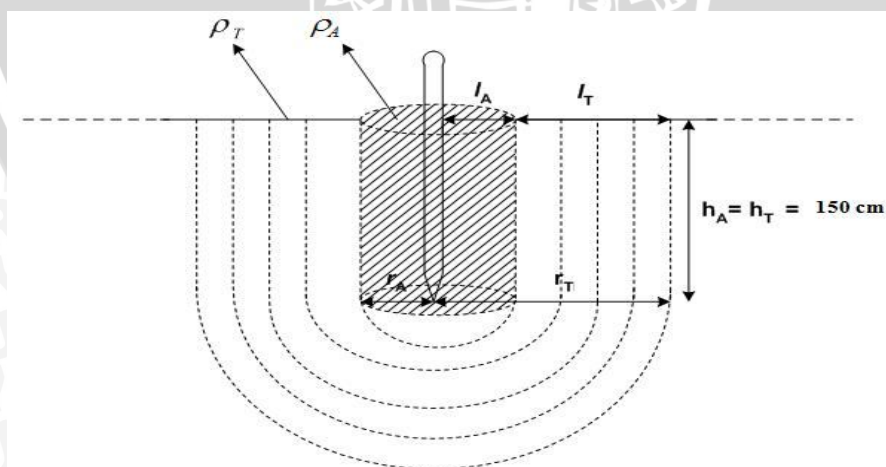
- R_e = resistansi pembumian (ohm)
- R_A = resistansi medium tanah bidang tabung (ohm)
- R_T = resistansi medium tanah bidang setengah lingkaran (ohm)
- ρ_A = resistivitas medium tanah bidang tabung (ohm-cm)
- ρ_T = resistivitas tanah setengah lingkaran (ohm-cm)
- l_A = tebal lapisan medium tanah bidang tabung (cm)
- l_T = tebal lapisan tanah setengah lingkaran (cm)
- r_A = jari-jari lapisan medium tanah bidang tabung (cm)
- r_T = jari-jari lapisan medium tanah setengah lingkaran (cm)
- h_A = kedalaman penanaman elektroda batang (cm)

Medium tanah yang berbentuk tabung untuk tiap-tiap penambahan diameter dari 10 cm sampai 50 cm akan digantikan arang tempurung kelapa, selebihnya tetap menggunakan tanah.

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

4.1.4.1 Penambahan Arang Tempurung Kelapa dengan Diameter 10 cm

Perhitungan resistansi pembumian pada lapisan pertama, dimana medium tanah bidang tabung diameter 10 cm diganti dengan arang tempurung kelapa



Gambar 4.2 Model peletakan arang tempurung kelapa diameter 10cm

Sumber: Hasil perencanaan

dengan:

$$l_A = l_T = 5 \text{ cm} \quad \rho_A = 1150,815 \text{ ohm-cm}$$

$$r_A = r_T = 5 \text{ cm} \quad \rho_{T10} = 1977,825 \text{ ohm-cm}$$

$$h_A = h_T = 150 \text{ cm}$$

maka :

$$R_T = \frac{(1977,825) \cdot (5)}{(6,28) \cdot (5)^2} = 62,98 \text{ ohm}$$

$$R_A = \frac{(1150,815) \cdot (5)}{(6,28) \cdot (5) \cdot (150)} = 1,22 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_T$$

$$R_e = \frac{(R_A \times R_T)}{(R_A + R_T)} = 1,19 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang perhitungannya lengkapnya ditunjukkan pada **Lampiran 2**.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan model peletakan arang tempurung kelapa diameter 10cm untuk setiap lapisan ($l= 5 \text{ cm}$)

n	r (cm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	5	1,198428	1,198
2	10	0,984186	2,183
3	15	0,636241	2,819
4	20	0,463146	3,282
5	25	0,359931	3,642
6	30	0,291611	3,934
7	35	0,243197	4,177
8	40	0,207197	4,384
9	45	0,10901	4,493
10	50	0,096009	4,589
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
85	425	0,004334	5,988

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan: n = lapisan tanah ke-
= 1, 2, 3, 4....dst
 R_n = resistansi tanah pada lapisan ke-n (ohm)
 R_e = resistansi pembumian (ohm)

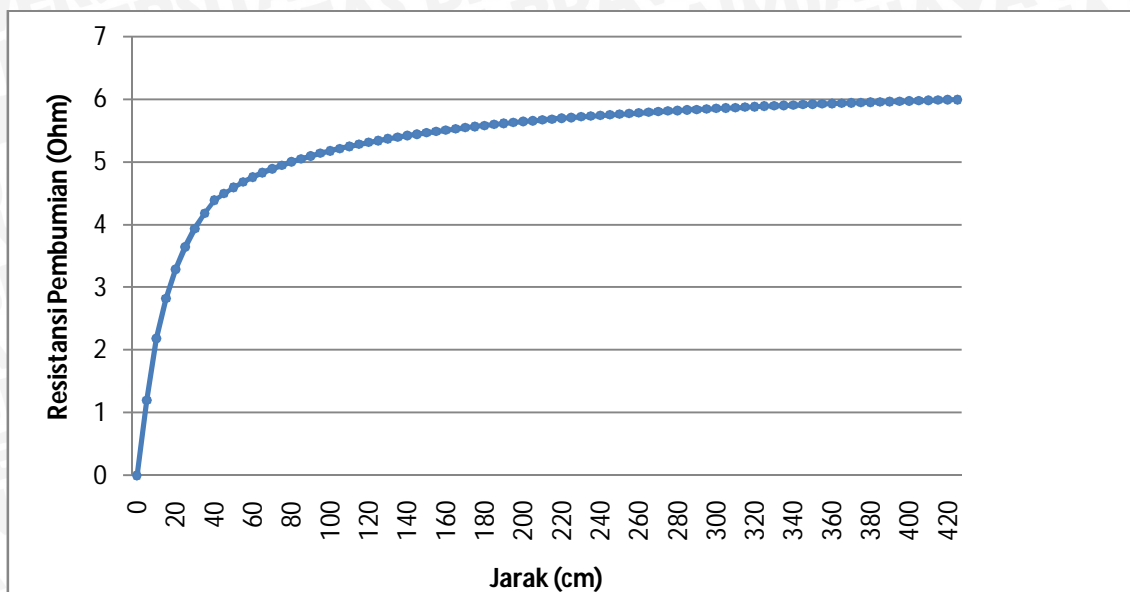
$$R_e = \sum_1^n R_n$$

Tabel 4.4 menunjukkan perhitungan nilai resistansi pembumian pada setiap lapisan tanah dengan tebal lapisan yang sama dilakukan hingga lapisan ke 85, karena

pada lapisan tanah tersebut selisih nilai resistansi pembumian terkecil antar lapisan tanah yaitu mencapai 0,003 ohm. Pada Tabel 4.4 terlihat nilai resistansi pembumian pada setiap tebal lapisan yang sama memiliki nilai resistansi pembumian yang berbeda-beda. Resistansi pembumian untuk setiap lapisan tanah memiliki kecenderungan nilainya semakin kecil.

Penambahan arang Tempurung kelapa pada 10 cm memiliki nilai resistansi tanah pada lapisan pertama sebesar 1,198 ohm, nilai resistansi tanah pada lapisan kedua mengalami penurunan sebesar 82% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan pertama, nilai resistansi tanah pada lapisan ketiga mengalami penurunan sebesar 64% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kedua, nilai resistansi tanah pada lapisan keempat mengalami penurunan sebesar 73% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan ketiga, nilai resistansi tanah pada lapisan kelima mengalami penurunan sebesar 77% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan keempat, nilai resistansi tanah pada lapisan keenam mengalami penurunan kembali sebesar 81% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kelima, nilai resistansi tanah pada lapisan ketujuh mengalami penurunan kembali sebesar 83% dari nilai resistansi pembumian pada lapisan kedelapan.

Lapisan pertama yang memiliki tebal lapisan 5 cm adalah lapisan arang, resistansi tanah pada lapisan tersebut bernilai paling kecil jika dibandingkan dengan nilai resistansi tanah pada lapisan pertama untuk setiap penambahan arang tempurung kepala. Pada lapisan tanah kedua hingga seterusnya adalah tanah lempung, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Terlihat pada Tabel 4.4 bahwa nilai resistansi tanah mengalami penurunan secara linier mulai dari lapisan pertama hingga lapisan ke-85 dan prosentase penurunannya semakin besar mulai dari lapisan sebelumnya hingga lapisan berikutnya sehingga pada jarak berapapun nilai resistansi tanah dan nilai resistansi pembumian memiliki nilai tetap. Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.



Gambar 4.3 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 10cm

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan ketigabelas mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan keempatbelas mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah keempatbelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan yang cukup besar terhadap nilai resistansi pembumiannya. Nilai resistansi tanah akan naik hingga pada nilai tertentu nilai resistansi tanah tidak mengalami perubahan dan memiliki nilai yang cenderung tetap, hal ini berarti nilai resistansi pembumian mengalami titik jenuh. Jarak pada titik itu disebut sebagai jari-jari efektif.

Untuk penambahan arang tempurung kelapa dengan diameter 20 cm, 30 cm 40 cm dan 50 cm menggunakan perhitungan yang sama seperti perhitungan pada penambahan arang tempurung kelapa diameter 10 cm. Perhitungan resistansi pembumian tiap – tiap penambahan diameter arang tempurung kelapa secara lengkap dapat dilihat pada lembar **Lampiran 2, 3, 5, 7 dan 9** sementara grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada tiap lapisan yang sama tiap – tiap penambahan diameter arang dapat dilihat pada **Lampiran 4, 6, 8, 10**.

Hasil pengukuran dan perhitungan analisis numerik resistansi pembumian dengan penambahan diameter arang tempurung kelapa 10 cm sampai 50 cm ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan antara nilai resistansi pembumian hasil pengukuran dengan nilai resistansi pembumian hasil analisis numerik

Diameter penambahan arang tempurung kelapa (cm)	R_e hasil pengukuran (ohm)	R_e hasil analisis numerik (ohm)
10	6,12	5,988
20	5,72	5,514
30	5,41	5,261
40	4,76	4,736
50	4,73	4,729

--- Sumber: Hasil penelitian

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwa nilai resistansi pembumian mengalami penurunan seiring dengan penambahan arang tempurung kelapa. Prosentase kesalahan untuk diameter arang tempurung kelapa 10 cm adalah 2,2%, untuk diameter arang tempurung kelapa 20 cm adalah 3,6%, untuk diameter arang tempurung kelapa 30 cm adalah 2,75%, untuk diameter arang tempurung kelapa 40 cm adalah 0,5%. Untuk diameter arang tempurung kelapa 50 cm adalah 0,02%.

Setelah dilakukan analisis melalui dua pendekatan yakni pengukuran dan perhitungan numerik, dapat diketahui bahwa penambahan arang tempurung kelapa konsentris elektroda batang dapat mempengaruhi nilai resistansi pembumian. Penambahan arang tempurung kelapa pada tanah dapat menurunkan nilai resistansi pembumian, penambahan dengan diameter arang tempurung kelapa 50 cm memiliki nilai resistansi pembumian yang paling kecil yaitu sebesar 4,279 ohm.

4.2 Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung kelapa

4.2.1 Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung kelapa Terhadap Kerapatannya

Pengaruh pemberian air pada arang tempurung kelapa terhadap kerapatannya dapat diketahui dengan memberikan komposisi air pada arang tempurung kelapa yang memiliki ukuran partikel tertentu. Untuk mengatur komposisi air dalam arang tempurung kelapa, maka dapat dilihat pada Persamaan (2-4). Dengan menggunakan Persamaan (2-5) dan Persamaan (2-3), maka massa dan kerapatan arang tempurung

kelapa dalam keadaan basah akan dapat diketahui. Volume tabung uji yang digunakan dalam pengukuran serta perhitungan kerapatan arang dipilih volume tabung yaitu 48,08 cm³ sebagai variabel tetap.

Data perhitungan kerapatan partikel arang tempurung kelapa yaitu:

Ukuran partikel arang tempurung kelapa 1 mm dalam kondisi basah

$$V \quad (\text{volume tabung pengujian}) \quad = 48,08 \text{ cm}^3$$

$$m_{ak} \quad (\text{massa arang tempurung kelapa kering}) \quad = 13,4 \text{ gr}$$

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

Dengan menggunakan Persamaan (2-5), maka massa arang tempurung kelapa dalam kondisi basah dapat dihitung yaitu:

$$m_{ab} = \left(\frac{KA_a \times m_{ak}}{100\%} \right) + m_{ak}$$

$$m_{ab} = \left(\frac{20\% \times 13,4}{100\%} \right) + 13,4$$

$$= 16,08 \text{ gr}$$

Maka kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah juga dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2-3) sebagai berikut:

$$K = \frac{m_{ab}}{V}$$

$$= \frac{16,08}{48,08}$$

$$= 0,3344 \text{ gr/cm}^3$$

Jadi hasil perhitungan kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah adalah 0,3344 gr/cm³.

Untuk mengetahui besar pengaruh pemberian air pada arang tempurung kelapa terhadap perubahan kerapatan partikelnya dapat diketahui dengan cara membandingkan antara kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi kering (sebelum pemberian air) dengan kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah (setelah pemberian air dengan kadar air). Tabel 4.6 akan menunjukkan hasil perhitungan serta analisis perbandingan kerapatan partikel arang tempurung kelapa sebelum dan setelah pemberian air.

Tabel 4.6 Perbandingan antara kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi kering dengan kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah menggunakan volume tabung uji $V=48,08 \text{ cm}^3$

Ukuran partikel arang tempurung kelapa	Kondisi kering		KA _a (%)	Kondisi basah	
	m _{ak} (gr)	K _k (gr/cm ³)		m _{ab} (gr)	K _b (gr/cm ³)
1 mm	13,4	0,3023	10	38,3	0,3344

Sumber: Hasil pengukuran

Keterangan: K_k = kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi kering
K_b = kerapatan arang tempurung kelapa dalam kondisi basah

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa partikel arang tempurung kelapa dengan ukuran 1 mm yang memiliki massa arang tempurung kelapa dalam kondisi kering sebesar 13,4 gr, dengan volume tabung uji $48,08 \text{ cm}^3$ dan memiliki kerapatan partikel arang sebesar $0,3023 \text{ gr/cm}^3$. Jadi pemberian air pada arang dengan ukuran partikel 1 mm dapat meningkatkan nilai kerapatannya.

4.2.2 Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung kelapa Terhadap Nilai Resistivitasnya

Pengaruh pemberian arang tempurung kelapa terhadap resistivitasnya dapat diketahui dengan memberikan komposisi air pada masing-masing arang tempurung kelapa yang memiliki ukuran partikel tertentu. Kadar air yang akan diberikan pada arang tempurung kelapa adalah 20 persen dari massa arang tempurung kelapa dalam keadaan kering. Adapun rangkaian pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa ditunjukkan pada Gambar 3.2. Ohmmeter akan menunjukkan nilai resistansinya. Nilai resistansi arang tempurung kelapa yang terukur selanjutnya digunakan untuk menghitung resistivitas arang tempurung kelapa. Dengan begitu resistivitas arang tempurung kelapa dalam keadaan basah akan dapat diketahui melalui perhitungan sesuai dengan Persamaan (2-2).

Data perhitungan resistivitas partikel arang tempurung kelapa yaitu:

Ukuran partikel arang tempurung kelapa 1 mm dalam kondisi basah

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

- l (tinggi tabung pengujian) = 5 cm
 KA_a (kadar air dalam arang) = 20%
 R (resistansi arang tempurung kelapa) = 56 ohm

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

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

$$= \frac{(3,14)(1,75)^2 (56)}{5}$$

$$= 107,702 \text{ ohm} - \text{cm}$$

Jadi resistivitas arang tempurung kelapa hasil pengukuran adalah 107,702 ohm-cm.

Berdasarkan hasil pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi basah dengan mengambil beberapa data yang memiliki ukuran partikel 1mm serta kadar air 20% yang terkandung dalam arang, dengan menggunakan analisis yang sama. Maka hasil analisis perhitungan untuk data selanjutnya diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran resistivitas arang tempurung kelapa dengan volume tabung uji $V= 48,08 \text{ cm}^3$

Ukuran partikel arang tempurung kelapa	KA_a (%)	Kondisi basah		
		m_{ab} (gr)	R_b (ohm)	ρ_b (ohm-cm)
1mm	20	38,3	56	107,702

Sumber: Hasil pengukuran

Untuk mengetahui besar pengaruh pemberian air pada arang tempurung kelapa terhadap perubahan resistivitasnya dapat diketahui dengan cara membandingkan antara resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi kering (sebelum pemberian air) berdasarkan data pada Tabel 4.7 dengan resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi basah (setelah pemberian air dengan kadar air yang berbeda-beda). Tabel 4.8 akan menunjukkan hasil perhitungan serta analisis perbandingan resistivitas arang tempurung kelapa sebelum dan setelah pemberian air.

Tabel 4.8 Perbandingan antara resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi kering dengan resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi basah menggunakan volume tabung uji $V= 48,08 \text{ cm}^3$

Ukuran partikel arang tempurung kelapa	Kondisi kering		KA _a (%)	Kondisi basah	
	R _k (ohm)	ρ_k (ohm-cm)		R _b (ohm)	ρ_b (ohm-cm)
1 mm	598,37	1150,815	20	236	107,702

Sumber: Hasil pengukuran

Keterangan:

R_k dan ρ_k = resistansi dan resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi kering

R_b dan ρ_b = resistansi dan resistivitas arang tempurung kelapa dalam kondisi basah

Resistivitas arang tempurung kelapa setelah pemberian air, turun sangat besar jika dibandingkan dengan resistivitas arang dalam kondisi kering (sebelum diberi air). Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa pemberian air pada arang dengan kadar air 20% dapat menurunkan nilai resistivitasnya. Jadi secara umum pemberian air pada arang tempurung kelapa memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap nilai resistivitasnya, apabila arang tempurung kelapa diberi air dengan ukuran kadar air tertentu maka resistivitasnya akan turun menjadi semakin kecil.

4.2.3 Pengaruh Pemberian Air Pada Arang Tempurung kelapa Terhadap Nilai Resistansi Pembumian

Pembahasan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi air dengan variasi penambahan arang tempurung kelapa secara konsentris elektroda batang terhadap nilai resistansi pembumian. Dalam menganalisis pengaruh konsentrasi air dalam arang terhadap nilai resistansi pembumian secara numerik membutuhkan pengkondisian yang sama persis dengan keadaan dilapangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. nilai resistivitas tanah pada kedalaman elektroda 150 cm tiap-tiap variabel diameter arang tempurung kelapa sudah diketahui dari perhitungan sebelumnya pada tabel 4.2.

Pada Tabel 4.9 ditunjukkan sebagai contoh hasil analisis numerik resistansi pembumian menggunakan arang tempurung kelapa basah dengan berbagai kombinasi volume dan kadar air yang berbeda pada arang tempurung kelapa.

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

K_{A_a} (kadar air dalam arang)	= 20%
ρ_{A20} (resistivitas arang tempurung dengan kadar air 20%)	= 107,702 ohm-cm
l_A (tebal lapisan arang tempurung kelapa)	= 5 cm
l_{TL} (tebal lapisan tanah lempung)	= 5 cm
r_A (jari-jari lapisan arang tempurung kelapa)	= 5 cm
r_{TL} jari-jari lapisan tanah lempung)	= 5 cm
h (kedalaman penanaman elektroda batang)	= 150 cm

maka resistansi pbumiannya dapat dihitung yaitu:

$$R_A = \frac{(24,6) \cdot (5)}{(6,28) \cdot (5) \cdot (150)} = 0,1143 \text{ ohm}$$

$$R_{TL} = \frac{(1,977,82) \cdot (5)}{(6,28) \cdot (5)^2} = 62,9879 \text{ ohm}$$

$$R_e = R_A // R_{TL} = 0,114 \text{ ohm}$$

Jadi resistansi pembumian perhitungan adalah 0,114 ohm

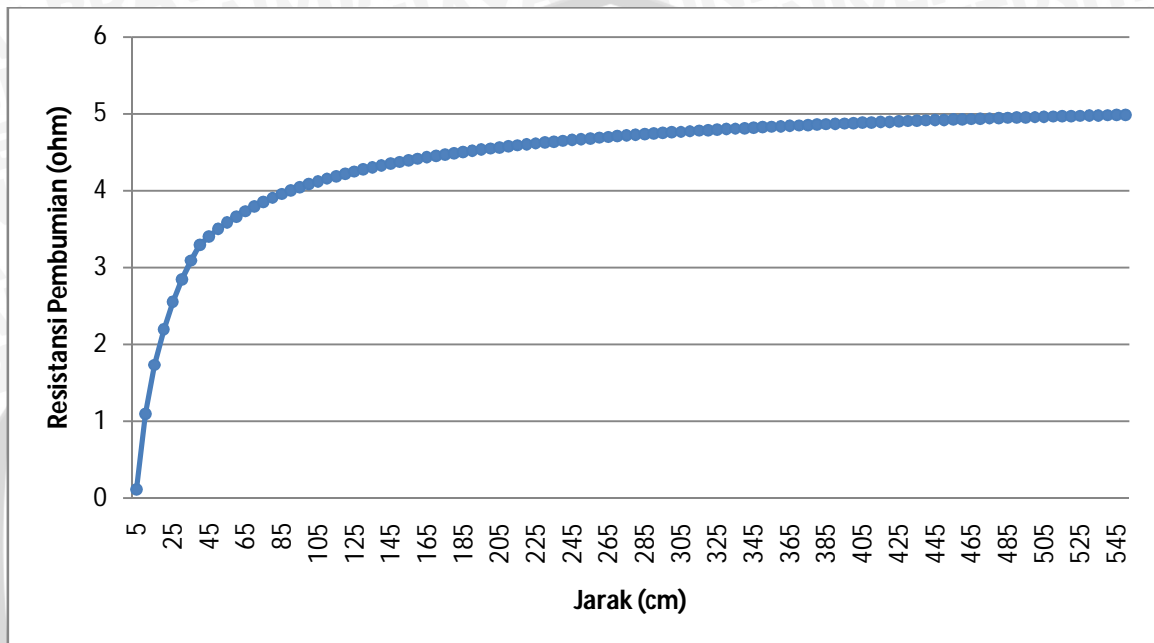
Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian untuk tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang perhitungan lengkapnya ditunjukkan pada **Lampiran 11**.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian dengan diameter penambahan arang 10 cm dan kadar air dalam arang tempurung kelapa sebesar 20%

n	r (cm)	R_n (ohm)	R_e (ohm)
1	5	0,114126	0,11413
2	10	0,984186	1,09831
3	15	0,636241	1,73455
4	20	0,463146	2,19770
5	25	0,359931	2,55763
6	30	0,291611	2,84924
7	35	0,243197	3,09244
8	40	0,207197	3,29963
9	45	0,10901	3,40865
10	50	0,096009	3,50465
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
110	550	0,002779	4,99011

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.9 menunjukkan perhitungan nilai resistansi pembumian pada setiap lapisan tanah dengan tebal lapisan yang sama dilakukan hingga lapisan ke 110, karena pada lapisan tanah tersebut selisih nilai resistansi pembumian terkecil antar lapisan tanah yaitu mencapai 0,002 ohm. Berdasarkan Tabel 4.9 dapat dibuat gambar grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama.



Gambar 4.4 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap jarak pada setiap tebal lapisan tanah yang sama dengan penambahan arang tempurung 10cm dan kadar air 20%

Sumber: Hasil pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat nilai resistansi tanah mengalami penurunan pada setiap lapisannya yang ditunjukkan dengan hubungan antara nilai resistansi pembumian terhadap jarak pengukuran. Nilai resistansi tanah mulai dari lapisan pertama hingga pada lapisan ketigabelas mengalami penurunan secara linier dan penurunan nilai resistansi setiap lapisan tanahnya cukup besar. Pada lapisan keempatbelas mulai terlihat kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya mulai tetap, nilai resistansi tanah mulai mengalami penurunan dengan nilai yang sangat kecil pada setiap lapisannya sehingga untuk lapisan tanah kelimabelas dan selanjutnya terlihat bahwa kenaikan nilai resistansi tanah pada setiap lapisannya tidak menyebabkan perubahan yang cukup besar terhadap nilai resistansi pembumiannya. Nilai resistansi tanah akan naik hingga pada nilai tertentu nilai resistansi tanah tidak mengalami perubahan dan memiliki nilai yang

cenderung tetap, hal ini berarti nilai resistansi pembumian mengalami titik jenuh. Jarak pada titik itu disebut sebagai jari-jari efektif.

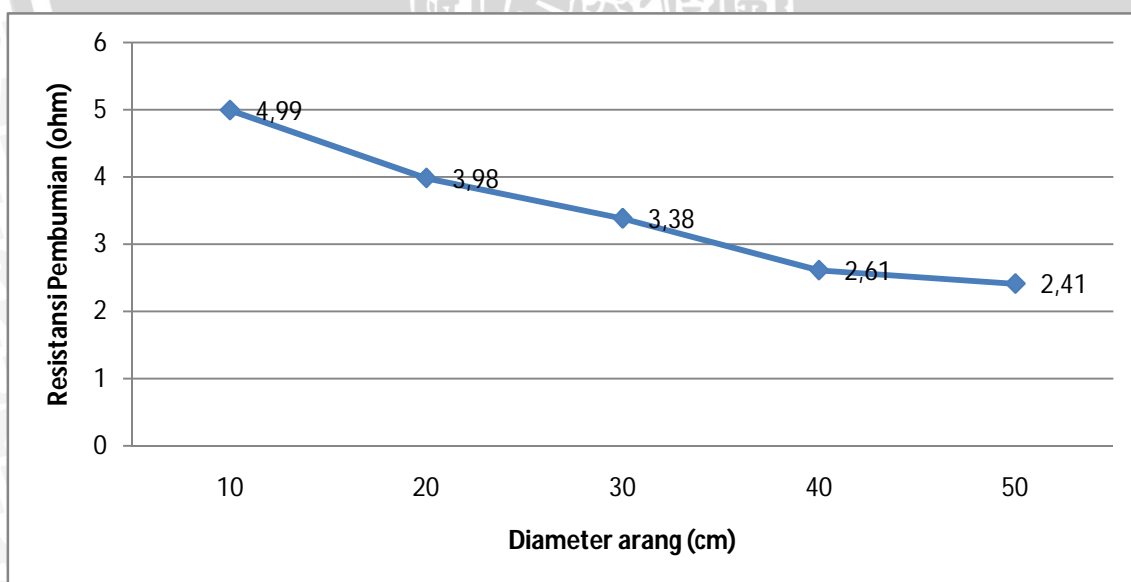
Dengan menggunakan cara perhitungan dan analisis yang sama pada penambahan arang tempurung kelapa diameter 10 cm dengan $KA_a = 20\%$, dapat diketahui nilai resistansi pembumian untuk penambahan arang tempurung kelapa diameter 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50, cm.

Tabel 4.10 akan menunjukkan nilai resistansi pembumian pada penambahan arang tempurung kelapa diameter 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50, cm dalam tanah yang diberi kadar air dalam arang 20%. Dan gambar 4.5 memperlihatkan fungsi resistansi pembumian terhadap diameter arang tempurung kelapa dengan kadar air 20%.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan nilai resistansi pembumian tiap – tiap diameter penambahan arang dan kadar air 20%

Kadar air dalam arang (%)	ρ_A (ohm-cm)	R_e (ohm)				
		D10	D20	D30	D40	D50
20	107,702	4,990	3,986	3,388	2,612	2,412

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.5 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap diameter arang tempurung kelapa dengan kadar air 20%

Sumber: Hasil perhitungan

Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa semakin besar diameter penambahan arang tempurung kelapa dengan kadar air dalam arang sebesar 20% dapat menurunkan nilai resistansi pembumiannya.

Perbandingan nilai resistansi pbumian sebelum dan sesudah pemberian kadar air 20 % ditunjukkan pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Perbandingan antara nilai resistansi pbumian dengan kadar air dalam arang 20% hasil pengukuran dengan nilai resistansi pbumian hasil analisis numerik

Diameter penambahan arang tempurung kelapa (cm)	R_e hasil pengukuran (ohm)	R_e hasil analisis numerik (ohm)
10	5,23	4,990
20	4,15	3,986
30	3,51	3,388
40	2,71	2,612
50	2,45	2,412

Sumber: Hasil perhitungan

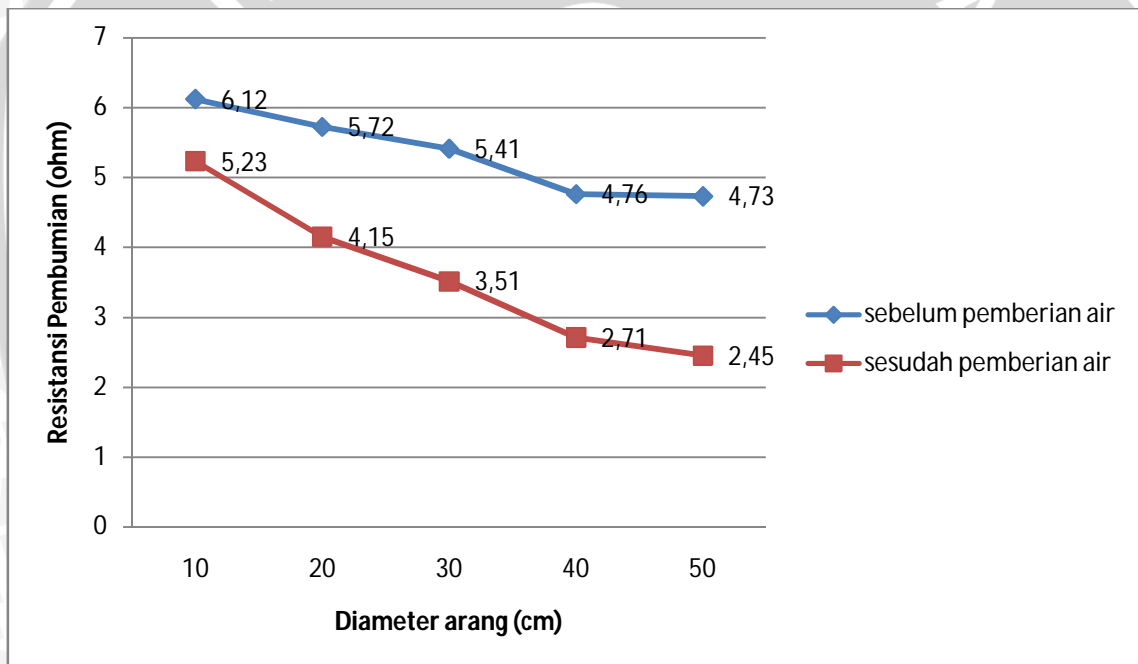
Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa prosentase kesalahan untuk diameter arang tempurung kelapa 10 cm adalah 4,5%, untuk diameter arang tempurung kelapa 20 cm adalah 3,9%, untuk diameter arang tempurung kelapa 30 cm adalah 3,4%, untuk diameter arang tempurung kelapa 40 cm adalah 3,6%. Untuk diameter arang tempurung kelapa 50 cm adalah 1,5% Setelah dilakukan analisis melalui dua pendekatan, dapat diketahui bahwa penambahan arang tempurung kelapa pada tanah dengan diameter arang tempurung kelapa 50 cm dan kadar air 20% memiliki nilai resistansi pbumian yang paling kecil

Perbandingan antara nilai resistansi pbumian sebelum dan sesudah pemberian kadar air 20 % ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan grafik fungsi resistansi pbumian terhadap diameter arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah pemberian kadar air 20% ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Tabel 4.12 Perbandingan antara nilai resistansi pembumian sebelum dan sesudah pemberian air pada arang tempurung kelapa

Penanaman elektroda batang pada kedalaman tetap (cm)	Diameter arang tempurung kelapa yang ditambahkan (cm)	Nilai resistansi pembumian sebelum pemberian air (ohm)	Nilai resistansi pembumian setelah pemberian air (ohm)
150	10	6,12	5,23
	20	5,72	4,15
	30	5,41	3,51
	40	4,76	2,71
	50	4,73	2,45

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.6 Grafik fungsi resistansi pembumian terhadap diameter arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah pemberian air 20 %

Sumber: Hasil perhitungan

Dari tabel 4.12 dan gambar 4.6 terlihat bahwa pemberian kadar air 20% dapat menurunkan nilai resistansi pembumian. Penurunan resistansi setelah diberi air yakni ± 2 ohm sehingga pemberian air pada arang tempurung kelapa dapat mempengaruhi nilai resistansi pembumian.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh penambahan diameter arang tempurung kelapa dan konsentrasi air pada arang tempurung kelapa terhadap nilai resistansi pembumian, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan diameter arang tempurung kelapa sangat berpengaruh terhadap nilai resistansi pembumian. Semakin banyak jumlah arang tempurung kelapa yang ditambahkan secara konsentris pada elektroda batang dapat memperkecil nilai resistansi pembumian. Penambahan diameter arang tempurung kelapa sebesar 50 cm dapat menurunkan nilai resistansi pembumian menjadi 4,73 ohm dari nilai resistansi pembumian sebelum pemberian arang tempurung kelapa, yaitu sebesar 10,97 ohm.
2. Pemberian air sebesar 20 % pada arang tempurung kelapa dapat memperkecil nilai resistivitasnya, sehingga arang tempurung kelapa lebih bersifat konduktif . Resistansi pembumian dengan penambahan arang tempurung kelapa yang diberi air menjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan sebelum diberi air. Konsentrasi air pada arang tempurung kelapa diameter 50 cm dapat menurunkan nilai resistansi pembumian dari 4,73 ohm menjadi 2,45 ohm.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut:

1. Dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi nilai resistansi pembumian, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain adalah waktu, tempat, kondisi lingkungan serta perlakuan yang tepat pada saat pengambilan data.
2. Secara teori resistansi pembumian yang bagus memiliki nilai kurang dari 1 ohm, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut berupa analisis ekonomis mengenai implementasi pembumian agar mendapatkan nilai resistansi pembumian lebih kecil dari 1 ohm.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.** 1982. *IEEE Green Book: Recommended Practice For Grounding of Industrial and Commercial Power System ANSI*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Anonim.** 1984. *Arang Aktif*. Jakarta: Departemen Perindustrian Republik Indonesia.
- Anonim.** 1986. *IEEE Buff Book: Recommended Practice For Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System ANSI*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Anonim.** 1986. *Pedoman Pengawasan Perusahaan Instalasi Listrik di Tempat Kerja*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Hubungan Ketenaga Kerjaan dan Pengawasan Norma Kerja.
- Asmungi, Gaguk.** 2004. *Kimia Teknik*. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.
- B. Anggoro, N. I. Sinisuka & P. M. Pakpahan.** 2006. "Karakteristik Resistivitas Dan Permittivitas Tanah Daerah Garut Terhadap Perubahan Frekuensi" Makalah yang disampaikan pada seminar EECIS di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang: tanggal 5 Mei 2006.
- Child, R.** 1974. *Coconuts*. London: Spottiswoode Ballantyne and Co. Ltd.
- Haris Iskandar & Kresno Dwi Santosa.** 2005. *Cara Pembuatan Arang Kayu Alternatif Pemanfaatan Limbah Kayu oleh Masyarakat*. Jakarta: Center for International Forestry Research.
- Hardiyatmo, Hary.** 1992. *Mekanika Tanah 1*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hutauruk, T.S.** 1991. *Pembumian Netral Sistem Tenaga dan Pembumian Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- Indranada, Henry. K.** 1986. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Jakarta: Bina Aksara.
- Iskawanto, Hilman. S.** 2009. *Pengaruh Kedalaman dan Konsentrasi Air Pada Media Arang Kayu Untuk Penurunan Nilai Resistansi Pembumian Elektroda Batang*. Malang: Universitas Brawijaya.

Kodali, V.P. 1996. *Engineering Electromagnetic Compatibility*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Mark H.F., John J.M. & Donald F.O. 1972. *Encyclopedia of Chemical Technology*, vol.4. New York: John Wiley and sons Inc.

Pabla, A.S. 1989. *Electric Power Distribution Systems*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

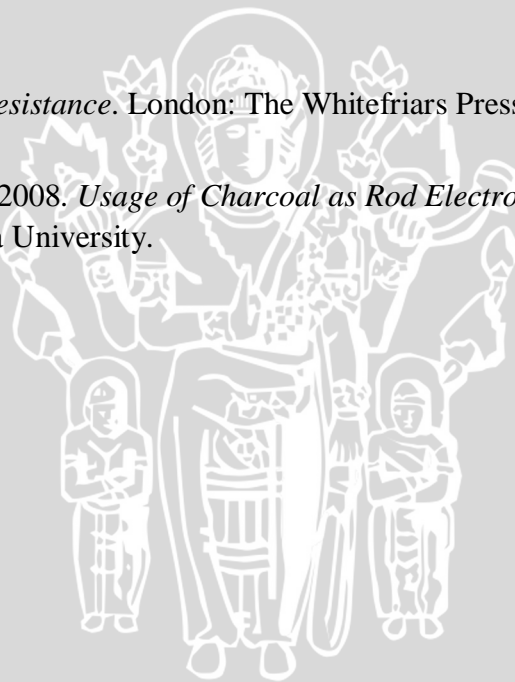
Roy B. Carpenter Jr., Mark M. Drabkin & Joseph A. Lanzoni. 1997. *Better Grounding*. Journal. USA: Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

Shirley, LH. 1987. *Geoteknik dan Mekanika Tanah*. Bandung: Nova.

Sukarni. 2001. *Mencegah Terkena Aliran Listrik Yang Berbahaya*. Surabaya: Direktorat Jendral Bina Hubungan Ketenaga Kerjaan dan Pengawasan Norma Kerja.

Tagg, G.F. 1964. *Earth Resistance*. London: The Whitefriars Press Ltd.

Yanuarianto, Yudistiro. 2008. *Usage of Charcoal as Rod Electrode Grounding Media*. Malang: Brawijaya University.



LAMPIRAN 1: DATA SHEET ANALOG EARTH RESISTANCE TESTER

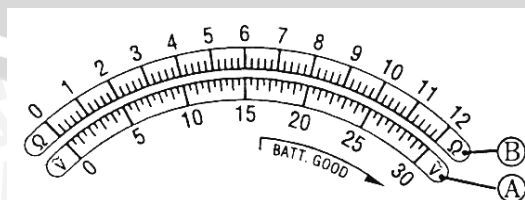
Untuk mengetahui nilai tahanan pembumian memerlukan alat pengukur tahanan pembumian. Adapun alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Nama alat ukur adalah Pengukur Tahanan Pembumian analog model 4102.
- Model 4102 adalah sebuah alat pengukur tahanan pembumian untuk saluran distribusi daya dalam sistem pengawatan rumah dan aplikasi-aplikasi listrik lainnya.
- Dirancang dengan standard keamanan IEC 61557.
- Konstruksi tahan debu sesuai standard IEC 60529 (IP54).
- Memiliki probe pengukuran sederhana, menggunakan penjepit buaya.
- *Dimensi :*
 - Panjang : 105 mm
 - Lebar : 158 mm
 - Tinggi : 70 mm
 - Berat : 600 gram

Tabel L-1. Akurasi dan range pengukuran

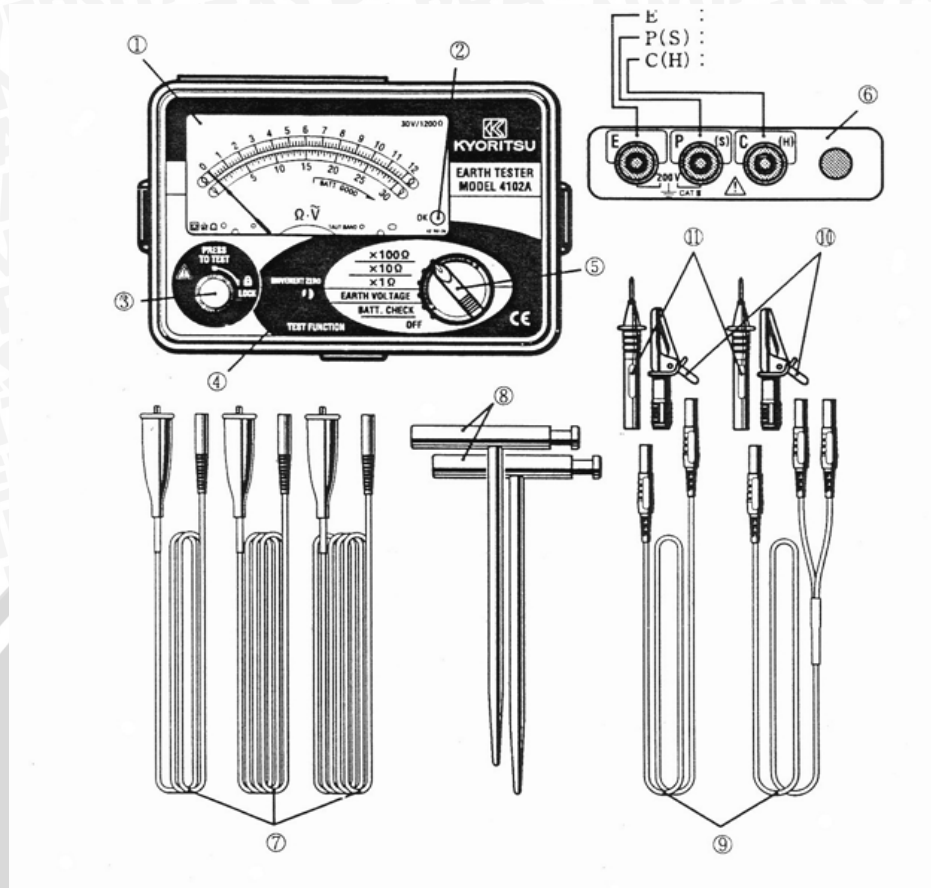
Range	Range Pengukuran	Akurasi
Tegangan pembumian	0 – 30 V	± 3 % pada skala penuh
Tahanan pembumian x 1 Ω x 10 Ω x 100 Ω	0 – 12 Ω	± 3 % pada skala penuh (tahanan pembumian elektroda bantu 100Ω ± 5%) (Tegangan pembumian 10 V atau kurang)
	0 – 120 Ω	
	0 – 1200 Ω	

Sumber: Instruction Manual “Analog Earth Resistance Tester” Model 4102 A



Gambar L-1. Skala alat ukur

Sumber: Instruction Manual “Analog Earth Resistance Tester” Model 4102 A



Gambar L-2. Layout alat ukur tahanan pembumian analog

Keterangan :

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Papan Skala | 7. Kabel Penghantar |
| 2. Lampu OK | 8. Elektroda Bantu |
| 3. Tombol Uji | 9. Probe untuk Pengukuran Sederhana |
| 4. Adjuster Kalibrasi | 10. Penjepit Buaya |
| 5. Selektor Range Pengukuran | 11. Sekat Uji |
| 6. Terminal Pengukuran | |

Sumber : Instruction Manual "Analog Earth Resistance Tester" Model 4102 A.

Tabel L-2. Pembacaan skala alat ukur

Besaran	Batas ukur	Skala		Faktor Pengali
Tegangan pembumian	0 – 30 V	A	30	x 1
	0 – 12 Ω	B	12	x 1
Tahanan pembumian	0 – 120 Ω	B	12	x 10
	0 – 1200 Ω	B	12	x 100

Sumber: Instruction Manual "Analog Earth Resistance Tester" Model 4102 A

**LAMPIRAN 2 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA
10 CM HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
1	150	5	5	1150,815	1977,82	1,221672	62,9879	1,198428	1,19843
2	150	5	10	-	1977,82	1,049798	15,74697	0,984186	2,18261
3	150	5	15	-	1977,82	0,699866	6,998655	0,636241	2,81886
4	150	5	20	-	1977,82	0,524899	3,936744	0,463146	3,28200
5	150	5	25	-	1977,82	0,419919	2,519516	0,359931	3,64193
6	150	5	30	-	1977,82	0,349933	1,749664	0,291611	3,93354
7	150	5	35	-	1977,82	0,299942	1,285467	0,243197	4,17674
8	150	5	40	-	1977,82	0,26245	0,984186	0,207197	4,38394
9	150	5	45	-	1977,82	0,135741	0,553558	0,10901	4,49295
10	150	5	50	-	1977,82	0,122167	0,448382	0,096009	4,58896
11	150	5	55	-	1977,82	0,111061	0,370564	0,085451	4,67441
12	150	5	60	-	1977,82	0,101806	0,311376	0,076722	4,75113
13	150	5	65	-	1977,82	0,093975	0,265315	0,069395	4,82052
14	150	5	70	-	1977,82	0,087262	0,228766	0,063167	4,88369
15	150	5	75	-	1977,82	0,081445	0,199281	0,057816	4,94151
16	150	5	80	-	1977,82	0,076354	0,175149	0,053174	4,99468
17	150	5	85	-	1977,82	0,071863	0,155149	0,049114	5,04379
18	150	5	90	-	1977,82	0,067871	0,13839	0,045538	5,08933
19	150	5	95	-	1977,82	0,064299	0,124206	0,042366	5,13170
20	150	5	100	-	1977,82	0,061084	0,112096	0,039538	5,17124
21	150	5	105	-	1977,82	0,058175	0,101674	0,037003	5,20824
22	150	5	110	-	1977,82	0,055531	0,092641	0,034719	5,24296
23	150	5	115	-	1977,82	0,053116	0,08476	0,032653	5,27561
24	150	5	120	-	1977,82	0,050903	0,077844	0,030777	5,30639
25	150	5	125	-	1977,82	0,048867	0,071741	0,029067	5,33546
26	150	5	130	-	1977,82	0,046987	0,066329	0,027504	5,36296
27	150	5	135	-	1977,82	0,045247	0,061506	0,026069	5,38903
28	150	5	140	-	1977,82	0,043631	0,057192	0,02475	5,41378

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	$R_{parallel}$ (ohm)	R_e (ohm)
29	150	5	145	-	1977,82	0,042127	0,053315	0,023533	5,43731
30	150	5	150	-	1977,82	0,040722	0,04982	0,022407	5,45972
31	150	5	155	-	1977,82	0,039409	0,046658	0,021364	5,48108
32	150	5	160	-	1977,82	0,038177	0,043787	0,020395	5,50148
33	150	5	165	-	1977,82	0,03702	0,041174	0,019493	5,52097
34	150	5	170	-	1977,82	0,035932	0,038787	0,018652	5,53962
35	150	5	175	-	1977,82	0,034905	0,036603	0,017867	5,55749
36	150	5	180	-	1977,82	0,033935	0,034597	0,017132	5,57462
37	150	5	185	-	1977,82	0,033018	0,032753	0,016442	5,59106
38	150	5	190	-	1977,82	0,032149	0,031051	0,015795	5,60686
39	150	5	195	-	1977,82	0,031325	0,029479	0,015187	5,62205
40	150	5	200	-	1977,82	0,030542	0,028024	0,014614	5,63666
41	150	5	205	-	1977,82	0,029797	0,026674	0,014074	5,65074
42	150	5	210	-	1977,82	0,029087	0,025418	0,013565	5,66430
43	150	5	215	-	1977,82	0,028411	0,02425	0,013083	5,67738
44	150	5	220	-	1977,82	0,027765	0,02316	0,012627	5,69001
45	150	5	225	-	1977,82	0,027148	0,022142	0,012196	5,70221
46	150	5	230	-	1977,82	0,026558	0,02119	0,011786	5,71399
47	150	5	235	-	1977,82	0,025993	0,020298	0,011398	5,72539
48	150	5	240	-	1977,82	0,025451	0,019461	0,011028	5,73642
49	150	5	245	-	1977,82	0,024932	0,018675	0,010677	5,74710
50	150	5	250	-	1977,82	0,024433	0,017935	0,010343	5,75744
51	150	5	255	-	1977,82	0,023954	0,017239	0,010025	5,76746
52	150	5	260	-	1977,82	0,023494	0,016582	0,009721	5,77718
53	150	5	265	-	1977,82	0,02305	0,015962	0,009431	5,78662
54	150	5	270	-	1977,82	0,022624	0,015377	0,009155	5,79577
55	150	5	275	-	1977,82	0,022212	0,014823	0,00889	5,80466
56	150	5	280	-	1977,82	0,021816	0,014298	0,008637	5,81330
57	150	5	285	-	1977,82	0,021433	0,013801	0,008395	5,82169

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	$R_{parallel}$ (ohm)	R_e (ohm)
58	150	5	290	-	1977,82	0,021063	0,013329	0,008163	5,82986
59	150	5	295	-	1977,82	0,020706	0,012881	0,007941	5,83780
60	150	5	300	-	1977,82	0,020361	0,012455	0,007728	5,84552
61	150	5	305	-	1977,82	0,020027	0,01205	0,007523	5,85305
62	150	5	310	-	1977,82	0,019704	0,011664	0,007327	5,86037
63	150	5	315	-	1977,82	0,019392	0,011297	0,007138	5,86751
64	150	5	320	-	1977,82	0,019089	0,010947	0,006957	5,87447
65	150	5	325	-	1977,82	0,018795	0,010613	0,006783	5,88125
66	150	5	330	-	1977,82	0,01851	0,010293	0,006615	5,88787
67	150	5	335	-	1977,82	0,018234	0,009988	0,006453	5,89432
68	150	5	340	-	1977,82	0,017966	0,009697	0,006298	5,90062
69	150	5	345	-	1977,82	0,017705	0,009418	0,006148	5,90677
70	150	5	350	-	1977,82	0,017452	0,009151	0,006003	5,91277
71	150	5	355	-	1977,82	0,017207	0,008895	0,005864	5,91863
72	150	5	360	-	1977,82	0,016968	0,008649	0,005729	5,92436
73	150	5	365	-	1977,82	0,016735	0,008414	0,005599	5,92996
74	150	5	370	-	1977,82	0,016509	0,008188	0,005473	5,93543
75	150	5	375	-	1977,82	0,016289	0,007971	0,005352	5,94079
76	150	5	380	-	1977,82	0,016075	0,007763	0,005235	5,94602
77	150	5	385	-	1977,82	0,015866	0,007563	0,005121	5,95114
78	150	5	390	-	1977,82	0,015662	0,00737	0,005012	5,95615
79	150	5	395	-	1977,82	0,015464	0,007184	0,004905	5,96106
80	150	5	400	-	1977,82	0,015271	0,007006	0,004803	5,96586
81	150	5	405	-	1977,82	0,015082	0,006834	0,004703	5,97057
82	150	5	410	-	1977,82	0,014898	0,006668	0,004607	5,97517
83	150	5	415	-	1977,82	0,014719	0,006509	0,004513	5,97969
84	150	5	420	-	1977,82	0,014544	0,006355	0,004422	5,98411
85	150	5	425	-	1977,82	0,014373	0,006206	0,004334	5,98844

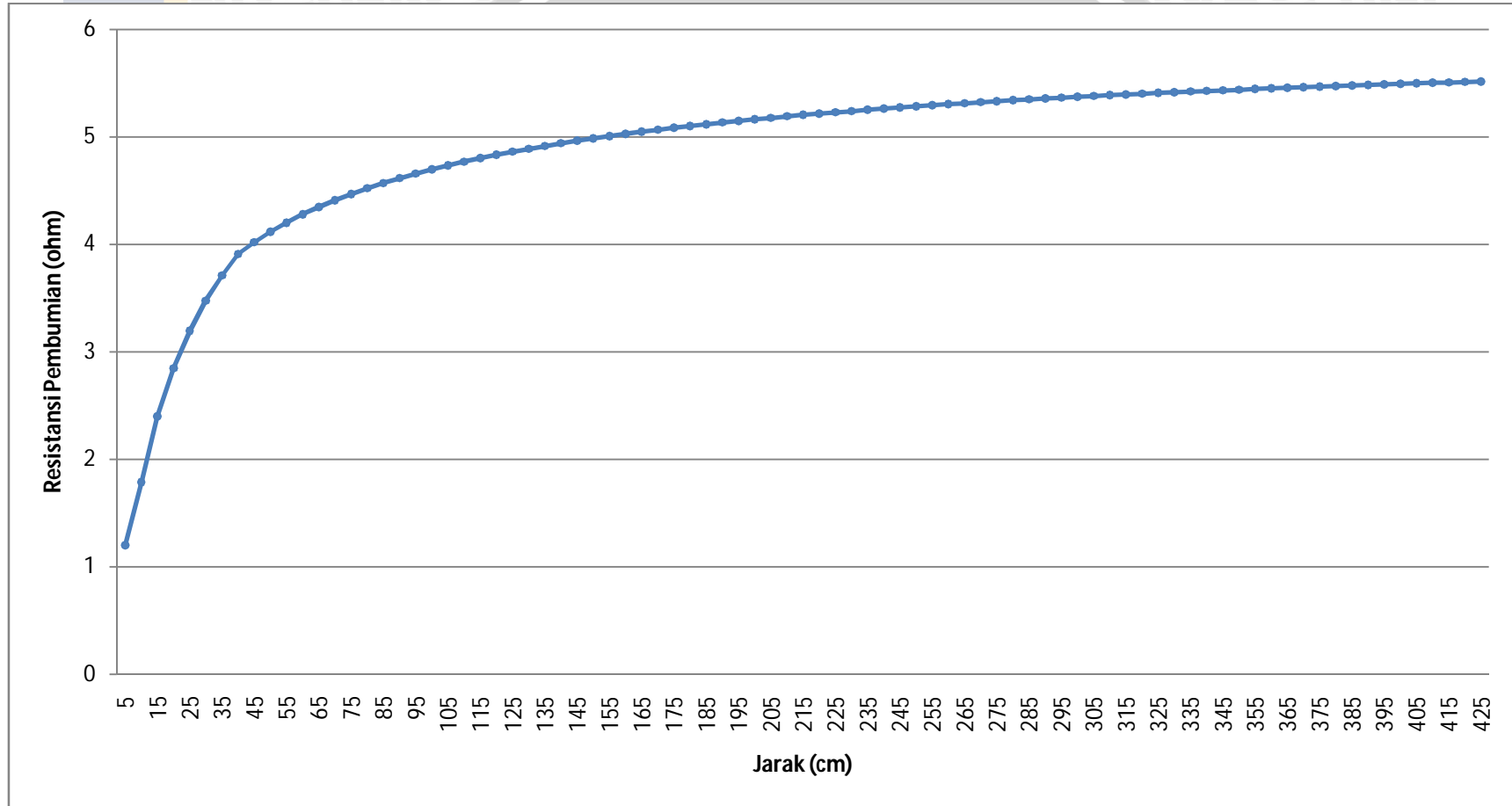
**LAMPIRAN 3 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA
20 CM HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
1	150	5	5	1150,815	1908,81	1,221672	60,79013	1,197604	1,198
2	150	5	10	1150,815	1908,81	0,610836	15,19753	0,587233	1,785
3	150	5	15	-	1908,81	0,675446	6,754459	0,614042	2,399
4	150	5	20	-	1908,81	0,506584	3,799383	0,446986	2,846
5	150	5	25	-	1908,81	0,405268	2,431605	0,347372	3,193
6	150	5	30	-	1908,81	0,337723	1,688615	0,281436	3,475
7	150	5	35	-	1908,81	0,289477	1,240615	0,234711	3,709
8	150	5	40	-	1908,81	0,253292	0,949846	0,199968	3,909
9	150	5	45	-	1908,81	0,135741	0,553558	0,10901	4,018
10	150	5	50	-	1908,81	0,122167	0,448382	0,096009	4,114
11	150	5	55	-	1908,81	0,111061	0,370564	0,085451	4,200
12	150	5	60	-	1908,81	0,101806	0,311376	0,076722	4,277
13	150	5	65	-	1908,81	0,093975	0,265315	0,069395	4,346
14	150	5	70	-	1908,81	0,087262	0,228766	0,063167	4,409
15	150	5	75	-	1908,81	0,081445	0,199281	0,057816	4,467
16	150	5	80	-	1908,81	0,076354	0,175149	0,053174	4,520
17	150	5	85	-	1908,81	0,071863	0,155149	0,049114	4,569
18	150	5	90	-	1908,81	0,067871	0,13839	0,045538	4,615
19	150	5	95	-	1908,81	0,064299	0,124206	0,042366	4,657
20	150	5	100	-	1908,81	0,061084	0,112096	0,039538	4,697
21	150	5	105	-	1908,81	0,058175	0,101674	0,037003	4,734
22	150	5	110	-	1908,81	0,055531	0,092641	0,034719	4,768
23	150	5	115	-	1908,81	0,053116	0,08476	0,032653	4,801
24	150	5	120	-	1908,81	0,050903	0,077844	0,030777	4,832
25	150	5	125	-	1908,81	0,048867	0,071741	0,029067	4,861
26	150	5	130	-	1908,81	0,046987	0,066329	0,027504	4,888
27	150	5	135	-	1908,81	0,045247	0,061506	0,026069	4,914
28	150	5	140	-	1908,81	0,043631	0,057192	0,02475	4,939

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
29	150	5	145	-	1908,81	0,042127	0,053315	0,023533	4,963
30	150	5	150	-	1908,81	0,040722	0,04982	0,022407	4,985
31	150	5	155	-	1908,81	0,039409	0,046658	0,021364	5,006
32	150	5	160	-	1908,81	0,038177	0,043787	0,020395	5,027
33	150	5	165	-	1908,81	0,03702	0,041174	0,019493	5,046
34	150	5	170	-	1908,81	0,035932	0,038787	0,018652	5,065
35	150	5	175	-	1908,81	0,034905	0,036603	0,017867	5,083
36	150	5	180	-	1908,81	0,033935	0,034597	0,017132	5,100
37	150	5	185	-	1908,81	0,033018	0,032753	0,016442	5,116
38	150	5	190	-	1908,81	0,032149	0,031051	0,015795	5,132
39	150	5	195	-	1908,81	0,031325	0,029479	0,015187	5,147
40	150	5	200	-	1908,81	0,030542	0,028024	0,014614	5,162
41	150	5	205	-	1908,81	0,029797	0,026674	0,014074	5,176
42	150	5	210	-	1908,81	0,029087	0,025418	0,013565	5,190
43	150	5	215	-	1908,81	0,028411	0,02425	0,013083	5,203
44	150	5	220	-	1908,81	0,027765	0,02316	0,012627	5,215
45	150	5	225	-	1908,81	0,027148	0,022142	0,012196	5,228
46	150	5	230	-	1908,81	0,026558	0,02119	0,011786	5,239
47	150	5	235	-	1908,81	0,025993	0,020298	0,011398	5,251
48	150	5	240	-	1908,81	0,025451	0,019461	0,011028	5,262
49	150	5	245	-	1908,81	0,024932	0,018675	0,010677	5,273
50	150	5	250	-	1908,81	0,024433	0,017935	0,010343	5,283
51	150	5	255	-	1908,81	0,023954	0,017239	0,010025	5,293
52	150	5	260	-	1908,81	0,023494	0,016582	0,009721	5,303
53	150	5	265	-	1908,81	0,02305	0,015962	0,009431	5,312
54	150	5	270	-	1908,81	0,022624	0,015377	0,009155	5,321
55	150	5	275	-	1908,81	0,022212	0,014823	0,00889	5,330
56	150	5	280	-	1908,81	0,021816	0,014298	0,008637	5,339
57	150	5	285	-	1908,81	0,021433	0,013801	0,008395	5,347

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
58	150	5	290	-	1908,81	0,021063	0,013329	0,008163	5,355
59	150	5	295	-	1908,81	0,020706	0,012881	0,007941	5,363
60	150	5	300	-	1908,81	0,020361	0,012455	0,007728	5,371
61	150	5	305	-	1908,81	0,020027	0,01205	0,007523	5,378
62	150	5	310	-	1908,81	0,019704	0,011664	0,007327	5,386
63	150	5	315	-	1908,81	0,019392	0,011297	0,007138	5,393
64	150	5	320	-	1908,81	0,019089	0,010947	0,006957	5,400
65	150	5	325	-	1908,81	0,018795	0,010613	0,006783	5,407
66	150	5	330	-	1908,81	0,01851	0,010293	0,006615	5,413
67	150	5	335	-	1908,81	0,018234	0,009988	0,006453	5,420
68	150	5	340	-	1908,81	0,017966	0,009697	0,006298	5,426
69	150	5	345	-	1908,81	0,017705	0,009418	0,006148	5,432
70	150	5	350	-	1908,81	0,017452	0,009151	0,006003	5,438
71	150	5	355	-	1908,81	0,017207	0,008895	0,005864	5,444
72	150	5	360	-	1908,81	0,016968	0,008649	0,005729	5,450
73	150	5	365	-	1908,81	0,016735	0,008414	0,005599	5,455
74	150	5	370	-	1908,81	0,016509	0,008188	0,005473	5,461
75	150	5	375	-	1908,81	0,016289	0,007971	0,005352	5,466
76	150	5	380	-	1908,81	0,016075	0,007763	0,005235	5,471
77	150	5	385	-	1908,81	0,015866	0,007563	0,005121	5,477
78	150	5	390	-	1908,81	0,015662	0,00737	0,005012	5,482
79	150	5	395	-	1908,81	0,015464	0,007184	0,004905	5,486
80	150	5	400	-	1908,81	0,015271	0,007006	0,004803	5,491
81	150	5	405	-	1908,81	0,015082	0,006834	0,004703	5,496
82	150	5	410	-	1908,81	0,014898	0,006668	0,004607	5,501
83	150	5	415	-	1908,81	0,014719	0,006509	0,004513	5,505
84	150	5	420	-	1908,81	0,014544	0,006355	0,004422	5,510
85	150	5	425	-	1908,81	0,014373	0,006206	0,004334	5,514

LAMPIRAN 4 : GRAFIK FUNGSI RESISTANSI PEMBUMIHAN TERHADAP JARAK PADA SETIAP TEBAL LAPISAN TANAH YANG SAMA DENGAN PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG 20 CM



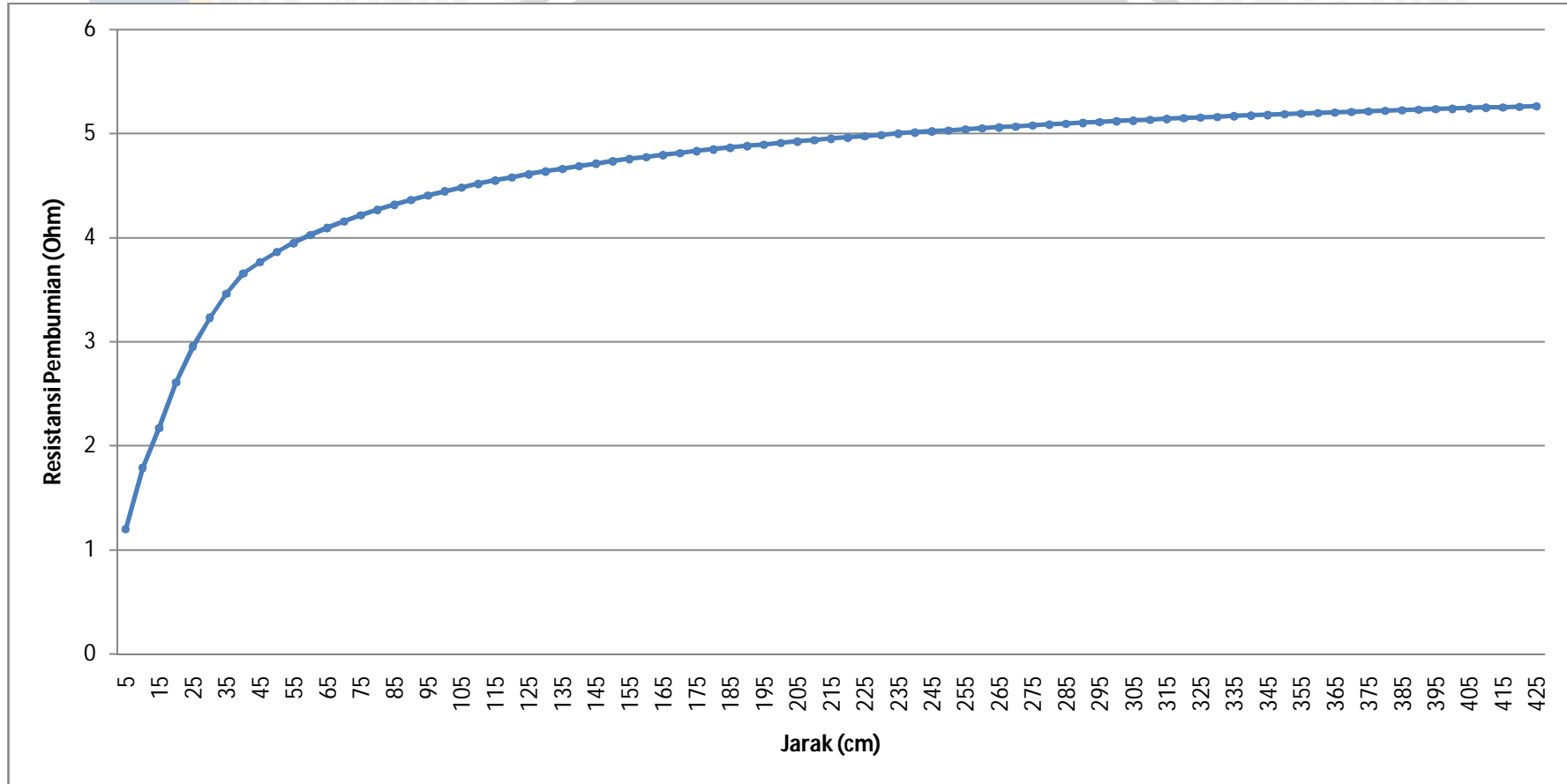
**LAMPIRAN 5 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA
30 CM HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
1	150	5	5	1150,815	1881,02	1,221672	59,9051	1,197256	1,197
2	150	5	10	1150,815	1881,02	0,610836	14,97627	0,586898	1,784
3	150	5	15	1150,815	1881,02	0,407224	6,656122	0,383746	2,168
4	150	5	20	-	1881,02	0,499209	3,744068	0,440479	2,608
5	150	5	25	-	1881,02	0,399367	2,396204	0,342315	2,951
6	150	5	30	-	1881,02	0,332806	1,66403	0,277338	3,228
7	150	5	35	-	1881,02	0,285262	1,222553	0,231294	3,459
8	150	5	40	-	1881,02	0,249605	0,936017	0,197056	3,656
9	150	5	45	-	1881,02	0,135741	0,553558	0,10901	3,765
10	150	5	50	-	1881,02	0,122167	0,448382	0,096009	3,861
11	150	5	55	-	1881,02	0,111061	0,370564	0,085451	3,947
12	150	5	60	-	1881,02	0,101806	0,311376	0,076722	4,024
13	150	5	65	-	1881,02	0,093975	0,265315	0,069395	4,093
14	150	5	70	-	1881,02	0,087262	0,228766	0,063167	4,156
15	150	5	75	-	1881,02	0,081445	0,199281	0,057816	4,214
16	150	5	80	-	1881,02	0,076354	0,175149	0,053174	4,267
17	150	5	85	-	1881,02	0,071863	0,155149	0,049114	4,316
18	150	5	90	-	1881,02	0,067871	0,13839	0,045538	4,362
19	150	5	95	-	1881,02	0,064299	0,124206	0,042366	4,404
20	150	5	100	-	1881,02	0,061084	0,112096	0,039538	4,444
21	150	5	105	-	1881,02	0,058175	0,101674	0,037003	4,481
22	150	5	110	-	1881,02	0,055531	0,092641	0,034719	4,515
23	150	5	115	-	1881,02	0,053116	0,08476	0,032653	4,548
24	150	5	120	-	1881,02	0,050903	0,077844	0,030777	4,579
25	150	5	125	-	1881,02	0,048867	0,071741	0,029067	4,608
26	150	5	130	-	1881,02	0,046987	0,066329	0,027504	4,635

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
27	150	5	135	-	1881,02	0,045247	0,061506	0,026069	4,661
28	150	5	140	-	1881,02	0,043631	0,057192	0,02475	4,686
29	150	5	145	-	1881,02	0,042127	0,053315	0,023533	4,710
30	150	5	150	-	1881,02	0,040722	0,04982	0,022407	4,732
31	150	5	155	-	1881,02	0,039409	0,046658	0,021364	4,754
32	150	5	160	-	1881,02	0,038177	0,043787	0,020395	4,774
33	150	5	165	-	1881,02	0,03702	0,041174	0,019493	4,793
34	150	5	170	-	1881,02	0,035932	0,038787	0,018652	4,812
35	150	5	175	-	1881,02	0,034905	0,036603	0,017867	4,830
36	150	5	180	-	1881,02	0,033935	0,034597	0,017132	4,847
37	150	5	185	-	1881,02	0,033018	0,032753	0,016442	4,864
38	150	5	190	-	1881,02	0,032149	0,031051	0,015795	4,879
39	150	5	195	-	1881,02	0,031325	0,029479	0,015187	4,894
40	150	5	200	-	1881,02	0,030542	0,028024	0,014614	4,909
41	150	5	205	-	1881,02	0,029797	0,026674	0,014074	4,923
42	150	5	210	-	1881,02	0,029087	0,025418	0,013565	4,937
43	150	5	215	-	1881,02	0,028411	0,02425	0,013083	4,950
44	150	5	220	-	1881,02	0,027765	0,02316	0,012627	4,962
45	150	5	225	-	1881,02	0,027148	0,022142	0,012196	4,975
46	150	5	230	-	1881,02	0,026558	0,02119	0,011786	4,986
47	150	5	235	-	1881,02	0,025993	0,020298	0,011398	4,998
48	150	5	240	-	1881,02	0,025451	0,019461	0,011028	5,009
49	150	5	245	-	1881,02	0,024932	0,018675	0,010677	5,020
50	150	5	250	-	1881,02	0,024433	0,017935	0,010343	5,030
51	150	5	255	-	1881,02	0,023954	0,017239	0,010025	5,040
52	150	5	260	-	1881,02	0,023494	0,016582	0,009721	5,050
53	150	5	265	-	1881,02	0,02305	0,015962	0,009431	5,059
54	150	5	270	-	1881,02	0,022624	0,015377	0,009155	5,068
55	150	5	275	-	1881,02	0,022212	0,014823	0,00889	5,077
56	150	5	280	-	1881,02	0,021816	0,014298	0,008637	5,086

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
57	150	5	285	-	1881,02	0,021433	0,013801	0,008395	5,094
58	150	5	290	-	1881,02	0,021063	0,013329	0,008163	5,102
59	150	5	295	-	1881,02	0,020706	0,012881	0,007941	5,110
60	150	5	300	-	1881,02	0,020361	0,012455	0,007728	5,118
61	150	5	305	-	1881,02	0,020027	0,01205	0,007523	5,125
62	150	5	310	-	1881,02	0,019704	0,011664	0,007327	5,133
63	150	5	315	-	1881,02	0,019392	0,011297	0,007138	5,140
64	150	5	320	-	1881,02	0,019089	0,010947	0,006957	5,147
65	150	5	325	-	1881,02	0,018795	0,010613	0,006783	5,154
66	150	5	330	-	1881,02	0,01851	0,010293	0,006615	5,160
67	150	5	335	-	1881,02	0,018234	0,009988	0,006453	5,167
68	150	5	340	-	1881,02	0,017966	0,009697	0,006298	5,173
69	150	5	345	-	1881,02	0,017705	0,009418	0,006148	5,179
70	150	5	350	-	1881,02	0,017452	0,009151	0,006003	5,185
71	150	5	355	-	1881,02	0,017207	0,008895	0,005864	5,191
72	150	5	360	-	1881,02	0,016968	0,008649	0,005729	5,197
73	150	5	365	-	1881,02	0,016735	0,008414	0,005599	5,202
74	150	5	370	-	1881,02	0,016509	0,008188	0,005473	5,208
75	150	5	375	-	1881,02	0,016289	0,007971	0,005352	5,213
76	150	5	380	-	1881,02	0,016075	0,007763	0,005235	5,218
77	150	5	385	-	1881,02	0,015866	0,007563	0,005121	5,224
78	150	5	390	-	1881,02	0,015662	0,00737	0,005012	5,229
79	150	5	395	-	1881,02	0,015464	0,007184	0,004905	5,234
80	150	5	400	-	1881,02	0,015271	0,007006	0,004803	5,238
81	150	5	405	-	1881,02	0,015082	0,006834	0,004703	5,243
82	150	5	410	-	1881,02	0,014898	0,006668	0,004607	5,248
83	150	5	415	-	1881,02	0,014719	0,006509	0,004513	5,252
84	150	5	420	-	1881,02	0,014544	0,006355	0,004422	5,257
85	150	5	425	-	1881,02	0,014373	0,006206	0,004334	5,261

LAMPIRAN 6 : GRAFIK FUNGSI RESISTANSI PEMBUMIHAN TERHADAP JARAK PADA SETIAP TEBAL LAPISAN TANAH YANG SAMA DENGAN PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG 30 CM



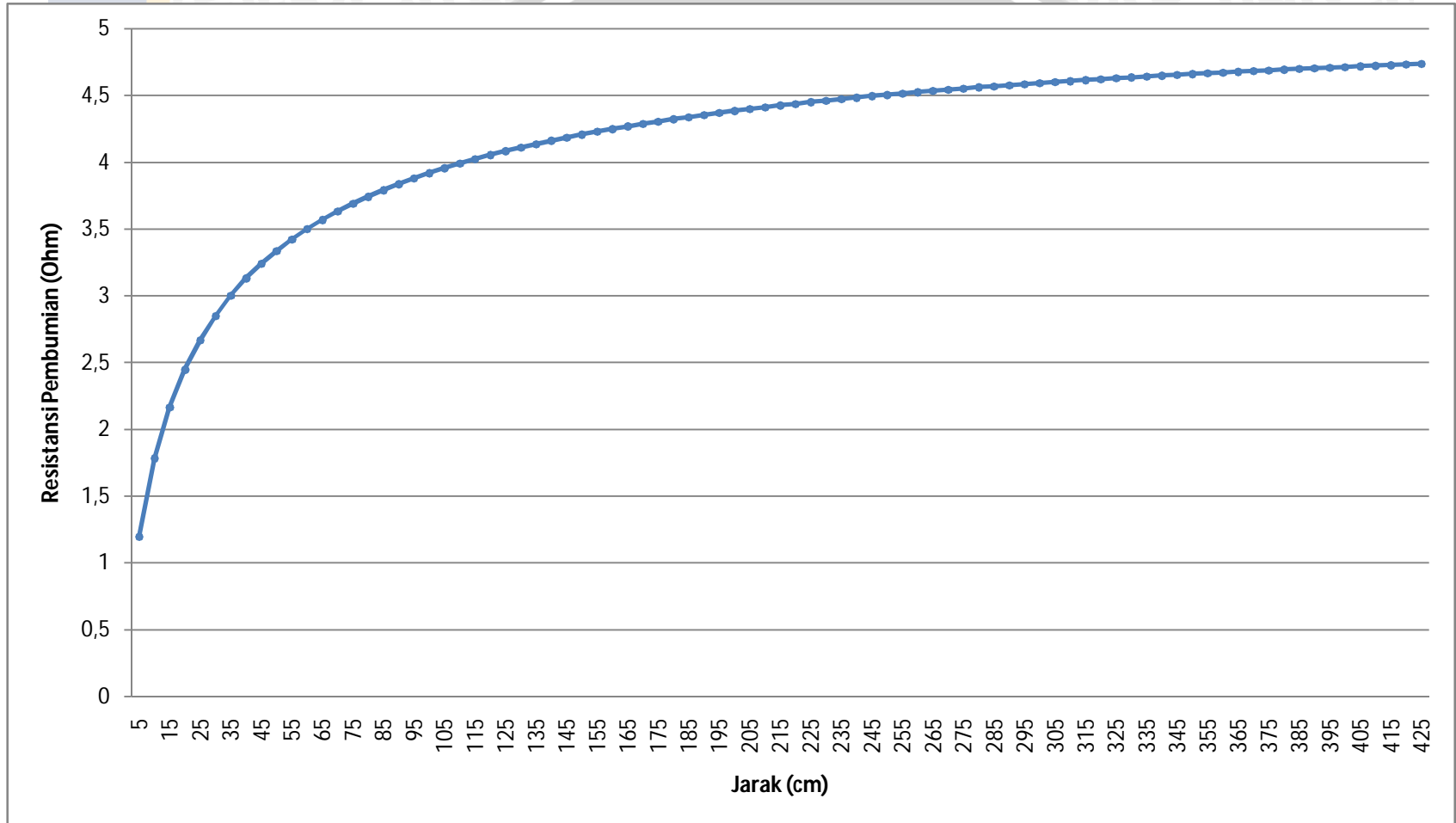
**LAMPIRAN 7 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA
40 CM HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
1	150	5	5	1150,815	1815,33	1,221672	57,81306	1,196391	1,196
2	150	5	10	1150,815	1815,33	0,610836	14,45326	0,586067	1,782
3	150	5	15	1150,815	1815,33	0,407224	6,423673	0,382947	2,165
4	150	5	20	1150,815	1815,33	0,305418	3,613316	0,281614	2,447
5	150	5	25	-	1815,33	0,244334	2,312522	0,220986	2,668
6	150	5	30	-	1815,33	0,203612	1,605918	0,180701	2,849
7	150	5	35	-	1815,33	0,174525	1,179858	0,152035	3,001
8	150	5	40	-	1815,33	0,152709	0,903329	0,130626	3,131
9	150	5	45	-	1815,33	0,135741	0,553558	0,10901	3,240
10	150	5	50	-	1815,33	0,122167	0,448382	0,096009	3,336
11	150	5	55	-	1815,33	0,111061	0,370564	0,085451	3,422
12	150	5	60	-	1815,33	0,101806	0,311376	0,076722	3,499
13	150	5	65	-	1815,33	0,093975	0,265315	0,069395	3,568
14	150	5	70	-	1815,33	0,087262	0,228766	0,063167	3,631
15	150	5	75	-	1815,33	0,081445	0,199281	0,057816	3,689
16	150	5	80	-	1815,33	0,076354	0,175149	0,053174	3,742
17	150	5	85	-	1815,33	0,071863	0,155149	0,049114	3,791
18	150	5	90	-	1815,33	0,067871	0,13839	0,045538	3,837
19	150	5	95	-	1815,33	0,064299	0,124206	0,042366	3,879
20	150	5	100	-	1815,33	0,061084	0,112096	0,039538	3,919
21	150	5	105	-	1815,33	0,058175	0,101674	0,037003	3,956
22	150	5	110	-	1815,33	0,055531	0,092641	0,034719	3,990
23	150	5	115	-	1815,33	0,053116	0,08476	0,032653	4,023
24	150	5	120	-	1815,33	0,050903	0,077844	0,030777	4,054
25	150	5	125	-	1815,33	0,048867	0,071741	0,029067	4,083
26	150	5	130	-	1815,33	0,046987	0,066329	0,027504	4,110

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
27	150	5	135	-	1815,33	0,045247	0,061506	0,026069	4,136
28	150	5	140	-	1815,33	0,043631	0,057192	0,02475	4,161
29	150	5	145	-	1815,33	0,042127	0,053315	0,023533	4,185
30	150	5	150	-	1815,33	0,040722	0,04982	0,022407	4,207
31	150	5	155	-	1815,33	0,039409	0,046658	0,021364	4,229
32	150	5	160	-	1815,33	0,038177	0,043787	0,020395	4,249
33	150	5	165	-	1815,33	0,03702	0,041174	0,019493	4,268
34	150	5	170	-	1815,33	0,035932	0,038787	0,018652	4,287
35	150	5	175	-	1815,33	0,034905	0,036603	0,017867	4,305
36	150	5	180	-	1815,33	0,033935	0,034597	0,017132	4,322
37	150	5	185	-	1815,33	0,033018	0,032753	0,016442	4,338
38	150	5	190	-	1815,33	0,032149	0,031051	0,015795	4,354
39	150	5	195	-	1815,33	0,031325	0,029479	0,015187	4,369
40	150	5	200	-	1815,33	0,030542	0,028024	0,014614	4,384
41	150	5	205	-	1815,33	0,029797	0,026674	0,014074	4,398
42	150	5	210	-	1815,33	0,029087	0,025418	0,013565	4,412
43	150	5	215	-	1815,33	0,028411	0,02425	0,013083	4,425
44	150	5	220	-	1815,33	0,027765	0,02316	0,012627	4,437
45	150	5	225	-	1815,33	0,027148	0,022142	0,012196	4,450
46	150	5	230	-	1815,33	0,026558	0,02119	0,011786	4,461
47	150	5	235	-	1815,33	0,025993	0,020298	0,011398	4,473
48	150	5	240	-	1815,33	0,025451	0,019461	0,011028	4,484
49	150	5	245	-	1815,33	0,024932	0,018675	0,010677	4,495
50	150	5	250	-	1815,33	0,024433	0,017935	0,010343	4,505
51	150	5	255	-	1815,33	0,023954	0,017239	0,010025	4,515
52	150	5	260	-	1815,33	0,023494	0,016582	0,009721	4,525
53	150	5	265	-	1815,33	0,02305	0,015962	0,009431	4,534
54	150	5	270	-	1815,33	0,022624	0,015377	0,009155	4,543
55	150	5	275	-	1815,33	0,022212	0,014823	0,00889	4,552
56	150	5	280	-	1815,33	0,021816	0,014298	0,008637	4,561

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
57	150	5	285	-	1815,33	0,021433	0,013801	0,008395	4,569
58	150	5	290	-	1815,33	0,021063	0,013329	0,008163	4,577
59	150	5	295	-	1815,33	0,020706	0,012881	0,007941	4,585
60	150	5	300	-	1815,33	0,020361	0,012455	0,007728	4,593
61	150	5	305	-	1815,33	0,020027	0,01205	0,007523	4,600
62	150	5	310	-	1815,33	0,019704	0,011664	0,007327	4,608
63	150	5	315	-	1815,33	0,019392	0,011297	0,007138	4,615
64	150	5	320	-	1815,33	0,019089	0,010947	0,006957	4,622
65	150	5	325	-	1815,33	0,018795	0,010613	0,006783	4,629
66	150	5	330	-	1815,33	0,01851	0,010293	0,006615	4,635
67	150	5	335	-	1815,33	0,018234	0,009988	0,006453	4,642
68	150	5	340	-	1815,33	0,017966	0,009697	0,006298	4,648
69	150	5	345	-	1815,33	0,017705	0,009418	0,006148	4,654
70	150	5	350	-	1815,33	0,017452	0,009151	0,006003	4,660
71	150	5	355	-	1815,33	0,017207	0,008895	0,005864	4,666
72	150	5	360	-	1815,33	0,016968	0,008649	0,005729	4,672
73	150	5	365	-	1815,33	0,016735	0,008414	0,005599	4,677
74	150	5	370	-	1815,33	0,016509	0,008188	0,005473	4,683
75	150	5	375	-	1815,33	0,016289	0,007971	0,005352	4,688
76	150	5	380	-	1815,33	0,016075	0,007763	0,005235	4,693
77	150	5	385	-	1815,33	0,015866	0,007563	0,005121	4,699
78	150	5	390	-	1815,33	0,015662	0,00737	0,005012	4,704
79	150	5	395	-	1815,33	0,015464	0,007184	0,004905	4,708
80	150	5	400	-	1815,33	0,015271	0,007006	0,004803	4,713
81	150	5	405	-	1815,33	0,015082	0,006834	0,004703	4,718
82	150	5	410	-	1815,33	0,014898	0,006668	0,004607	4,723
83	150	5	415	-	1815,33	0,014719	0,006509	0,004513	4,727
84	150	5	420	-	1815,33	0,014544	0,006355	0,004422	4,732
85	150	5	425	-	1815,33	0,014373	0,006206	0,004334	4,736

LAMPIRAN 8 : GRAFIK FUNGSI RESISTANSI PEMBUMIHAN TERHADAP JARAK PADA SETIAP TEBAL LAPISAN TANAH YANG SAMA DENGAN PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG 40 CM



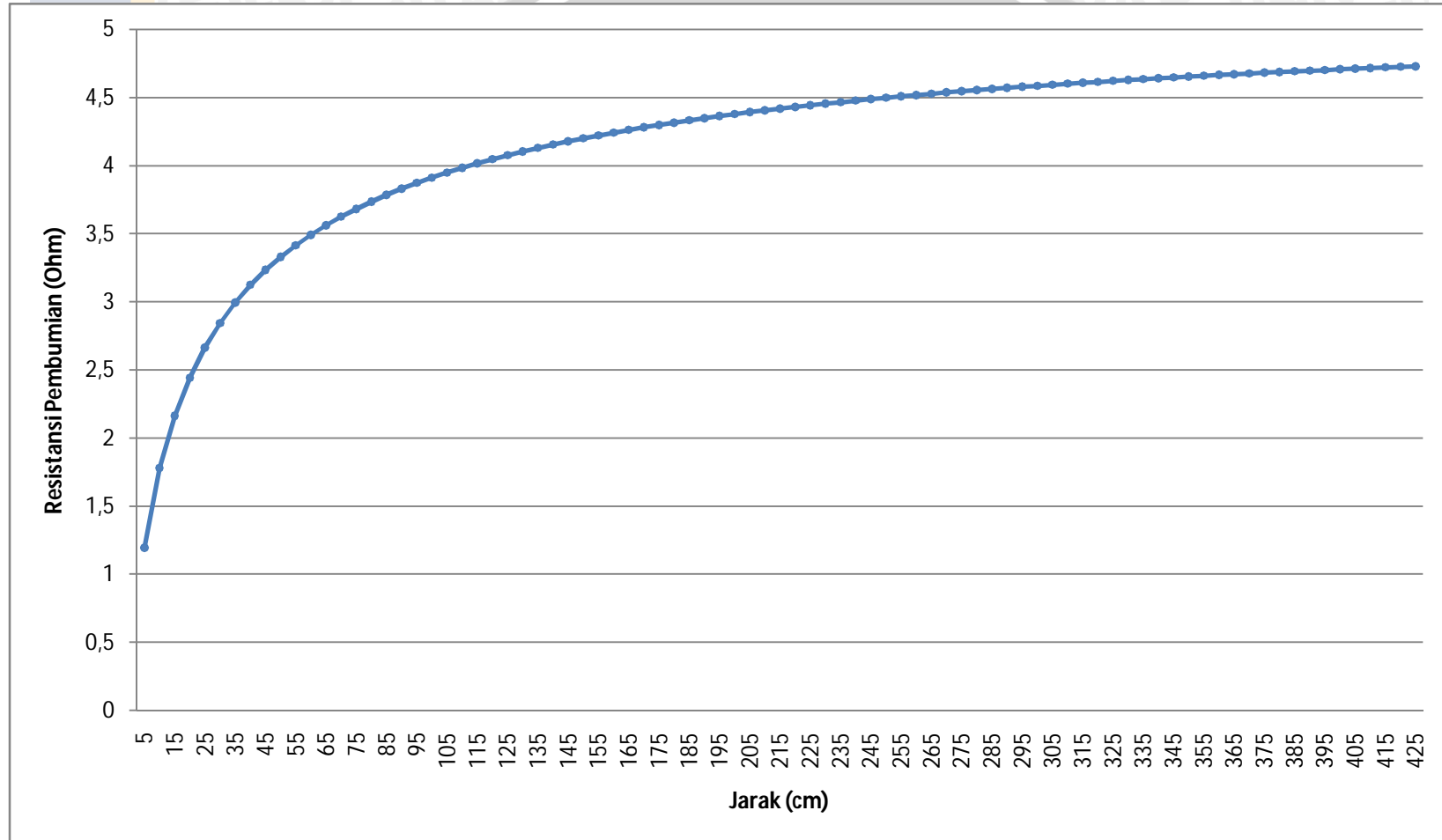
**LAMPIRAN 9 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA
50 CM HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_c (ohm)
1	150	5	5	1150,815	1748,95	1,221672	55,69904	1,195452	1,195
2	150	5	10	1150,815	1748,95	0,610836	13,92476	0,585167	1,781
3	150	5	15	1150,815	1748,95	0,407224	6,188783	0,382083	2,163
4	150	5	20	1150,815	1748,95	0,305418	3,48119	0,280784	2,443
5	150	5	25	1150,815	1748,95	0,244334	2,227962	0,220187	2,664
6	150	5	30	-	1748,95	0,203612	1,547196	0,179933	2,844
7	150	5	35	-	1748,95	0,174525	1,136715	0,151296	2,995
8	150	5	40	-	1748,95	0,152709	0,870298	0,129913	3,125
9	150	5	45	-	1748,95	0,135741	0,553558	0,10901	3,234
10	150	5	50	-	1748,95	0,122167	0,448382	0,096009	3,330
11	150	5	55	-	1748,95	0,111061	0,370564	0,085451	3,415
12	150	5	60	-	1748,95	0,101806	0,311376	0,076722	3,492
13	150	5	65	-	1748,95	0,093975	0,265315	0,069395	3,561
14	150	5	70	-	1748,95	0,087262	0,228766	0,063167	3,625
15	150	5	75	-	1748,95	0,081445	0,199281	0,057816	3,682
16	150	5	80	-	1748,95	0,076354	0,175149	0,053174	3,736
17	150	5	85	-	1748,95	0,071863	0,155149	0,049114	3,785
18	150	5	90	-	1748,95	0,067871	0,13839	0,045538	3,830
19	150	5	95	-	1748,95	0,064299	0,124206	0,042366	3,873
20	150	5	100	-	1748,95	0,061084	0,112096	0,039538	3,912
21	150	5	105	-	1748,95	0,058175	0,101674	0,037003	3,949
22	150	5	110	-	1748,95	0,055531	0,092641	0,034719	3,984
23	150	5	115	-	1748,95	0,053116	0,08476	0,032653	4,016
24	150	5	120	-	1748,95	0,050903	0,077844	0,030777	4,047
25	150	5	125	-	1748,95	0,048867	0,071741	0,029067	4,076
26	150	5	130	-	1748,95	0,046987	0,066329	0,027504	4,104

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
27	150	5	135	-	1748,95	0,045247	0,061506	0,026069	4,130
28	150	5	140	-	1748,95	0,043631	0,057192	0,02475	4,155
29	150	5	145	-	1748,95	0,042127	0,053315	0,023533	4,178
30	150	5	150	-	1748,95	0,040722	0,04982	0,022407	4,201
31	150	5	155	-	1748,95	0,039409	0,046658	0,021364	4,222
32	150	5	160	-	1748,95	0,038177	0,043787	0,020395	4,242
33	150	5	165	-	1748,95	0,03702	0,041174	0,019493	4,262
34	150	5	170	-	1748,95	0,035932	0,038787	0,018652	4,281
35	150	5	175	-	1748,95	0,034905	0,036603	0,017867	4,298
36	150	5	180	-	1748,95	0,033935	0,034597	0,017132	4,315
37	150	5	185	-	1748,95	0,033018	0,032753	0,016442	4,332
38	150	5	190	-	1748,95	0,032149	0,031051	0,015795	4,348
39	150	5	195	-	1748,95	0,031325	0,029479	0,015187	4,363
40	150	5	200	-	1748,95	0,030542	0,028024	0,014614	4,378
41	150	5	205	-	1748,95	0,029797	0,026674	0,014074	4,392
42	150	5	210	-	1748,95	0,029087	0,025418	0,013565	4,405
43	150	5	215	-	1748,95	0,028411	0,02425	0,013083	4,418
44	150	5	220	-	1748,95	0,027765	0,02316	0,012627	4,431
45	150	5	225	-	1748,95	0,027148	0,022142	0,012196	4,443
46	150	5	230	-	1748,95	0,026558	0,02119	0,011786	4,455
47	150	5	235	-	1748,95	0,025993	0,020298	0,011398	4,466
48	150	5	240	-	1748,95	0,025451	0,019461	0,011028	4,477
49	150	5	245	-	1748,95	0,024932	0,018675	0,010677	4,488
50	150	5	250	-	1748,95	0,024433	0,017935	0,010343	4,498
51	150	5	255	-	1748,95	0,023954	0,017239	0,010025	4,508
52	150	5	260	-	1748,95	0,023494	0,016582	0,009721	4,518
53	150	5	265	-	1748,95	0,02305	0,015962	0,009431	4,527
54	150	5	270	-	1748,95	0,022624	0,015377	0,009155	4,537
55	150	5	275	-	1748,95	0,022212	0,014823	0,00889	4,546
56	150	5	280	-	1748,95	0,021816	0,014298	0,008637	4,554

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
57	150	5	285	-	1748,95	0,021433	0,013801	0,008395	4,563
58	150	5	290	-	1748,95	0,021063	0,013329	0,008163	4,571
59	150	5	295	-	1748,95	0,020706	0,012881	0,007941	4,579
60	150	5	300	-	1748,95	0,020361	0,012455	0,007728	4,586
61	150	5	305	-	1748,95	0,020027	0,01205	0,007523	4,594
62	150	5	310	-	1748,95	0,019704	0,011664	0,007327	4,601
63	150	5	315	-	1748,95	0,019392	0,011297	0,007138	4,608
64	150	5	320	-	1748,95	0,019089	0,010947	0,006957	4,615
65	150	5	325	-	1748,95	0,018795	0,010613	0,006783	4,622
66	150	5	330	-	1748,95	0,01851	0,010293	0,006615	4,629
67	150	5	335	-	1748,95	0,018234	0,009988	0,006453	4,635
68	150	5	340	-	1748,95	0,017966	0,009697	0,006298	4,641
69	150	5	345	-	1748,95	0,017705	0,009418	0,006148	4,648
70	150	5	350	-	1748,95	0,017452	0,009151	0,006003	4,654
71	150	5	355	-	1748,95	0,017207	0,008895	0,005864	4,660
72	150	5	360	-	1748,95	0,016968	0,008649	0,005729	4,665
73	150	5	365	-	1748,95	0,016735	0,008414	0,005599	4,671
74	150	5	370	-	1748,95	0,016509	0,008188	0,005473	4,676
75	150	5	375	-	1748,95	0,016289	0,007971	0,005352	4,682
76	150	5	380	-	1748,95	0,016075	0,007763	0,005235	4,687
77	150	5	385	-	1748,95	0,015866	0,007563	0,005121	4,692
78	150	5	390	-	1748,95	0,015662	0,00737	0,005012	4,697
79	150	5	395	-	1748,95	0,015464	0,007184	0,004905	4,702
80	150	5	400	-	1748,95	0,015271	0,007006	0,004803	4,707
81	150	5	405	-	1748,95	0,015082	0,006834	0,004703	4,711
82	150	5	410	-	1748,95	0,014898	0,006668	0,004607	4,716
83	150	5	415	-	1748,95	0,014719	0,006509	0,004513	4,721
84	150	5	420	-	1748,95	0,014544	0,006355	0,004422	4,725
85	150	5	425	-	1748,95	0,014373	0,006206	0,004334	4,729

LAMPIRAN 10 : GRAFIK FUNGSI RESISTANSI PEMBUMIHAN TERHADAP JARAK PADA SETIAP TEBAL LAPISAN TANAH YANG SAMA DENGAN PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG 50 CM



**LAMPIRAN 11 : NILAI RESISTANSI PEMBUMIAN DENGAN DIAMETER ARANG TEMPURUNG KELAPA 10 CM
DAN KADAR AIR 20 % HASIL ANALISIS NUMERIK**

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	$R_{parallel}$ (ohm)	R_e (ohm)
1	150	5	5	107,702	1977,82	0,114333	62,9879	0,114126	0,11413
2	150	5	10	-	1977,82	1,049798	15,74697	0,984186	1,09831
3	150	5	15	-	1977,82	0,699866	6,998655	0,636241	1,73455
4	150	5	20	-	1977,82	0,524899	3,936744	0,463146	2,19770
5	150	5	25	-	1977,82	0,419919	2,519516	0,359931	2,55763
6	150	5	30	-	1977,82	0,349933	1,749664	0,291611	2,84924
7	150	5	35	-	1977,82	0,299942	1,285467	0,243197	3,09244
8	150	5	40	-	1977,82	0,26245	0,984186	0,207197	3,29963
9	150	5	45	-	1977,82	0,135741	0,553558	0,10901	3,40865
10	150	5	50	-	1977,82	0,122167	0,448382	0,096009	3,50465
11	150	5	55	-	1977,82	0,111061	0,370564	0,085451	3,59010
12	150	5	60	-	1977,82	0,101806	0,311376	0,076722	3,66683
13	150	5	65	-	1977,82	0,093975	0,265315	0,069395	3,73622
14	150	5	70	-	1977,82	0,087262	0,228766	0,063167	3,79939
15	150	5	75	-	1977,82	0,081445	0,199281	0,057816	3,85720
16	150	5	80	-	1977,82	0,076354	0,175149	0,053174	3,91038
17	150	5	85	-	1977,82	0,071863	0,155149	0,049114	3,95949
18	150	5	90	-	1977,82	0,067871	0,13839	0,045538	4,00503
19	150	5	95	-	1977,82	0,064299	0,124206	0,042366	4,04740
20	150	5	100	-	1977,82	0,061084	0,112096	0,039538	4,08693
21	150	5	105	-	1977,82	0,058175	0,101674	0,037003	4,12394
22	150	5	110	-	1977,82	0,055531	0,092641	0,034719	4,15866
23	150	5	115	-	1977,82	0,053116	0,08476	0,032653	4,19131
24	150	5	120	-	1977,82	0,050903	0,077844	0,030777	4,22209
25	150	5	125	-	1977,82	0,048867	0,071741	0,029067	4,25115
26	150	5	130	-	1977,82	0,046987	0,066329	0,027504	4,27866

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
27	150	5	135	-	1977,82	0,045247	0,061506	0,026069	4,30473
28	150	5	140	-	1977,82	0,043631	0,057192	0,02475	4,32948
29	150	5	145	-	1977,82	0,042127	0,053315	0,023533	4,35301
30	150	5	150	-	1977,82	0,040722	0,04982	0,022407	4,37542
31	150	5	155	-	1977,82	0,039409	0,046658	0,021364	4,39678
32	150	5	160	-	1977,82	0,038177	0,043787	0,020395	4,41718
33	150	5	165	-	1977,82	0,03702	0,041174	0,019493	4,43667
34	150	5	170	-	1977,82	0,035932	0,038787	0,018652	4,45532
35	150	5	175	-	1977,82	0,034905	0,036603	0,017867	4,47319
36	150	5	180	-	1977,82	0,033935	0,034597	0,017132	4,49032
37	150	5	185	-	1977,82	0,033018	0,032753	0,016442	4,50676
38	150	5	190	-	1977,82	0,032149	0,031051	0,015795	4,52256
39	150	5	195	-	1977,82	0,031325	0,029479	0,015187	4,53775
40	150	5	200	-	1977,82	0,030542	0,028024	0,014614	4,55236
41	150	5	205	-	1977,82	0,029797	0,026674	0,014074	4,56643
42	150	5	210	-	1977,82	0,029087	0,025418	0,013565	4,58000
43	150	5	215	-	1977,82	0,028411	0,02425	0,013083	4,59308
44	150	5	220	-	1977,82	0,027765	0,02316	0,012627	4,60571
45	150	5	225	-	1977,82	0,027148	0,022142	0,012196	4,61790
46	150	5	230	-	1977,82	0,026558	0,02119	0,011786	4,62969
47	150	5	235	-	1977,82	0,025993	0,020298	0,011398	4,64109
48	150	5	240	-	1977,82	0,025451	0,019461	0,011028	4,65212
49	150	5	245	-	1977,82	0,024932	0,018675	0,010677	4,66279
50	150	5	250	-	1977,82	0,024433	0,017935	0,010343	4,67314
51	150	5	255	-	1977,82	0,023954	0,017239	0,010025	4,68316
52	150	5	260	-	1977,82	0,023494	0,016582	0,009721	4,69288
53	150	5	265	-	1977,82	0,02305	0,015962	0,009431	4,70231
54	150	5	270	-	1977,82	0,022624	0,015377	0,009155	4,71147
55	150	5	275	-	1977,82	0,022212	0,014823	0,00889	4,72036
56	150	5	280	-	1977,82	0,021816	0,014298	0,008637	4,72900

n	h (cm)	l (cm)	r (cm)	ρ_A (ohm-cm)	ρ_T (ohm-cm)	R_A (ohm)	R_T (ohm)	R_{pararel} (ohm)	R_e (ohm)
57	150	5	285	-	1977,82	0,021433	0,013801	0,008395	4,73739
58	150	5	290	-	1977,82	0,021063	0,013329	0,008163	4,74555
59	150	5	295	-	1977,82	0,020706	0,012881	0,007941	4,75349
60	150	5	300	-	1977,82	0,020361	0,012455	0,007728	4,76122
61	150	5	305	-	1977,82	0,020027	0,01205	0,007523	4,76875
62	150	5	310	-	1977,82	0,019704	0,011664	0,007327	4,77607
63	150	5	315	-	1977,82	0,019392	0,011297	0,007138	4,78321
64	150	5	320	-	1977,82	0,019089	0,010947	0,006957	4,79017
65	150	5	325	-	1977,82	0,018795	0,010613	0,006783	4,79695
66	150	5	330	-	1977,82	0,01851	0,010293	0,006615	4,80357
67	150	5	335	-	1977,82	0,018234	0,009988	0,006453	4,81002
68	150	5	340	-	1977,82	0,017966	0,009697	0,006298	4,81632
69	150	5	345	-	1977,82	0,017705	0,009418	0,006148	4,82246
70	150	5	350	-	1977,82	0,017452	0,009151	0,006003	4,82847
71	150	5	355	-	1977,82	0,017207	0,008895	0,005864	4,83433
72	150	5	360	-	1977,82	0,016968	0,008649	0,005729	4,84006
73	150	5	365	-	1977,82	0,016735	0,008414	0,005599	4,84566
74	150	5	370	-	1977,82	0,016509	0,008188	0,005473	4,85113
75	150	5	375	-	1977,82	0,016289	0,007971	0,005352	4,85649
76	150	5	380	-	1977,82	0,016075	0,007763	0,005235	4,86172
77	150	5	385	-	1977,82	0,015866	0,007563	0,005121	4,86684
78	150	5	390	-	1977,82	0,015662	0,00737	0,005012	4,87185
79	150	5	395	-	1977,82	0,015464	0,007184	0,004905	4,87676
80	150	5	400	-	1977,82	0,015271	0,007006	0,004803	4,88156
81	150	5	405	-	1977,82	0,015082	0,006834	0,004703	4,88626
82	150	5	410	-	1977,82	0,014898	0,006668	0,004607	4,89087
83	150	5	415	-	1977,82	0,014719	0,006509	0,004513	4,89538
84	150	5	420	-	1977,82	0,014544	0,006355	0,004422	4,89981
85	150	5	425	-	1977,82	0,014373	0,006206	0,004334	4,90414

LAMPIRAN 12 : FOTO – FOTO PENELITIAN



Gambar L-3. Pengukuran resistivitas arang



Gambar L-4. *Earth Tester Resistance*



Gambar L-5. Pengukuran resistansi pembumian dengan pemberian arang tempurung kelapa