

**PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES DAN  
GYPSUM DENGAN CAMPURAN NaCl DAN ARANG UNTUK  
MEREDUKSI RESISTANSI PENTANAHAN**

**(APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU  
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

**TESIS**

**Oleh:**

**HEFRI YULIADI**

**NPM: 1920080006**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## PENGESAHAN TESIS

**PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES DAN GYPSUM  
DENGAN CAMPURAN NaCl DAN ARANG UNTUK MEREDUKSI  
RESISTANSI PENTANAHAN  
(APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU  
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

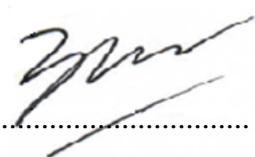
**HEFRI YULIADI**  
**1920080006**

**Program Studi: Magister Teknik Elektro**

“Tesis ini Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji Yang Dibentuk Oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan Berhak Menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (MT) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022”

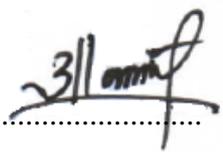
**Panitia Penguji**

1. Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno. M.T., M.Sc.

1.....

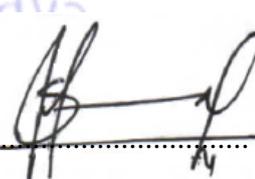
Ketua

2. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M.Sc.

2.....

Sekretaris

3. Assoc. Prof. Dr. Ir. Syafruddin Hasan.

3.....

Anggota

## PENGESAHAN TESIS

Nama : **HEFRI YULIADI**  
NPM : **1920080006**  
Konsentrasi/Prodi : Magister Teknik Elektro  
Judul Tesis : PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES  
DAN GYPSUM DENGAN CAMPURAN NaCl DAN  
ARANG UNTUK MEREDUKSI RESISTANSI  
PENTANAHAN  
(APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN  
PENJAMINAN MUTU PENDIDIKAN VOKASI BIDANG  
BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)

Pengesahan Tesis:

Medan, 21 Maret 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



**Assoc Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, MSc**



**Rohana, ST., MT**

Diketahui:

Direktur

Ketua Program Studi



**Prof. Dr. Triono Eddy, S.H**



**Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno. M.T**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : **HEFRI YULIADI**  
NPM : **1920080006**  
Konsentrasi/Prodi : **Magister Teknik Elektro**  
Judul Tesis : **PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES DAN GYPSUM DENGAN CAMPURAN NaCl DAN ARANG UNTUK MEREDUKSI RESISTANSI PENTANAHAN (APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK MEDAN)**

Pengesahan Tesis:

Medan, 21 Maret 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



**Assoc Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, MSc**



**Rohana, ST., MT**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

## PERNYATAAN

**Perbandingan Penambahan Material Asbes Dan Gypsum Dengan Campuran  
NaCl Dan Arang Untuk Mereduksi Resistansi Pentanahan  
(Aplikasi: Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi  
Bidang Bangunan Listrik Medan)**

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya penulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya tulis dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Penulis



(Hefri Yuliadi)

1920080006

## PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan kerendahan hati, tesis ini saya persembahkan kepada:

- Papa dan Ibu, yang telah memberikan doa-doa terbaiknya dan telah memberikan dukungan yang luar biasa.
  - Istri tercinta dan anak-anak yang telah memberikan dukungan dan doa yang luar biasa.
  - Teman-teman BBPPMPV BBL Medan, yang telah memberikan motivasi dan doa-doa terbaiknya.
  - Teman-teman Pascasarjana PPs MTE UMSU, yang telah memberikan warna dan kisah cerita yang tidak terlupakan.
  - Almamater UMSU yang telah membentuk penulis menjadi lebih baik.
- 

"Kurang cerdas bisa diperbaiki dengan belajar. Kurang cakap dapat dihilangkan dengan pengalaman. Namun tidak jujur itu sulit diperbaiki."

-Muhammad Hatta-

"Biarpun seribu kapal tenggelam di lautan. Namun, cita-cita manusia tidak pernah padam."

-Buya Hamka-

**PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES DAN GYPSUM  
DENGAN CAMPURAN NaCl DAN ARANG UNTUK MEREDUKSI  
RESISTANSI PENTANAHAN  
(APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU  
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN LISTRIK MEDAN)**

**HEFRI YULIADI  
NPM: 1920080006**

**ABSTRAK**

Sistem pentanahan menjadi bagian terpenting dari sistem tenaga listrik untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik maupun manusia yang berlokasi di sekitar gangguan dengan cara mengalirkan arus gangguan ke tanah. Salah satu faktor untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang kecil sesuai dengan PUIL, selain kedalaman penanaman elektroda, tahanan jenis tanah yang akan dibuat sebagai penempatan pentanahan harus kecil, untuk mengatasi tahanan pentanahan yang relatif besar diperlukan zat aditif untuk mereduksi tahanan pentanahan, material Asbes dan Gypsum dan campuran NaCl Arang dipilih untuk mereduksi nilai tahanan pentanahan. Pengukuran dilakukan menggunakan metode tiga titik yang dilakukan pada setiap variasi kedalaman elektroda dan komposisi material aditif yang digunakan untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui material aditif Asbes dan Gypsum dengan campuran NaCl-Arang serta komposisinya, yang baik antara keduanya untuk mereduksi tahanan pentanahan di bawah atau sama dengan 5 Ohm menurut PUIL. Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa perbandingan persentase penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan Gypsum dan campuran NaCl (garam) – Karbon (arang) adalah pada Asbes sebesar 69,40% sedangkan pada Gypsum sebesar 73,64%. Hal ini menunjukkan bahwa dari hasil perbandingan persentase hasil pengukuran dan perhitungan menyatakan persentase penurunan nilai resistansi pentanahan yang lebih baik dari zat aditif Gypsum.

Kata kunci: Tahanan pentanahan, Asbes, Gypsum, Garam dan Arang

**COMPARISON OF ADDITION OF ASBESTOS AND GYPSUM MATERIALS  
WITH A MIXTURE OF NaCl AND CHARCOAL TO REDUCE GROUNDING  
RESISTANCE**

**(APPLICATION: CENTER FOR THE DEVELOPMENT OF QUALITY  
ASSURANCE OF VOCATIONAL EDUCATION IN MEDAN ELECTRICITY  
BUILDING SECTOR)**

**HEFRI YULIADI  
NPM: 1920080006**

**ABSTRACT**

*The grounding system is the most important part of the electric power system to secure electrical equipment and humans located in the vicinity of the fault by flowing fault current to the ground. One of the factors to get a small grounding resistance value according to PUIL, in addition to the depth of the electrode implant, the soil type resistance that will be made as a grounding placement must be small, to overcome the relatively large grounding resistance, additives are needed to reduce grounding resistance, asbestos and gypsum materials and a mixture of NaCl-Charcoal were chosen to reduce the value of grounding resistance. Measurements were carried out using the three-point method which was carried out at each variation of the electrode depth and the composition of the additive material used to reduce the value of the grounding resistance. This measurement aims to determine the additive material of asbestos and gypsum with a mixture of NaCl-charcoal and a good composition between the two to reduce grounding resistance below or equal to 5 ohms according to PUIL. From the results of the analysis, it can be concluded that the ratio of the percentage decrease in the value of the grounding resistance of Asbestos and Gypsum additives and a mixture of NaCl (salt) - Carbon (charcoal) is 69.40% for Asbestos while 73.64% for Gypsum. This shows that the results of the comparison of the percentage of measurement and calculation results indicate that the percentage reduction in the value of the grounding resistance is better than the Gypsum additive.*

*Keywords: Earthing prisoners, Asbestos, Gypsum, salt and charcoal*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala pemberian dan titipan-NYA di dunia ini. Sholawat dan salam untuk Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Alhamdulillah berkat izin-NYA penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul “Perbandingan Penambahan Material Asbes Dan Gypsum Dengan Campuran NaCl Dan Arang Untuk Mereduksi Resistansi Pentanahan” Aplikasi: Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan.

Penelitian tesis ini merupakan salah satu syarat dalam meraih gelar magister pada program studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Selanjutnya, atas bimbingan serta arahan dalam merampungkan penulisan tesis ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Istri dan keluarga yang selalu mendukung dalam penyusunan tesis ini,
2. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, SH., M.Hum, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M.Sc., selaku Wakil Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
4. Bapak Dr. Ir. Suwarno, MT., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
5. Ibu Rohana, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis ini,
6. Bapak Dr. Ir. Surya Hardi, M.T., selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis ini,
7. Bapak dan Ibu Dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
8. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
9. Teman – teman sejawat dan seperjuangan di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
10. Semua pihak yang terlibat, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis telah berusaha untuk menyampaikan yang terbaik dalam tesis ini, namun penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan di dalamnya. Oleh

karena itu penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran membangun dari pembaca untuk kesempurnaan tesis ini. Akhir kata, semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Medan, 21 April 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PENGESAHAN PENGUJI</b>	
<b>PENGESAHAN TESIS</b>	
<b>PERNYATAAN</b>	
<b>PERSEMBAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Sistem Pentanahan.....	9
2.1.2 Tegangan Sentuh.....	13
2.1.3 Jenis-Jenis Tanah Dalam Pentanahan.....	14
2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan Sistem Pentanahan.....	17
2.2 Jenis-Jenis Bahan Aditif.....	20
2.3 Elektroda Pentanahan.....	23
2.4 Metode Pengukuran.....	27
2.5 Persamaan Regresi Linier Sederhana.....	28
2.6 Persentase Penurunan Tahanan Pentanahan.....	29
2.7 Kajian Penelitian Relevan.....	29
2.8 Kerangka Berpikir.....	32

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>33</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.2 Alat dan bahan.....	33
3.3 Data penelitian.....	34
3.4 Rancangan Penelitian.....	34
3.5 Diagram alir penelitian.....	37
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1 Analisis Perbandingan Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan.....	38
4.1.1 Analisis Perbandingan Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran Dengan Bahan Aditif.....	38
4.1.2 Analisis Perbandingan Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan Pentanahan Setelah Pencampuran Dengan Bahan Aditif.....	40
4.2 Pengkomposisian Zat Aditif Dalam Menurunkan Tahanan Pentanahan Sesuai Standar PUIL.....	46
4.3 Analisis Hubungan Resistansi dengan Kedalaman Penanaman Elektroda Menggunakan Regresi Linier Sederhana.....	48
4.3.1 Analisis Hasil Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran Bahan Aditif.....	48
4.3.2 Analisis Hasil Tahanan Pentanahan Setelah Pencampuran Bahan Aditif.....	54
4.3.3 Persentase Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan Zat Aditif Asbes, Gypsum dengan Campuran NaCl – Arang.....	70
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tahanan Jenis Tanah-1.....	16
Tabel 2.2	Tahanan Jenis Tanah-2.....	17
Tabel 2.3	Tahanan Jenis Tanah-3.....	17
Tabel 2.4	Luas Penampang Minimum Elektroda Batang Pentanahan Standar Berdasarkan Jenis Bahan.....	26
Tabel 3.1	Tabel Pengukuran.....	36
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran.....	38
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Setelah Pencampuran Dengan Arang Dan Garam.....	40
Tabel 4.3	Persentase Penurunan Tahanan Pentanahan Material Asbes dan Gypsum.....	45
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan.....	46
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Tanah 100%.....	49
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Asbes 100%.....	51
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Gypsum 100%...	53
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Asbes 70%.....	53
	Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%.....	55
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Asbes 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%.....	57
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Asbes 50% Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%.....	59
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Asbes 40% Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%.....	61
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Gypsum 70% Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%.....	63
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Gypsum 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%.....	65
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Gypsum 50%	

Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%.....	67
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Gypsum 40%	
Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%.....	69
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Asumsi Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan	
Zat Aditif Asbes Campuran NaCl – Arang.....	70
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Asumsi Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan	
Zat Aditif Gypsum Campuran NaCl – Arang.....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tegangan Sentuh.....	14
Gambar 2.2	Asbes (Zeolit) .....	21
Gambar 2.3	Gypsum.....	22
Gambar 2.4	Arang Kayu Dan Bubuk Arang.....	23
Gambar 2.5	Bentuk Elektroda Pita, Tipe Cabang Enam, Cincin dan Disk....	24
Gambar 2.6	Elektroda Pelat.....	25
Gambar 2.7	Elektroda Batang.....	26
Gambar 2.8	Rangkaian Pengukuran Dengan Metode Tiga Titik.....	27
Gambar 2.9	Kerangka Berpikir.....	32
Gambar 3.1	Lubang Pentanahan.....	35
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4.1	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Tanah 100% .....	49
Gambar 4.2	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Tanah 100%.....	49
Gambar 4.3	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 100% .....	51
Gambar 4.4	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 100%.....	51
Gambar 4.5	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 100% .....	53
Gambar 4.6	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 100%.....	53
Gambar 4.7.	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 70% + Arang 20% + Garam 10% .....	55
Gambar 4.8	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 70% + Arang 20% + Garam 10% .....	56
Gambar 4.9.	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 60% + Arang 30% + Garam 10% .....	57
Gambar 4.10	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 60% + Arang 30% + Garam 10% .....	58

Gambar 4.11	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 50% + Arang 40% + Garam 10% .....	59
Gambar 4.12	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 50% + Arang 40% + Garam 10% .....	60
Gambar 4.13	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 40% + Arang 50% + Garam 10% .....	61
Gambar 4.14	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 40% + Arang 50% + Garam 10% .....	62
Gambar 4.15	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 70% + Arang 20% + Garam 10% .....	63
Gambar 4.16	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 70% + Arang 20% + Garam 10% .....	64
Gambar 4.17	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 60% + Arang 30% + Garam 10% .....	65
Gambar 4.18	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 60% + Arang 30% + Garam 10% .....	66
Gambar 4.19	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 50% + Arang 40% + Garam 10% .....	67
Gambar 4.20	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 50% + Arang 40% + Garam 10% .....	68
Gambar 4.21	Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 40% + arang 50% + Garam 10% .....	69
Gambar 4.22	Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 40% + Arang 50% + Garam 10% .....	70

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Persamaan Regresi.....	77
Lampiran 2	Perhitungan Persamaan Regresi dengan Aplikasi Excel 2010...	89
Lampiran 3	Tabel Data Pengukuran.....	101
Lampiran 4	Foto Penelitian.....	103
Lampiran 5	Surat Izin Penelitian.....	104

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan dan arus abnormal, oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian terpenting dari sistem tenaga listrik.

Tanah merupakan medium pembumian yang bersifat sebagai konduktor. Untuk frekuensi tinggi dan gelombang bermuka curam seperti petir dapat diartikan bahwa tanah merupakan konduktor sempurna, struktur tanah merupakan salah satu faktor yang harus diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pembumian yang akan digunakan. Penelitian struktur tanah dan pengukuran resistansi jenis tanah menjadi faktor penting yang sangat mempengaruhi kedalaman penanaman elektroda batang pembumian.

Sistem pentanahan adalah faktor penting dalam pengamanan sistem tenaga listrik. Sistem pentanahan memiliki fungsi yaitu membuang arus lebih ke dalam tanah atau bumi, sehingga dapat mengamankan manusia dari gangguan listrik. Faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan antara lain jenis tanah, ukuran dan jenis elektroda yang digunakan, kedalaman penanaman batang elektroda. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh komposisi tanah, temperatur, kandungan air (kelembaban), dan kandungan kimia dalam tanah[1].

Sistem Pentanahan dirancang untuk memenuhi standar aman bagi manusia dan peralatan yang berada di area sekitarnya. Sistem pentanahan yang digunakan harus benar-benar dapat mencegah bahaya ketika pada saat gangguan terjadi, dimana arus gangguan yang mengalir ke bagian peralatan dan ke peralatan pembumian dapat dibumikan sehingga gradien tegangan disekitar area pembumian menjadi merata dan tidak menimbulkan beda potensial antara titik-titik di sekitar, jumlah konfigurasi elektroda tahanan pentanahan menggunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.

Sistem pentanahan dapat dilakukan dengan cara menanam batang elektroda pada kedalaman tertentu sehingga impedansi pentanahan menjadi kecil, jarak kedalaman penanaman elektroda ke bumi, jenis tanah dan konfigurasi elektroda dapat berpengaruh terhadap nilai resistansi pentanahan. kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin baik sehingga arus gangguan tidak mengalir dan tidak merusak peralatan, adapun ketentuan pada sistem pentanahan terdapat pada PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) tahun 2000 bahwa standar untuk tahanan pentanahan yang berlaku tidak boleh lebih dari  $5 \Omega$  ( $\leq 5 \Omega$ ) namun pada daerah yang memiliki tahanan jenis tanah yang cukup tinggi maka standar maksimumnya adalah  $(10 \Omega)$ [2].

Asbes atau asbestos adalah salah satu bahan tambang yang terdiri dari Magnesium-Calsium-Silikat yang berbentuk serat. Elemen di dalamnya seperti Silica atau pasir, kristal berserat tipis, dengan masing-masing serat terlihat terdiri

dari jutaan “fibril” mikroskopis yang dapat terlepas ke udara karena abrasi dan proses lainnya.

Asbes yang digunakan dapat diperoleh dari pemanfaatan bahan bangunan yang sudah tidak terpakai[3].

Gypsum atau kalsium sulfat digunakan sebagai bahan urukan, baik dalam fase sendiri maupun dicampur dengan NaCl dan Arang atau dengan tanah alami berasal dari daerah tersebut. Gypsum mempunyai kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah dihilangkan. Gypsum tidak mahal dan biasanya dicampur dengan tanah urukan di sekitar elektroda. Gypsum membantu mempertahankan tahanan yang rendah dengan periode waktu yang relatif lama[4].

Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan (BBPPMPV BBL Medan) memiliki gedung kantor dan juga laboratorium uji yang memerlukan sistem pentanahan yang baik terhadap peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengaliran arus lebih ke dalam tanah atau bumi, pengamanan manusia terhadap gangguan listrik dan untuk memperoleh pentanahan yang baik dan mempunyai resistansi yang rendah maka penulis akan melakukan penelitian tentang optimasi bahan bubuk Asbes dan Gypsum untuk mereduksi resistansi pentanahan.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Penelitian ini merupakan studi kasus terkait permasalahan terhadap sistem pentanahan yang kurang berfungsi dengan baik dan juga tidak adanya lagi data yang valid serta dokumentasi teknis tentang sistem pentanahan di kawasan Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan

Listrik Medan (BBPPMPV BBL Medan), sistem pentanahan dengan penambahan material Asbes dan Gypsum serta campuran NaCl dan Arang dapat mereduksi tahanan pentanahan sesuai standar PUIL yang sangat dibutuhkan untuk mengamankan peralatan kelistrikan (laboratorium Uji) dan mesin-mesin produksi dari gangguan kelistrikan yang dapat merusak.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Dalam penelitian ini menggunakan batang elektroda tunggal.
2. Senyawa kimia dari unsur tanah tidak dijelaskan secara terperinci.
3. Pengaruh pH dan kadar NaCl tidak dijelaskan secara dalam.
4. Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan (BBPPMPV BBL Medan)

### **1.4 Rumusan Masalah**

Campuran bahan bubuk asbes dan gypsum diperkirakan dapat mereduksi resistansi pentanahan dengan tipe tanah yang ada di Balai Besar Pengembangan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik Medan, adapun rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perubahan penurunan nilai tahanan pentanahan sebelum penambahan zat aditif Asbes dan Gypsum dengan campuran NaCl - Arang?
2. Bagaimana perubahan penurunan nilai tahanan pentanahan setelah penambahan zat aditif Asbes dan Gypsum dengan campuran NaCl – Arang?

3. Bagaimana perbandingan persentase penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan Gypsum dan campuran NaCl – Arang?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perbandingan penurunan nilai tahanan pentanahan sebelum dan sesudah diberikan zat aditif Asbes dan Gypsum dicampur dengan NaCl - Arang.
2. Menganalisis pengkomposisian zat aditif dengan campuran NaCl - arang yang paling baik dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan sesuai standar PUIL.
3. Menganalisis hubungan resistansi dengan kedalaman menggunakan persamaan regresi linier sederhana untuk masing-masing komposisi.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Ada beberapa manfaat yang dapat diambil pada penelitian ini dan dapat dituliskan secara umum, adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Universitas adalah sebagai bahan referensi penelitian yang relevan.
2. Bagi Perusahaan yaitu Balai Besar Pengembangan Penjamin Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik (BBPPMPV BBL) Medan adalah sebagai acuan pentanahan untuk proteksi pengamanan peralatan listrik agar mendapatkan nilai resistansi sesuai standar PUIL.
3. Bagi mahasiswa adalah sebagai pendalaman materi tentang sistem pengaman peralatan, khususnya pengaman sistem pentanahan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

Salah satu faktor kunci dalam setiap pengamanan atau perlindungan rangkaian listrik, baik keamanan bagi peralatan maupun keamanan bagi manusia dengan cara menghubungkan bagian dari peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari rangkaian listrik dengan bumi menurut cara tertentu. Pentanahan pada peralatan listrik, misalnya transformator daya bisa dilakukan dengan berbagai cara seperti dengan menanamkan batang konduktor tegak lurus (vertikal) terhadap permukaan tanah atau dengan cara menanamkan batang konduktor sejajar (horizontal) terhadap permukaan tanah, penanaman ini ditanam dengan kedalaman beberapa puluh centimeter di bawah permukaan tanah. Hal ini dilakukan agar didapatkan suatu sistem yang bisa mengamankan peralatan, manusia yang ada disekitar peralatan yang ditanahkan, sering juga ditemui kesulitan dalam penanaman batang-batang dari elektroda pentanahan ini seperti pada lokasi yang berbatu, walaupun demikian pentanahan ini sangatlah penting yang diprioritaskan dalam usaha pengamanan atau perlindungan terhadap peralatan dan manusia[1].

Pada bagian ini peneliti bermaksud untuk memberikan gambaran tentang kaitan upaya pengembangan dengan upaya-upaya lain yang mungkin sudah pernah ditempuh oleh peneliti sebelumnya guna mendekati permasalahan yang sama atau relatif sama.

- Moch. Dhofir, dkk (2018) *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Malang, Indonesia berjudul Alternative Grounding Method Using Coconut Shell Charcoal as Media of Mesh Electrodes* menghasilkan pemanfaatan arang kelapa sebagai media alternative. Pada elektroda jala terbuat dari baja tahan karat ber diameter 8 mm, sedangkan dimensi kisinya adalah 50 cm x 50 cm. Empat variasi jumlah kisi dipertimbangkan, yaitu struktur 1-, 2-, dan 4- kisi dipasang pada kedalaman 80 cm di bawah tanah, sedangkan variasi ketebalan sedang 10 cm dipilih. Resistansi diperoleh dengan menggunakan ketebalan 10 cm lapisan arang dalam *mesh* yang terdiri dari kisi 1-, 2-, dan 4 berturut-turut adalah 268, 131, dan 78 ohm. Penambahan lapisan hingga 80 cm menghasilkan penurunan tahanan sebesar 48%, 33%, dan 44%. Menggunakan arang basah, lapisan 10 cm menghasilkan resistansi pentanahan 26,5, 17,5, dan 14,8 ohm dan pengurangan 25%, 10%, dan 3,6% selanjutnya untuk struktur *mesh* 1-, 2-, dan 4-*lattice* jika ketebalan lapisan 80 cm[5].
- Partaonan Harahap, Waleed Khalid, Ahmed Al-Ani (2021), *Department of Electrical Engineering, Muhammadiyah University, School Of Computer and communication Engineering, Universiti Malaysia Perlis, Pauh, Kangar, Malaysia Ministry on Industry and Minerals The State Company for Glass & Refractories, Republic of Iraq berjudul The Effect of Charcoal on the Improvement of Grounding Resistance as a Soil Treatment in Reducing Grounding Resistance* menghasilkan arang batok kelapa memiliki nilai resistivitas dari tanah dan memiliki struktur pori yang lebih besar untuk

menyerap air lebih banyak, dan memiliki sifat konduktif. Hasil yang diperoleh dari perbandingan penggunaan arang tempurung kelapa kering dan arang tempurung kelapa basah menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan arang tempurung kelapa basah lebih baik (resistansinya lebih kecil) dibandingkan dengan menggunakan arang tempurung kelapa kering. Tanah, pengukuran resistivitas akan jauh lebih baik pada kedalaman maksimum dari pada kedalaman biasa (110 cm), lebih baik dari 10 cm[6].

- Sudding, Jamaluddin (2016), *Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Makassar, Parangtambung, Makassar, Indonesia* berjudul *The Processing Of Coconut Shell Based On Pyrolysis Technology To Produce Renewable Energy Sources*, Penelitian ini meliputi pengeringan bahan baku, penyusunan, penggilingan dan pengayakan, pencampuran perekat, pencetakan dan kompresi, pengeringan, dan penentuan karakteristik meliputi densitas, kadar abu, lama pembakaran dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara karakteristik briket yang menggunakan perekat pati dengan yang menggunakan perekat pati sagu. Karakteristik briket yang diproduksi sesuai dengan standar di Indonesia, Amerika Serikat dan Jepang, kecuali Inggris yang memberikan standar yang sangat ketat. Arang aktif dari arang tempurung kelapa yang diaktivasi dengan HCl 1 M memiliki daya adsorpsi logam Cr (VI) yang cukup tinggi (mencapai 22,15%)[7].

- Debit, M. Iqbal Arsyad, Purwoharjono, (2021) Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak berjudul Studi Pemanfaatan Arang Batok Kelapa Untuk Perbaikan Resistansi Pentanahan Menggunakan Jenis Elektroda Plat Berbentuk Persegi, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh penambahan arang batok kelapa dengan menggunakan jenis tanah gambut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 model elektroda A, B, C, D dengan ukuran luas bervariasi mulai dari 15 x 15 cm hingga 60x60 cm. Elektroda yang digunakan terbuat dari bahan aluminium dengan ketebalan plat 2 mm. Penambahan ketebalan tanah dan arang batok kelapa dibuat bervariasi dengan kedalaman maksimal 120 cm. Pengukuran dilakukan dengan metode 3 titik menggunakan alat ukur *Earth Resistance Tester* model 4105A. Hasil pengujian dengan penurunan maksimum didapatkan pada kedalaman 120 cm menggunakan elektroda model D dengan nilai resistansi pentanahan tanpa penambahan arang batok kelapa sebesar 9,01 Ohm. Setelah penambahan arang batok kelapa sebesar 4,35 Ohm turun sebesar 51,7%. Nilai resistansi pentanahan yang didapatkan dengan penambahan ketebalan arang batok kelapa 120 cm dibiarkan selama 15 hari menggunakan elektroda model D didapat nilai resistansi pentanahan hari pertama sebesar 4,35 Ohm dan hari terakhir sebesar 4,02 Ohm turun sebesar 7,6%[8].

### **2.1.1 Sistem Pentanahan**

Sistem pentanahan pada dasarnya menyediakan saluran yang memiliki nilai hambatan rendah untuk mencegah gangguan, mencegah sengatan petir dan

menghindari potensial pada arus listrik. Gangguan yang terjadi di tanah yang diakibatkan gangguan satu fasa merupakan kesalahan yang paling umum dalam sistem tenaga listrik dan gangguan ini menyumbang sembilan puluh delapan persen dari semua gangguan yang terjadi, sistem pentanahan dibangun dengan menanam elektroda ke dalam tanah yang mana elektroda tersebut dikenal sebagai “batang” yang ditanam secara vertikal dan batang tersebut bersifat “konduktor” apabila ditanam secara horizontal. Jaringan pentanahan terbentuk baik dari kombinasi konduktor dan batang atau hanya terbentuk dari konduktor saja, jaringan ini biasanya digunakan dalam pentanahan gardu induk dan untuk pentanahan pembangkit listrik[2].

Estimasi berdasarkan klasifikasi tanah hanya menghasilkan perkiraan kasar resistivitas, pengujian resistivitas yang sebenarnya sangat penting, tempat-tempat stasiun di mana tanah dapat memiliki resistivitas seragam di seluruh area dan sampai kedalaman cukup dalam jarang ditemukan, biasanya ada beberapa lapisan, masing-masing memiliki resistivitas yang berbeda, perubahan lateral juga terjadi tetapi dibandingkan dengan yang vertikal, perubahan ini biasanya lebih bertahap, pengujian resistivitas tanah harus dilakukan untuk menentukan apakah ada variasi penting dari resistivitas dengan kedalaman, nilai hasil variabel yang diambil harus lebih besar di mana variasinya besar, terutama jika beberapa hasil nilai sangat tinggi untuk menyarankan kemungkinan masalah keamanan[3][9].

Tujuan dari pentanahan, yaitu untuk mengatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi

operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan yang baik sangat dibutuhkan. Gunanya adalah untuk memperoleh potensial yang merata (*Uniform*) dalam semua bagian peralatan dan juga menjaga agar manusia yang berada di daerah tersebut mempunyai potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Kecelakaan pada manusia dapat timbul pada saat terjadi hubung singkat ke tanah. Jadi, bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya [4][10].

Dalam hal ini jika resistivitas bervariasi dengan kedalaman, sering diinginkan untuk menggunakan rentang jarak yang meningkatkan untuk mendapatkan estimasi resistivitas lapisan yang lebih dalam, ini dimungkinkan karena ketika jarak meningkat arus sumber uji menembus semakin banyak daerah yang jauh di kedua arah vertikal dan arah horizontal, terlepas dari banyaknya jalur saat ini terdistorsi karena kondisi tanah yang bervariasi (*Manual On Ground Resistance Testing*)[11]

#### 1. Pentanahan Peralatan

Dalam keadaan normal bagian-bagian peralatan listrik yang terbuat dari bahan konduktor atau sejenis logam penghantar adalah merupakan salah satu media penghantar listrik yang baik. Jadi, apabila terjadi gangguan hubung singkat atau kegagalan isolasi terhadap bagian badan atau kerangka peralatan listrik, maka antara bagian badan peralatan tersebut dengan bumi akan terdapat perbedaan potensial atau tegangan. Perbedaan ini sangat membahayakan baik terhadap peralatan itu sendiri atau terhadap manusia khususnya tenaga kerja yang

menangani peralatan tersebut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu diupayakan menyamakan tegangan peralatan dengan bumi dengan jalan menghubungkan bagian-bagian kerangka peralatan dengan sistem pentanahan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang sama antara peralatan dan bumi serta memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan mengalirnya arus hubung singkat ke tanah dengan cepat. Pentanahan peralatan umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu, Pentanahan rod dan Pentanahan grid[12][13].

## 2. Pentanahan Penangkap Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkap petir pada bangunan-bangunan. Akibat sambaran petir ini akan mengakibatkan kerusakan langsung pada objek yang tersambar. Dengan adanya instalasi penangkap petir ini, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkap petir yang diteruskan ke bumi. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ke bumi adalah *flashover* pada saluran hantaran penurunan serta gradien tegangan disekitar elektroda bumi. Adapun komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu hantaran penghubung dan Elektroda pentanahan[14].

Adapun syarat dari sistem pentanahan yang efektif adalah:

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan sistem dan peralatan dengan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surya hubung.

- c. Menggunakan bahan tahan terhadap korosi dengan berbagai bahan kimia tanah, untuk memastikan ketahanan sesuai umur dari peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun dapat dengan mudah dirawat dan perbaikan jika ada masalah.

Karakteristik sistem pentanahan yang efektif yaitu:

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Menghindarkan gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.
3. Semua komponen metal harus ditanahkan dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

### **2.1.2 Tegangan Sentuh**

Tegangan sentuh menggambarkan arus gangguan dilepaskan ke bumi oleh sistem pentanahan gardu induk dan seseorang yang menyentuh struktur pentanahan gardu induk yang terbuat dari metal, menunjukkan ekivalen Thevenin dirangkaikan secara paralel ( $Z_{Th}$ ) dianggap sebagai langkah seseorang dan dirangkai secara seri dengan tahanan yang ada pada tubuh orang tersebut ( $R_B$ ). Tegangan ( $V_{Th}$ ) yang berada di antara H dan F ketika seseorang tersebut tidak ada sedangkan arus yang mengalir pada tubuh dimisalkan dengan  $I_B$ . Ketika  $Z_{TH}$  sebanding dengan tahanan yang ada pada langkah orang tersebut dimana tahanan

tersebut dirangkakan secara paralel, sehingga persamaan tegangan sentuh dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.1.

$$E_{touch} = I_B (R_B + Z_{Th}) \quad 2.1$$

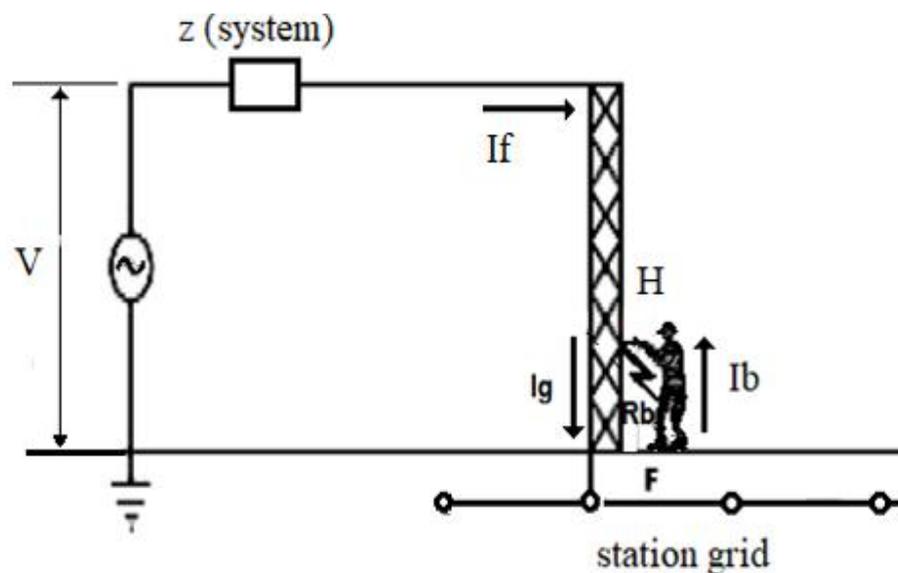
Dimana:

$I_B$  = nilai arus yang mengalir dalam tubuh (Amper)

$R_B$  = nilai tahanan manusia (ohm)

$Z_{th}$  = nilai Ekivalen (ohm)

$V_{th}$  = nilai tegangan pada tubuh (volt)



Gambar 2.1 Tegangan Sentuh

### 2.1.3 Jenis-Jenis Tanah Dalam Sistem Pentanahan

Klasifikasi tanah yang akan digunakan bergantung kepada kelembutan atau tekstur tanahnya. Tekstur tanah yang dimaksud berupa tampilan tanahnya dimana tampilannya bergantung kepada ukuran dan bentuk partikel dari tanah tersebut. Beberapa klasifikasi tanah adalah tanah berkerikil, tanah (pasir), tanah endapan (lumpur) dan tanah liat. Tanah berkerikil merupakan tanah yang

terbentuk dari potongan-potongan batu dengan partikel yang dimiliki berupa kuarsa, *feldspar* dan mineral-mineral lainnya.

Berbeda dengan tanah berkerikil, tanah berpasir terbentuk dari partikel kuarsa dan *feldspar*. Tanah berkerikil dan tanah berpasir memiliki struktur lapisan yang menampung air cukup banyak dan kedua tanah ini memiliki molekul berupa nitrogen sehingga tanah berkerikil atau tanah berpasir tidak sesuai untuk pentanahan[13].

Tanah yang kering umumnya mempunyai tahanan yang tinggi, namun demikian tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat larut. Tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa tahanan suatu sistem pentanahan akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya. Untuk memperoleh kestabilan resistansi pentanahan, elektroda pentanahan dipasang pada kedalaman optimal mencapai tingkat kandungan air yang tetap, pentanahan netral sistem tenaga untuk membatasi tegangan-tegangan pada fasa-fasa yang tidak terganggu, sedangkan pentanahan peralatan bertujuan untuk mencegah terjadinya tegangan sentuh yang berbahaya dan untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari arus hubung singkat ke tanah.

Pentingnya tahanan jenis tanah ini untuk diketahui karena tahanan jenis tanah mempunyai beberapa manfaat yaitu:

1. Beberapa data yang diperoleh dari survey geofisika dibawah permukaan tanah dapat membantu untuk identifikasi lokasi pertambangan, kedalaman batuan-batuan dan phenomena-phenomena geologi lainnya.
2. Tahanan jenis tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap korosi pipa-pipa bawah tanah. Apabila tahanan jenis tanah semakin meningkat maka aktivitas korosi akan semakin meningkat pula.
3. Tahanan jenis lapisan tanah mempunyai pengaruh langsung dalam sistem pembumian. Ketika merencanakan sistem pembumian, sebaiknya dicari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar tercapai instalasi pembumian yang paling ekonomis.

Faktor keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$ . Harga tahanan jenis tanah dalam kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor yaitu:

1. Jenis tanah: liat, berpasir, berbatu dan lain-lain
2. Lapisan tanah: berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform
3. Kelembaban tanah
4. Temperatur
5. Kepadatan tanah

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) tahanan jenis tanah dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah-1 [2]

Jenis Tanah	Nilai Tahanan Jenis ( $\Omega\text{-m}$ )
-------------	---

Jenis Tanah	Nilai Tahanan Jenis ( $\Omega\text{-m}$ )
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

Sumber: PUIL 2000

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah-2 [2]

Jenis Tanah	Nilai Tahanan Jenis ( $\Omega\text{-m}$ )
Tanah Rawa	10 - 40
Tanah Pertanian	20 - 100
Pasir Basah	50 - 200
Kerikil Basah	200 - 3000
Kerikil Kering	< 1000
Tanah Berbatu	2000 - 3000

Sumber: SNI 04. 0225-2000

Tabel 2.3 Tahanan Jenis Tanah-3 [17]

Jenis Tanah	Nilai Tahanan Jenis ( $\Omega\text{-m}$ )
Tanah Organik	10
Tanah Basah	100
Tanah Kering	1000
Tanah Berbatu	10000

Sumber: IEEE std 81 – 1983

#### 2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Tahanan Sistem Pentanahan

Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah antara lain faktor internal dan faktor eksternal:

a. Faktor Internal

Adapun faktor-faktor internal yang mempengaruhi besarnya tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut:

1. Bentuk elektroda ada beberapa jenis elektroda yang digunakan dan setiap elektroda tersebut akan mempengaruhi tahanan sistem pentanahan itu sendiri.
2. Jenis bahan dan ukuran elektroda sesuai sebagai fungsinya, setiap elektroda berfungsi sebagai penyambung antara arus listrik dari luar menuju ke tanah, dan sifat kegunaannya yang menyebabkan elektroda diletakkan di dalam tanah, sehingga bahan dari elektroda tersebut akan sangat berpengaruh terhadap seiring waktu berjalan. Dimana prinsip pembumian yang baik adalah sebesar mungkin permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah.

Nilai resistansi untuk sebuah tahanan untuk suatu batang elektroda didapat dari persamaan 2.2[15].

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad 2.2$$

Keterangan :

R = Resistansi tahanan (ohm)

$\rho$  = Resistivitas konduktor (ohm meter)

L = Panjang elektroda (m)

a = Jari-jari elektroda (m)

Dari persamaan 2.2, dapat diketahui semakin panjang konduktor dan semakin besar diameter konduktor yang ditanam didalam tanah, maka semakin kecil tahanan pembumiannya.

3. Banyaknya jumlah penggunaan elektroda dalam menurunkan tahanan pentanahan sangat berpengaruh terhadap tahanan pentanahan itu sendiri, jika tidak memenuhi standar yang telah ditentukan dengan memakai beberapa elektroda maka dapat menggunakan beberapa elektroda secara rangkaian paralel.
  4. Kedalaman pemancangan/kedalaman penanaman elektroda dalam pemasangan elektroda/penanaman elektroda sangat tergantung terhadap jenis dan sifat tanah yang ingin diuji, dengan kedalaman sangat berpengaruh untuk tahanan jenis tanah. Namun ada juga yang ditanam dangkal sudah mendapatkan nilai tahanan yang sesuai seperti tanah liat, tanah rawa, dan lain-lain[16].
- b. Faktor eksternal adapun faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi besarnya tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut:
1. Sifat geologi tanah, sifat geologi tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan besar tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah berbatu umumnya memiliki tahanan jenis tanah yang tinggi.
  2. Kandungan garam tanah, kandungan zat-zat kimia yang terdapat didalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan. Daerah yang mempunyai tingkat curah hujan

tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan oleh garam yang terkandung pada lapisan atas tanah larut. Pada daerah ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih dapat ditemukan.

3. Temperatur tanah, iklim yang terdapat disuatu daerah berbeda-beda, dimana curah hujan yang terjadi dapat mempengaruhi temperatur lingkungan termasuk temperatur tanah itu sendiri. Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah sangat berpengaruh, dimana jika temperatur pada titik beku ( $0^{\circ}$ ) akan dapat membuat molekul-molekul air yang ada dalam tanah akan sulit untuk bergerak, sehingga akan sulit juga untuk menghantarkan daya listrik. Sedangkan jika temperatur naik, akan menyebabkan molekul-molekul air akan mencair dan molekul-molekul air dalam tanah dapat menghantarkan daya listrik dan tahanan jenis tanahnya akan semakin turun.
4. Kandungan air dalam tanah (kelembapan) kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali. Semakin lembab kadar air pada lapisan tanah tersebut semakin tinggi dan tahanan jenisnya akan semakin rendah[17].

## **2.2 Jenis - Jenis Bahan Aditif**

Bahan aditif adalah bahan yang dapat menurunkan tahanan jenis tanah. Menurunkan tahanan jenis tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan cara memodifikasi elektroda pentanahan yang akan ditanam di dalam tanah dan menambahkan zat aditif ke dalam tanah pentanahan. Zat aditif yang

dapat digunakan untuk menurunkan nilai tahanan jenis tanah diantaranya yaitu *sodium klorida* (NaCl), *magnesium* (Mg), *copper sulfate* ( $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), dan *calcium chloride* ( $\text{CaCl}_2$ ). Penelitian ini menggunakan gypsum (*calcium sulfate dihydrate*) sebagai zat aditif. Gypsum digunakan sebagai zat aditif untuk menurunkan tahanan jenis tanah karena mampu menyerap air dan memperbaiki struktur tanah. Asbes mengandung unsur Si dan Al yang merupakan prekursor Zeolit. Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari Kristal Aluminosilikat terhidrasi yang mengandung Kation Alkali atau Alkali Tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Zeolit mempunyai kerangka terbuka sehingga memungkinkan untuk melakukan adsorpsi, seperti terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Asbes (Zeolit)

Gypsum terbuat dari casting atau bubuk gypsum. Bentuk dari casting ini lembut seperti semen namun berwarna lebih putih. Bahan lainnya adalah roving yang berfungsi sebagai penguat[18]. Bentuknya adalah seperti rambut atau serat

panjang bubuk gypsum. Gypsum digunakan sebagai bahan urukan, baik dalam fase sendiri maupun dicampur dengan bentonite atau dengan tanah alami berasal dari daerah tersebut. Gypsum mempunyai kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah dihilangkan, tahanan jenisnya rendah berkisar 5-10 Ohm-m pada kondisi jenuh. Dengan pH berkisar 6,2 - 6,9, gypsum cenderung bersifat netral. Gypsum tidak mengkorosi tembaga, meskipun terkadang kandungan ringan SO<sub>3</sub> menjadi menjadi masalah pada struktur dasar dan pondasi. Gypsum tidak mahal dan biasanya dicampur dengan tanah urukan di sekitar elektroda. Gypsum membantu mempertahankan tahanan yang rendah dengan periode waktu yang relatif lama[19]. Gypsum yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa gypsum bubuk, dapat dilihat seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gypsum

NaCl (garam), Garam merupakan suatu zat elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat meningkatkan daya hantar ke dalam

tanah dengan baik. Selain itu garam memiliki sifat yang dapat mengikat tanah. Arang merupakan residu hitam yang dihasilkan dari sisa pembakaran kayu pada tumbuh-tumbuhan, dan berisi karbon sebagai elemen utamanya dengan massa sekitar 80%, sedangkan sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya. Arang memiliki tekstur yang berongga sehingga arang memiliki sifat *higroskopis*. Sifat Higroskopis adalah kemampuan yang memiliki daya serap tinggi. Kandungan paling banyak dalam arang kayu adalah karbon yaitu sebesar 25,04% dan paling sedikit adalah H sebesar 4,77%. Arang yang digunakan pada penelitian ini adalah arang kayu yang digiling atau dihaluskan berbentuk bubuk[20]. Bentuk fisik daripada arang kayu dan bubuk arang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Arang kayu dan bubuk arang

### 2.3 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. Suatu sistem pentanahan batang tunggal memerlukan elektroda batang pentanahan yang

ditanam dalam tanah sehingga akan membuat kontak langsung dengan tanah. Konduktor penghubung yang tidak berisolasi (seperti kawat tembaga) yang juga ditanam dalam tanah termasuk elektroda batang pentanahan.

Elektroda yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain:

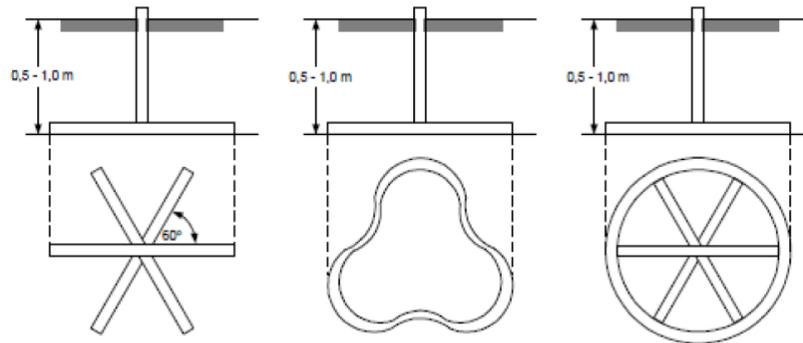
- a. Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya.
- b. Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindungi terhadap kerusakan fisik.
- c. Tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena *magnitude* arus gangguan dalam waktu yang lama.
- d. Tahan terhadap korosi.

Bahan yang digunakan untuk elektroda batang pentanahan adalah logam yang mempunyai konduktivitas cukup tinggi yaitu tembaga, selain itu untuk mendapatkan nilai yang lebih ekonomis dapat dipergunakan baja yang digalvanisasi atau baja berlapis tembaga. Elektroda batang terbuat dari batang logam bulat atau baja profil yang ditancapkan ke dalam tanah dan salah satu ujungnya lancip dengan kelancipan ( $45^\circ \pm 5^\circ$ ) serta harus dilengkapi dengan klem dan baut klem yang mampu menjepit penghantar seperti pada Gambar 2.7.

Ada beberapa bentuk elektroda pbumian adalah sebagai berikut:

1. Elektroda Pita

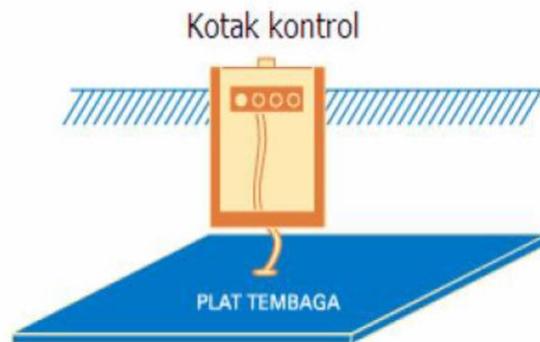
Elektroda pita dibuat dari penghantar berbentuk pita atau penampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Ukuran minimum elektroda pita adalah  $2 \text{ mm}^2$  dan tebalnya 2 mm atau penghantar pilin  $35 \text{ mm}^2$ . Berbagai bentuk elektroda pita dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Bentuk elektroda pita, Tipe cabang enam, Cincin dan Disk

## 2. Elektroda Pelat

Elektroda pelat umumnya berbentuk persegi ataupun persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah ataupun pelat baja yang ditanam dalam tanah[1]. Cara penanamannya biasanya secara vertikal sebab dengan penanaman secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertikal tetapi pemasangan dengan secara vertikal lebih praktis dan ekonomis. Elektroda pelat terbuat dari besi dengan ukuran minimum tebal 3 mm, luas  $0.5 \text{ m}^2 - 1 \text{ m}^2$  atau pelat tembaga dengan tebal 2 mm, luas  $0.5 \text{ m}^2 - 1 \text{ m}^2$  yang ditanam secara vertikal dengan sisi atas  $\pm 1 \text{ m}$  di bawah permukaan tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6

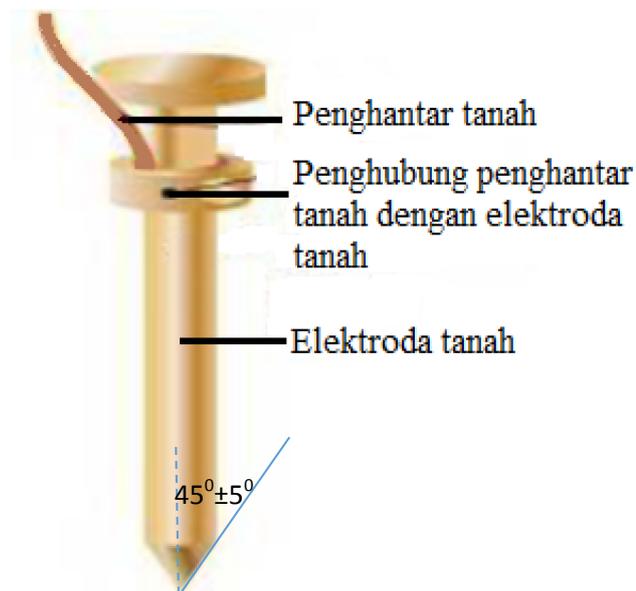


Gambar 2.6 Elektroda Pelat

### 3. Elektroda Batang

Jenis elektroda yang dipakai pada penelitian ini adalah elektroda batang. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk membantu menurunkan tahanan pentanahan dengan menentukan jarak antar elektroda 2 kali dari panjangnya. Jika elektroda tidak efektif pada panjangnya maka jarak minimal elektroda ialah 2 kali dari jarak efektif antar elektroda batang tersebut[21].

Penggunaan elektroda ini dimasukkan ke dalam tanah dengan panjang yang disesuaikan dengan tahanan pentanahan yang telah direncanakan. Penggunaan yang baik untuk menentukan tahanan jenis yang rendah biasanya dengan menggunakan rangkaian hubungan secara paralel. Penggunaan elektroda batang seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Elektroda Batang

Tabel 2.4 Luas penampang minimum elektroda batang pentanahan standar berdasarkan jenis bahan

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng Dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda batang	Pipa baja ber diameter 1 inch : Baja Profil: L 65 x 65 x 7 U 6½ T6 X 50 x 3 Atau batang profil lain yang setara	Baja bulat : Berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5 mm	Pipa tembaga : Luas penampang: 50 mm <sup>2</sup> Tebal : 2 mm Hantaran pilin (bukan kawat halus) Luas penampang: 35 mm <sup>2</sup>

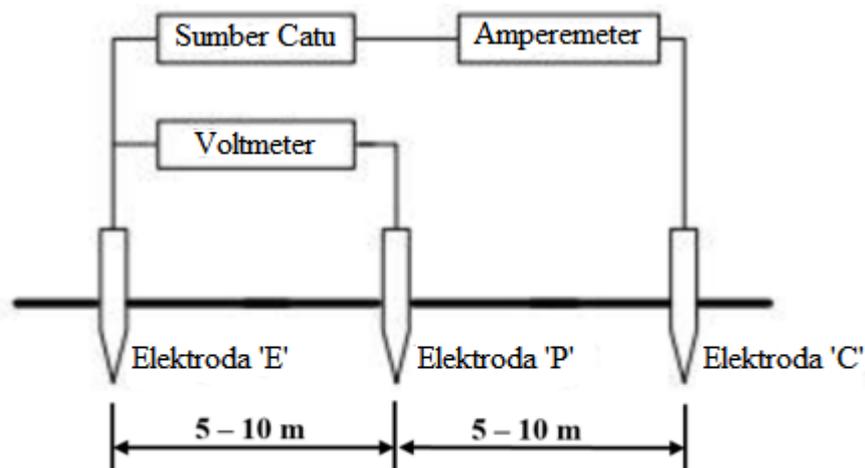
Sumber: Pedoman Pengawasan Instalasi Listrik (Disnaker-RI), 1987[22]

## 2.4 Metode Pengukuran

Dalam upaya untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan memperdalam panjang batang

elektroda dan dengan menambah diameter batang elektroda. Metode pengukuran ada beberapa metode atau cara yang dapat digunakan untuk mengukur tahanan pentanahan dari suatu elektroda pentanahan[2].

Metode dalam pengukuran tahanan pentanahan dapat dilakukan dengan beberapa metode yang ada antara lain, metode dua titik, metode "fall of potential", dan metode tiga titik yang mana akan dipakai pada saat ini. Metode tiga titik (*three point method*) yang dimaksud adalah untuk mengukur tahanan pentanahan, dimana dimisalkan ada terdapat 3 buah batang elektroda batang pembedaan, elektroda ini diberi nama elektroda 'E' (*earth*), elektroda 'P' (potensial), dan elektroda 'C' (*current*). Elektroda-elektroda ditanam pada area yang ingin diukur. Seperti terdapat pada gambar 2.8 pengukuran tahanan tanah menggunakan metode tiga titik[23].



Gambar 2.8 Rangkaian pengukuran dengan metode tiga titik

## 2.5 Persamaan Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi merupakan sebuah metode matematika statistik yang mengamati hubungan variabel  $X_1, \dots, X_p$ . Tujuan dari analisa ini untuk

mengamati perubahan nilai Y terhadap perubahan input nilai X[24]. Analisis regresi ini memiliki banyak fungsi salah satunya adalah yang dapat memprediksi variabel terikat Y. Berikut persamaan analisis regresi linier[25] .

$$Y = a + bX \quad (2.3)$$

Dimana:

Y = Variabel terikat yang diprediksi sebagai tahanan jenis.

X = Variabel bebas sebagai LMR dengan NaCl dan Arang.

a = Intercept dari nilai Y pada saat nilai X adalah 0.

b = Slope dari perubahan rata-rata Y terhadap perubahan satu unit X.

a dan b adalah koefisien regresi dengan menggunakan rumus berikut:

$$a = \frac{(\sum Y) (\sum X^2) - (\sum X) (\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.4)$$

$$b = \frac{n (\sum XY) - (\sum X) (\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.5)$$

dimana:

a = nilai kemiringan

b = nilai *intercept*

n = banyaknya data yang digunakan dalam perhitungan

## 2.6 Persentase Penurunan Tahanan Pentanahan

Pada pengukuran penelitian kali ini dijelaskan penurunan tahanan pentanahan tiap variasi campuran zat aditif Asbes dan Gypsum dengan campuran NaCl

(garam) – Karbon (Arang) dengan bentuk persentase penurunan pentanahan dengan menggunakan rumus sebagai berikut[26]:

$$\% \text{ Penurunan Tahanan Pentanahan} = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana:

$R_1$  = Tahanan pentanahan sebelum menggunakan zat aditif

$R_2$  = Tahanan pentanahan setelah menggunakan zat aditif

## 2.7 Kajian Penelitian Relevan

Mengacu pada PUIL 2000 nilai standar pembumian atau resistansi pentanahan untuk bangunan gedung  $\leq 5 \Omega$ , berbagai upaya dilakukan untuk mendapatkan nilai resistansi ini diantaranya dengan menambah kedalaman elektroda, merubah konfigurasi atau membuat perlakuan kimia terhadap tanah (*soil treatment*) di tanah ladang. *Soil treatment* yang dipilih adalah dengan menambahkan gypsum, gypsum dicampurkannya secara merata dengan tanah galian dari tanah lempung sebagai bahan urukan lubang elektroda. Lubang elektroda dibuat dengan berdiameter 30 cm dan kedalaman 100 cm. Dua jenis elektroda yang dipergunakan adalah elektroda tembaga dan baja *stainless* berdiameter 16 mm, dengan 4 variasi berat gypsum, sebagai pembanding ditanam elektroda tembaga dan baja *stainless* tanpa perlakuan. Dari hasil penelitian dan pengukuran selama 14 minggu didapatkan nilai resistansi pentanahan dengan *soil treatment* gypsum berkurang, dari 169,07  $\Omega$  pada elektroda tembaga menjadi 60,65  $\Omega$ , pada elektroda baja *stainless* dari 224,43  $\Omega$  menjadi 62,12  $\Omega$ .

Tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya tahanan jenis tanah. Tahanan jenis tanah itu sendiri dipengaruhi beberapa hal yaitu struktur tanah, temperatur, pengaruh kandungan air (kelembaban), dan pengaruh kandungan kimia dalam tanah. Penelitian ini untuk menganalisis penurunan nilai tahanan pentanahan dengan penambahan zat aditif berupa gypsum tanpa campuran tanah dan gypsum yang dicampur dengan tanah. Hasil penelitian menunjukkan nilai tahanan pentanahan dengan penambahan gypsum tanpa campuran tanah memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan tahanan pentanahan tanpa penambahan zat aditif. Tahanan pentanahan dengan penambahan gypsum bercampur tanah secara rata-rata dapat menurunkan nilai tahanan pentanahan sebesar 153,56 ohm dengan 25% gypsum, 157,2 ohm dengan 75% gypsum dan 169,91 ohm dengan 50% gypsum[27]

Salah satu syarat sistem pentanahan yang baik adalah jika mempunyai nilai resistansi pentanahan yang kecil. Ada beberapa aspek yang dapat mempengaruhi nilai resistansi pentanahan seperti jenis tanah, kelembapan tanah, temperatur dan kedalaman tanah. Untuk mengurangi resistansi pentanahan dengan menggunakan bahan aditif berupa campuran bentonit dan garam (NaCl). Pada penelitian ini variabel yang akan diteliti adalah perubahan nilai resistansi pentanahan pada masing-masing variasi. Pada variasi pertama diukur pengaruh kedalaman penanaman elektroda pentanahan pada kondisi sebelum dan sesudah ditambahkan bentonit terhadap nilai resistansi pentanahan. Untuk variasi kedua diukur pengaruh konsentrasi bentonit terhadap nilai resistansi pentanahan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penambahan kedalaman penanaman elektroda

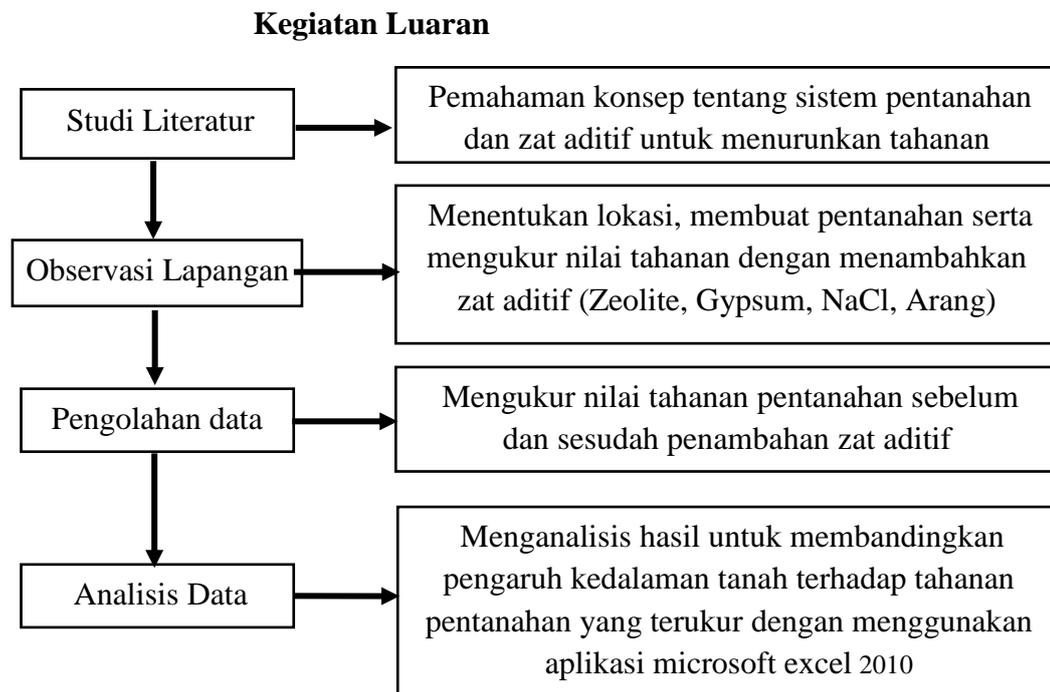
dan penambahan konsentrasi bentonit dan garam dapat menurunkan nilai resistansi pentanahan. Pada kondisi tanah sesudah penambahan bentonit dan garam persentase penurunan nilai resistansi pentanahan yang didapatkan sebesar 64,9% jika dibandingkan dengan nilai resistansi pentanahan sebelum penambahan zat aditif tersebut. Resistivitas tanah yang didapatkan juga menunjukkan penurunan dari kondisi sebelum penambahan bentonit dan garam yaitu sebesar 17,109  $\Omega$ -m, turun menjadi 5,89  $\Omega$ m setelah ditambahkan bentonite[28]

Metode yang dapat digunakan untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan dapat dilakukan dengan penambahan zat aditif pada tanah. Zat aditif tersebut dapat berupa garam, bentonit, bubuk besi dan lain-lain. Namun zat aditif tersebut memiliki keterbatasan umur. Zat aditif tidak dapat berfungsi dengan baik pada waktu yang cukup lama. Dalam penelitian ini akan diteliti mengenai pengaruh umur pada beberapa volume zat aditif Bentonit terhadap nilai tahanan pentanahan. Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan kualitas nilai tahanan pentanahan dari masing-masing volume zat aditif Bentonit dalam waktu 6 bulan, serta hasil penelitian ini diharapkan diperoleh suatu data yang digunakan sebagai acuan dalam pemasangan sistem pentanahan. Penelitian ini hanya dibatasi pada jenis tanah lempung. Metode analisis yang digunakan adalah dengan statistic uji "t". Berdasarkan hasil penelitian tersebut di atas didapatkan bahwa peningkatan nilai tahanan pentanahan selama 24 minggu dari masing-masing volume zat aditif yang diteliti memiliki peningkatan nilai yang berbeda-beda. Pentanahan dengan penambahan zat aditif berupa bentonit seberat 5 kg terjadi peningkatan 38,46%, pentanahan dengan penambahan zat aditif berupa

bentonit seberat 10 kg terjadi peningkatan 31,82%, pentanahan dengan penambahan zat aditif berupa bentonit seberat 15 kg terjadi peningkatan 11,11%. Peningkatan nilai tahanan pentanahan tersebut berarti terjadinya penurunan kualitas pentanahan[29].

## 2.8 Kerangka Berpikir

Untuk menyempurnakan penelitian ini, maka peneliti perlu melakukan susunan kerangka berpikir yang jelas guna membantu penelitian ini tahap demi tahap. Kerangka ini guna mengatasi permasalahan dalam melakukan penelitian tersebut. Tahapan kerangka berpikir yang digunakan dalam tahapan penelitian dapat dilihat seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kerangka berpikir

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian adalah kuantitatif dengan melakukan studi kasus terhadap lokasi penelitian yaitu di Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik (BBPPMPV BBL) Medan.

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Bangunan dan Listrik (BBPPMPVBBL) Medan, beralamat di Jln Setia Budi No. 75 Simpang Lima Kapten Sumarsono, Kelurahan Helvetia Timur, Kecamatan Helvetia-Medan dengan waktu pengambilan data dilakukan selama satu bulan yaitu bulan Juli 2021 s.d Agustus 2021 dimana setiap hari dilakukan percobaan untuk mendapat data yang lebih akurat.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan untuk mempermudah berjalannya proses penelitian sebagai berikut:

1. Alat ukur pentanahan (*Earth Tester*)
2. Batang elektroda 2 m diameter 0,015 m
3. Meteran
4. Bor tanah 10 cm
5. Zat aditif zeolit (Asbes)
6. Zat aditif gypsum
7. NaCl (garam)

8. Arang
9. Sekop
10. Palu 0,5 Kg
11. Tenda/plastik

### **3.3 Data Penelitian**

1. Data primer yaitu merupakan sumber data dalam pemberian informasi dilakukan secara langsung yaitu dari pengukuran langsung dilapangan mengenai modifikasi kedalaman penanaman elektroda pentanahan dan penambahan zat aditif untuk mereduksi tahanan pentanahan sesuai standar PUIL
2. Data sekunder yaitu data yang digunakan sebagai pendukung data primer yang didapat dari buku-buku, jurnal, laporan dan arsip perusahaan, dan lain-lain.

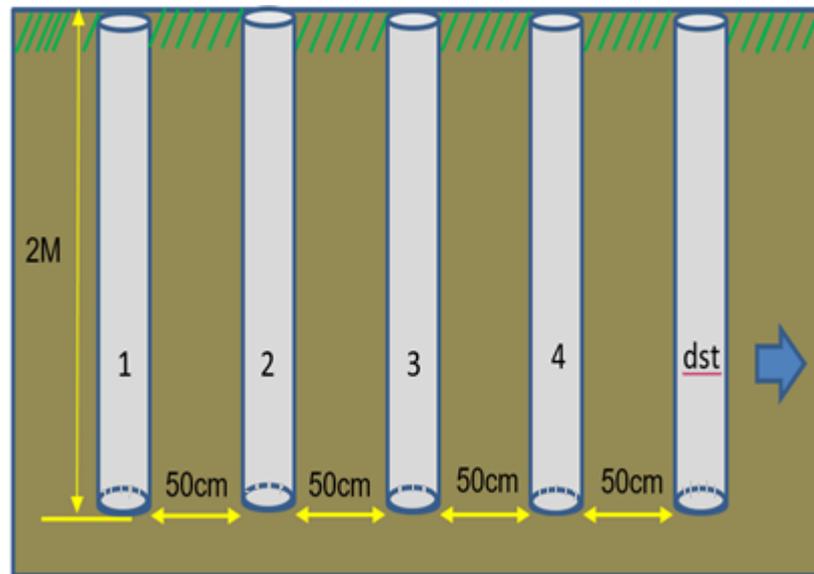
### **3.4 Rancangan Penelitian**

Adapun perencanaan penelitian ini adalah:

1. Membuat rancangan pentanahan elektroda

Metode yang digunakan untuk menentukan nilai resistansi maka dengan membuat lubang berdiameter 10 cm dengan kedalaman 2 m. Selanjutnya dimasukkan variasi zat aditif gypsum, gypsum dengan campuran NaCl (garam) + Karbon (arang) dan asbes, asbes dengan campuran NaCl (garam) + Karbon (arang) ke dalam lubang dengan komposisi yang telah ditentukan sesuai Tabel 3.1. Setiap lubang pentanahan yang dibuat pada

penelitian ini diilustrasikan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Lubang Pentanahan

Elektroda pentanahan yang digunakan dimasukkan ke dalam lubang pentanahan dengan cara bertahap mulai dari 0,30 m, 0,50 m, 0,75 m, 1 m, 0,25 m 1,5 m, 1,75 m dan 2 m dan dilakukan pengukuran setiap tahapnya. Jarak antar lubang dengan lubang yang lainnya yaitu 0,5 m. Elektroda yang digunakan jenis elektroda batang bahan tembaga dengan diameter 0,015 m dengan panjang 2 m. Ujung elektroda akan ditanam ke dalam tanah sebagai titik sentuh pusat elektroda ke tanah. Untuk penanaman elektroda pada lubang yang sudah ditentukan dan diberi tanda pada lubang-lubang yang sudah di gali.

## 2. Pengukuran tahanan pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan dilakukan sebelum dan sesudah penambahan pada zat aditif asbes dan gypsum dengan campuran NaCl - Arang. Adapun komposisinya dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Tabel Pengukuran

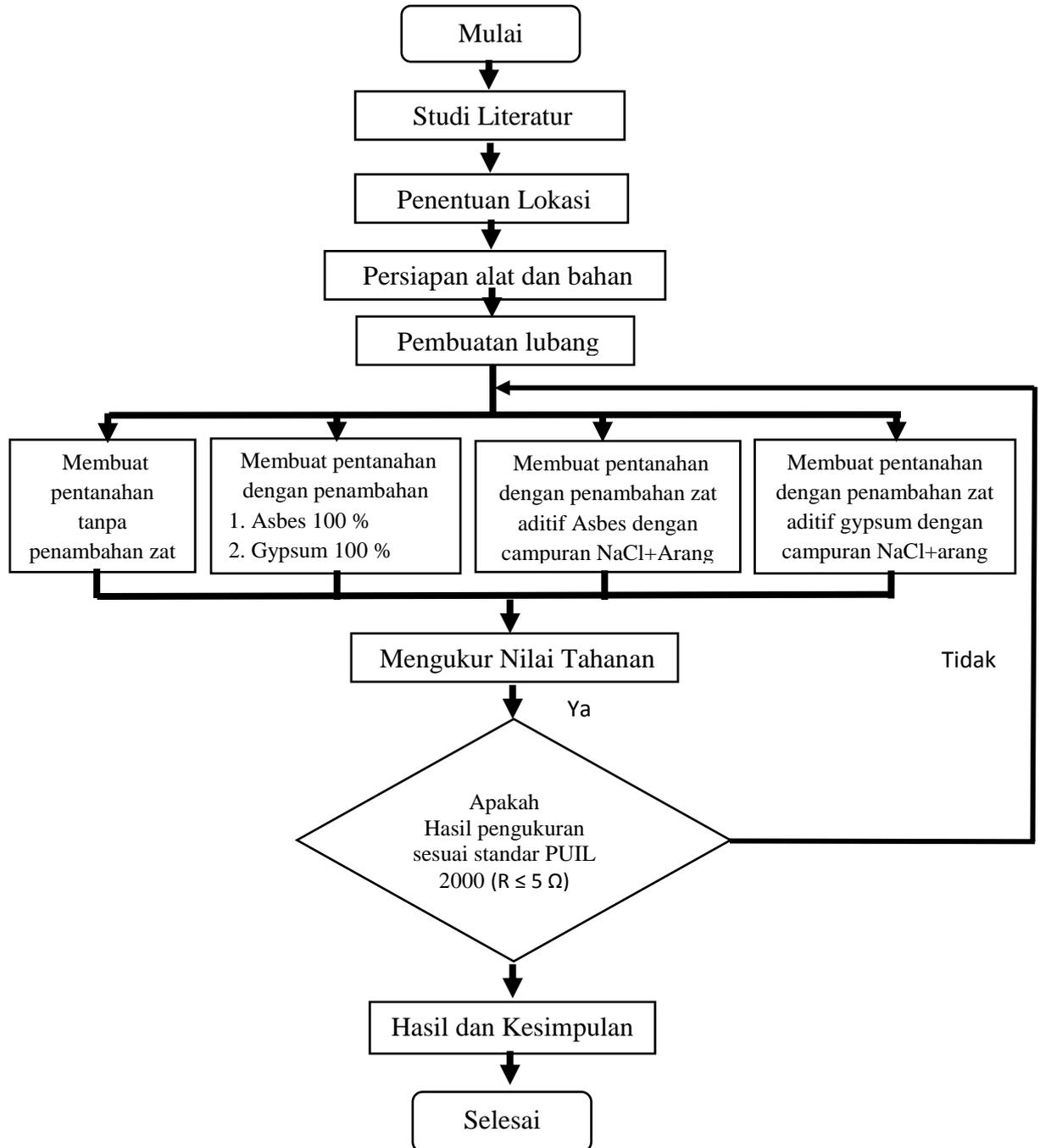
No	Bahan aditif	Tahanan Terukur ( $\Omega m$ )							
		Kedalaman Penanaman elektroda (meter)							
		0,30	0,50	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2
1	Tanah 100%								
2	Asbes 100%								
3	Asbes 70% + arang 20% + garam 10%								
4	Asbes 60% + arang 30% + garam 10%								
5	Asbes 50% + arang 40% + garam 10%								
6	Asbes 40% + arang 50% + garam 10%								
7	Gypsum 100 %								
8	Gypsum 70% + arang 20% + garam 10%								
9	Gypsum 60 % + arang 30% + garam 10%								
10	Gypsum 50% + arang 40% + garam 10%								
11	Gypsum 40% + arang 50% + garam 10%								

### 3. Teknik Analisa Data

Teknik Analisis data dilakukan dengan analisis regresi linier sederhana menggunakan aplikasi Microsoft Excell 2010 untuk membandingkan pengaruh kedalaman pentanahan dengan tahanan pentanahan yang terukur dari setiap komposisi zat aditif.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Perbandingan Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan

Material bubuk asbes dan gypsum dengan bahan aditif bubuk NaCl (garam) dan Karbon (arang) digunakan dalam pengujian reduksi tahanan pentanahan di BBPPMPV BBL Medan. Pencampuran material aditif bubuk asbes dan gypsum dengan bahan campuran bubuk garam dan arang, dibuat pada ukuran atau komposisi yang bervariasi. Adapun media pentanahan yang digunakan berupa elektroda batang tembaga murni dengan diameter 0,015 m yang ditanam pada kedalaman yang bervariasi antara 0,30 m sampai dengan 2 m. Hasil reduksi resistansi pentanahan dilakukan pada saat sebelum dan sesudah pencampuran material bubuk asbes dan gypsum dengan bahan aditif bubuk garam dan arang.

##### 4.1.1 Analisis Perbandingan Penurunan nilai Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran dengan Bahan Aditif

Hasil reduksi material terhadap tahanan pentanahan sebelum pencampuran dengan bahan aditif ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran

Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)	Tahanan Terukur ( $\Omega$ )		
	Tanah 100%	Asbes 100%	Gypsum 100%
0,30	75	40	35
0,50	65	35	30
0,75	55	29	26
1	45	22	22
1,2 5	35	17,5	17,5
1,50	29	15,5	16

Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)	Tahanan Terukur ( $\Omega$ )		
	Tanah 100%	Asbes 100%	Gypsum 100%
1,75	22	11,5	11,9
2	18,5	10	9
Rata-rata	42,31	22,56	20,80

Tabel 4.1 menunjukkan hasil reduksi tahanan pentanahan dengan material Tanah 100%, Asbes 100% dan Gypsum 100% sebelum pencampuran dengan bahan aditif bubuk arang dan garam, dimana hasil pengukuran yang dihasilkan pada tanah 100% dengan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m, dengan nilai tahanan sebesar 75  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m, dengan nilai tahanan sebesar 18,5  $\Omega$ . Pada asbes 100% tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan nilai tahanan sebesar 40  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan nilai tahanan sebesar 10  $\Omega$ . Pada gypsum tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan nilai tahanan sebesar 35  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan nilai tahanan yaitu sebesar 9  $\Omega$ .

Dari ketiga material pentanahan hasil reduksi tahanan pentanahan dapat dihitung perbandingan penurunan tahanannya dari nilai tahanan rata-rata masing-masing material tanah 100% dengan asbes 100% dan gypsum 100%. Setelah dilakukan perhitungan terdapat bahwa penggunaan asbes dapat menurunkan tahanan pentanahan rata-rata 47,68%, sedangkan penggunaan gypsum dapat menurunkan tahanan pentanahan sebesar rata-rata 50,82%, jadi ada selisih sebesar 3,14% untuk penurunan tahanan pentanahan antara penggunaan bahan asbes dengan gypsum, hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan bahan gypsum dalam

mereduksi tahanan pentanahan lebih besar 3,14% dibanding penggunaan bahan asbes.

#### 4.1.2 Analisis Perbandingan Hasil Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan Setelah Pencampuran Dengan Bahan Aditif

Dalam hal ini untuk pengambilan data pengukuran tahanan pentanahan bahan asbes dan gypsum masing-masing dengan dicampur dengan bahan garam dan arang dalam empat variasi komposisi yang berbeda. Dan dari pengukuran tahanan pentanahan di dapat nilai tahanan pentanahan terukur pada masing masing komposisi zat aditif seperti Tabel 4.2

Tabel 4.2. Hasil pengukuran tahanan pentanahan setelah pencampuran dengan Arang dan Garam

Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)	Tahanan Pentanahan Terukur ( $\Omega$ )							
	Asbes 70 %+ Arang 20% + Garam 10%	Asbes 60 %+ Arang 30% + Garam 10%	Asbes 50 %+ Arang 40% + Garam 10%	Asbes 40 %+ Arang 50% + Garam 10%	Gypsum 70 % + Arang 20% + Garam 10%	Gypsum 60 % + Arang 30% + Garam 10%	Gypsum 50 % + Arang 40% + Garam 10%	Gypsum 40 % + Arang 50% + Garam 10%
0.30	30	26	25	22	22	22	17,5	19
0.50	25	22	22	18	17,5	17	15,5	15,5
0.75	22	18	18	15,5	15,5	12,5	13,5	13
1	18	13,5	15,5	12,6	11,5	11,5	9	8,5
1.25	15	12	11,5	10	8	6,5	6	5,5
1.50	9,7	9	10	8	5,5	5	4	5
1.75	8	5,5	5,5	6,3	3,6	2,5	2,7	2,5
2	5	3	2,8	2,7	26	25	22	22

1. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Asbes 70% Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material Asbes sebanyak 70% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 20% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan dengan bahan aditif menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 30  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 5  $\Omega$ . Pada kedalaman 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 5  $\Omega$ . Pada material asbes 70% dengan bahan aditif arang 20% + garam 10%, maka rata-rata tahanan terukur 16,59 ohm.

2. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Asbes 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material asbes sebanyak 60% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 30% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan asbes sebanyak 60% dengan bahan aditif arang sebanyak 30% dan garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 26  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 3  $\Omega$ . Pada kedalaman 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 3

$\Omega$  material asbes 60% dengan bahan aditif arang 30% + garam 10%, maka tahanan rata-rata terukur 13,63 ohm.

3. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Asbes 50% Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material asbes sebanyak 50% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 40% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan asbes sebanyak 50% dengan bahan aditif arang sebanyak 40% dan garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 25  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 2,8  $\Omega$ . Maka pada material Asbes 50% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10%, tahanan rata-rata terukur 13,79  $\Omega$ .

4. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Asbes 40% Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material asbes sebanyak 40% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 50% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan asbes sebanyak 40% dengan bahan aditif arang sebanyak 50% dan bahan aditif garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 22  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m

dengan besar nilai tahanan sebesar 2,7  $\Omega$ . Maka material asbes 40% dengan bahan aditif arang 50% + garam 10%, tahanan rata-rata terukur 11,89  $\Omega$ .

5. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Gypsum 70% Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material gypsum sebanyak 70% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 20% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan gypsum sebanyak 70% dengan bahan aditif arang sebanyak 20% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan gypsum sebanyak 70% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 26  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 3,6  $\Omega$ . Pada kedalaman 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 5  $\Omega$ . Maka material gypsum 70% dengan bahan aditif arang 20% + garam 10%, tahanan rata-rata terukur 13,70  $\Omega$ .

6. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Gypsum 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material gypsum sebanyak 60% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 30% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan gypsum sebanyak 60% dengan bahan aditif arang sebanyak 30% dan garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur

tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30m dengan besar nilai tahanan sebesar 25  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 2,5  $\Omega$ . Pada kedalaman 1,75 m dan 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 5  $\Omega$ . Maka material gypsum 60% dengan bahan aditif arang 30% + garam 10%, tahanan rata-rata terukur 12,75  $\Omega$ .

#### 7. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Gypsum 50% Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material Gypsum sebanyak 50% dicampurkan dengan masing – masing bahan aditif arang sebanyak 40% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan gypsum sebanyak 50% dengan bahan aditif arang sebanyak 40% dan garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30 m dengan besar nilai tahanan sebesar 22  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 2,7  $\Omega$ . Pada kedalaman 1,75 m dan 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 5  $\Omega$ . Maka material gypsum 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10%, tahanan rata-rata terukur 11,15  $\Omega$ .

#### 8. Analisis Nilai Tahanan Pentanahan Pencampuran Material Gypsum 40% Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengukuran dengan menggunakan material gypsum sebanyak 40% dicampurkan dengan masing – masing bahan

aditif arang sebanyak 50% dan bahan aditif garam sebanyak 10%. Hasil dari pencampuran material pentanahan gypsum sebanyak 40% dengan bahan aditif arang sebanyak 50% dan bahan aditif garam sebanyak 10% menghasilkan tahanan terukur tertinggi yaitu pada kedalaman 0,30m dengan besar nilai tahanan sebesar 22  $\Omega$  dan tahanan terukur terendah yaitu pada kedalaman 2 m dengan besar nilai tahanan sebesar 2,5  $\Omega$ . Pada kedalaman 1,75 m dan 2 m memenuhi standar pentanahan dimana nilai reduksi tahanan pentanahan terukur kecil dan atau sama dengan 5  $\Omega$ . Maka material Gypsum 40% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10%, tahanan rata-rata terukur 11,38  $\Omega$ .

Dari nilai rata-rata tahanan asbes dan gypsum setelah dicampur arang dan garam pada setiap komposisi pentanahan didapat presentasi penurunan tahanan pentanahan yang dibandingkan dengan rata-rata nilai tahanan pentanahan gypsum dan asbes sebelum pencampuran seperti tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persentase Penurunan Tahanan Pentanahan Material Asbes dan Gypsum

Kedalaman Penanaman Elektroda	Persentase Penurunan Tahanan Pentanahan							
	Asbes 70%+ arang 20% + garam 10%	Asbes 60%+ arang 30% + garam 10%	Asbes 50%+ arang 40% + garam 10%	Asbes 40%+ arang 50% + garam 10%	Gypsum 70%+ arang 20% + garam 10%	Gypsum 60%+ arang 30% + garam 10%	Gypsum 50%+ arang 40% + garam 10%	Gypsum 40%+ arang 50% + garam 10%
0,30	25,00%	35,00%	37,50%	45,00%	25,71%	28,57%	37,14%	37,14%
0,50	28,57%	37,14%	37,14%	48,57%	26,67%	26,67%	41,67%	36,67%
0,75	24,14%	37,93%	37,93%	46,55%	32,69%	34,62%	40,38%	40,38%
1,00	18,18%	38,64%	29,55%	42,73%	29,55%	43,18%	43,18%	40,91%
1,25	14,29%	31,43%	34,29%	42,86%	34,29%	34,29%	48,57%	51,43%
1,50	37,42%	41,94%	35,48%	48,39%	46,67%	56,67%	60,00%	63,33%
1,75	30,43%	52,17%	52,17%	45,22%	53,78%	57,98%	66,39%	57,98%
2,00	50,00%	70,00%	72,00%	73,00%	60,00%	72,22%	70,00%	72,22%
Rata-rata	28,50%	43,03%	45,17%	49,04%	38,67%	44,27%	50,92%	50,01%

Dari tabel 4.1 dapat terdapat penurunan nilai tahanan pentanahan di setiap penambahan campuran NaCl-arang pada bahan aditif asbes maupun gypsum. Presentasi penurunan tahanan sebesar 41,44% pada asbes dan 45,97% pada gypsum. Terdapat selisih 4,53 %, hal ini berarti gypsum lebih baik dibandingkan asbes. Bila dibandingkan dengan rata-rata nilai tahanan pentanahan dari tanah 100%, presentasi penurunan tahanan sebesar 69,40% pada asbes dan 73,64% pada gypsum. Terdapat selisih 4,23%, dari kedua perbandingan tersebut berarti gypsum lebih baik dibandingkan asbes.

#### **4.2 Pengkomposisian Zat Aditif Dalam Menurunkan Tahanan Pentanahan Sesuai Standar PUIL**

Dalam pengkomposisian zat aditif untuk menurunkan tahanan pentanahan bahan asbes dan gypsum masing-masing dicampur dengan bahan garam dan Arang dalam empat variasi komposisi yang berbeda. Dalam pengukuran tahanan pentanahan di dapat nilai tahanan pentanahan terukur pada masing masing komposisi zat aditif seperti Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan

No	Bahan aditif	Tahanan Terukur ( $\Omega$ m)							
		Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)							
		0,30	0,50	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2
1	Tanah 100%	75	65	55	45	35	29	22	18,5
2	Asbes 100%	40	35	29	22	17,5	15,5	11,5	10
3	Asbes 70% + Arang 20% + Garam 10%	30	25	22	18	15	9,7	8	5
4	Asbes 60% + Arang 30% + Garam 10%	26	22	18	13,5	12	9	5,5	3

No	Bahan aditif	Tahanan Terukur ( $\Omega$ m)							
		Kedalaman Penanaman Elektroda (Meter)							
		0,30	0,50	0,75	1	1,25	1,50	1,75	2
5	Asbes 50% + Arang 40% + Garam 10%	25	22	18	15,5	11,5	10	5,5	<b>2,8</b>
6	Asbes 40% + Arang 50% + Garam 10%	22	18	15,5	12,6	10	8	6,3	<b>2,7</b>
7	Gypsum 100 %	35	30	26	22	17,5	15	11,9	9
8	Gypsum 70% + Arang 20% + Garam 10%	26	22	17,5	15,5	11,5	8	5,5	<b>3,6</b>
9	Gypsum 60 % + Arang 30% + Garam 10%	25	22	17	12,5	11,5	6,5	5	<b>2,5</b>
10	Gypsum 50% + Arang 40% + Garam 10%	22	17,5	15,5	12,5	9	6	4	<b>2,7</b>
11	Gypsum 40% + Arang 50% + Garam 10%	22	19	15,5	13	8,5	5,5	5	<b>2,5</b>

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran pada penggunaan material dengan komposisi campuran; gypsum 60 % + arang 30% + garam 10%, gypsum 50% + arang 40% + garam 10% dan gypsum 40% + arang 50% + garam 10% pada kedalaman penanaman elektroda 0,175 m sudah mendapatkan hasil reduksi tahanan pentanahan sesuai dengan standar PUIL yaitu  $\leq 5$  ohm. Yang masing-masing bernilai 5 ohm, 4 ohm, 5 ohm, sedangkan pada penggunaan material dengan komposisi campuran ; asbes 70% + arang 20% + garam 10%, asbes 60% + arang 30% + garam 10%, asbes 50% + arang 40% + garam 10%, asbes 40% + arang 50% + garam 10% mendapatkan hasil reduksi tahanan pentanahan sesuai dengan standar PUIL yaitu  $\leq 5$  ohm pada kedalaman penanaman elektroda 2 m, masing-masing bernilai 3,6 ohm, 2,5 ohm, 2,7 ohm, 2,5 ohm.

### **4.3 Analisis Hubungan Resistansi Dengan Kedalaman Penanaman Elektroda Menggunakan Persamaan Regresi Linier Sederhana**

Untuk menghitung nilai regresi penurunan tahanan pentanahan sebelum pencampuran bahan aditif dengan arang dan garam digunakan persamaan 2.3, 2.4 dan 2,5 dan data Tabel 4.1 dengan menggunakan program excel 2010.

#### **4.3.1 Analisis Hasil Tahanan Pentanahan Sebelum Pencampuran**

##### **1. Tanah 100%**

Dari nilai hasil pengukuran tahanan pentanahan tanah 100% pada Tabel 4.1 dapat dihitung nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus persamaan 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan tanah 100%, setelah dihitung di dapat hasil:

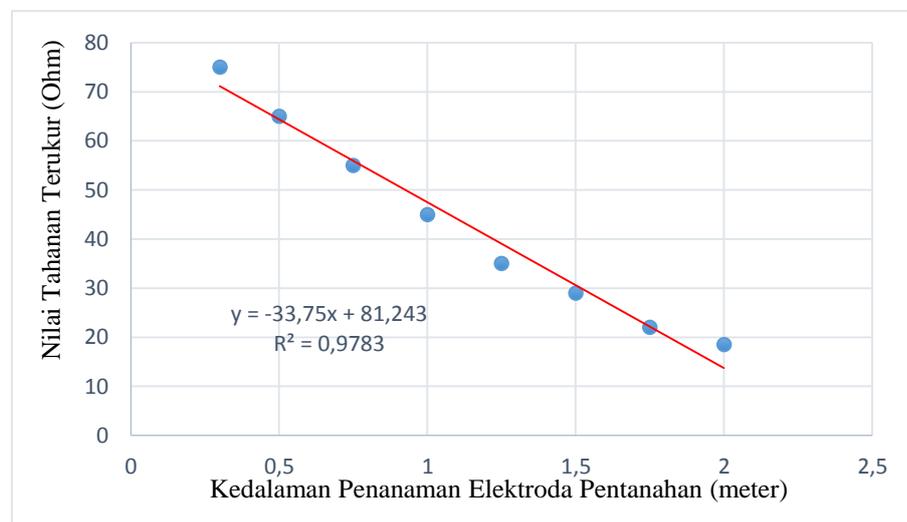
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 344,50, \sum XY = 305,50, \sum X^2 = 12,78, n = 8$$

Maka diperoleh nilai  $a = 81,24$  dan  $b = -33,75$ , dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 81,24 - 33,75X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada tanah 100%, dengan cara memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda pentanahan sebagai X, ke dalam persamaan regresi  $Y = 81,24 - 33,75X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada tanah 100%.

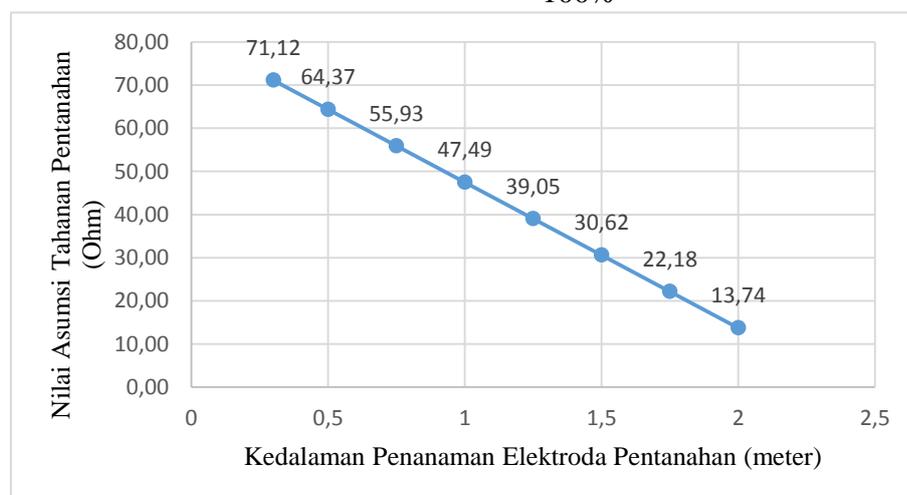
Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Asumsi Y Tahanan Pentanahan Tanah 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 81,24 - 33,75X$
1	0,30	75	71,12
2	0,50	65	64,37
3	0,75	55	55,93
4	1	45	47,49
5	1,25	35	39,05
6	1,50	29	30,62
7	1,75	22	22,18
8	2	18,5	13,74



Gambar 4.1 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Tanah 100%



Gambar 4.2 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Tanah 100%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material tanah 100%, dari grafik 4.1 dan 4.2 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 18,5  $\Omega$  dan hasil prediksi 14,25  $\Omega$ .

## 2. Asbes 100%

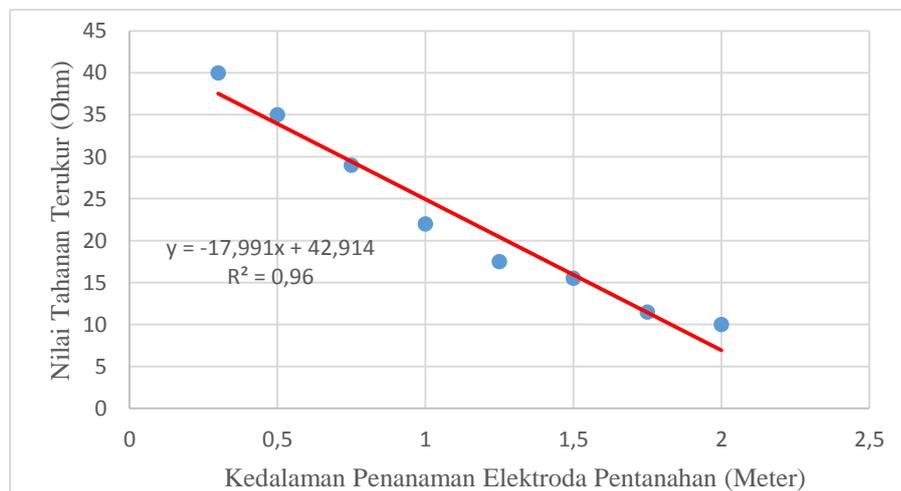
Dari hasil pengukuran tahanan pentanahan asbes 100% pada tabel 4.4 dapat dihitung nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan asbes 100%, setelah dihitung di dapat hasil:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 180,50, \sum XY = 158,50, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

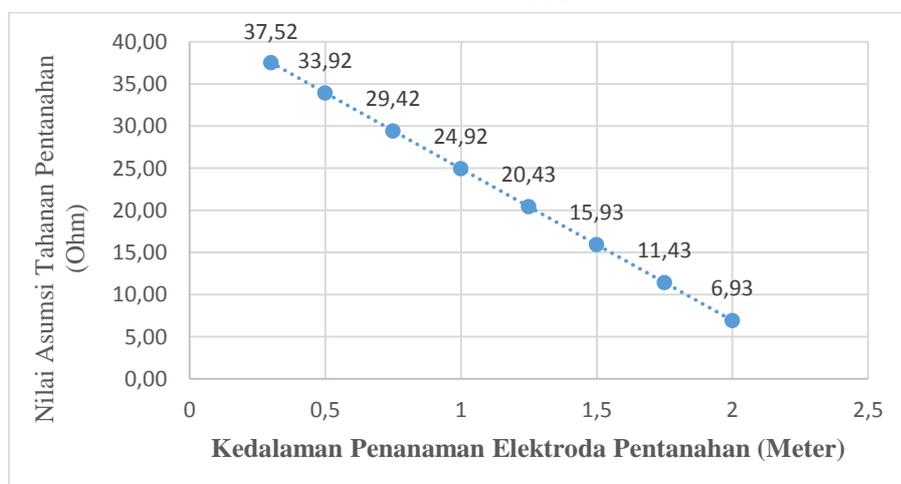
Sehingga diperoleh nilai  $a = 42,91$  dan  $b = -17,99$  dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 42,91 - 17,99X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 100% dengan cara memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda pentanahan sebagai X ke dalam persamaan regresinya  $Y = 42,91 - 17,99X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 100%. Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Asbes 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 42,91 - 17,99X$
1	0,30	40	37,52
2	0,50	35	33,92
3	0,75	29	29,42
4	1	22	24,92
5	1,25	17,5	20,43
6	1,50	15,5	15,93
7	1,75	11,5	11,43
8	2	10,0	6,93



Gambar 4.3 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 100%



Gambar 4.4 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 100%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 100%, dari grafik 4.3 dan 4.4 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan di tanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya, dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 10  $\Omega$  dan hasil prediksi 6,93  $\Omega$ .

### 3. Gypsum 100%

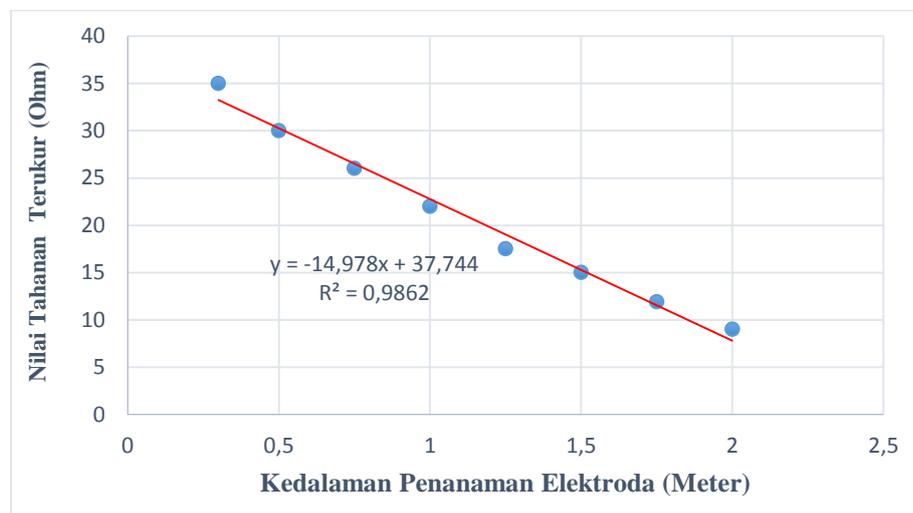
Dari hasil pengukuran tahanan pentanahan gypsum 100% pada tabel 4.5 dapat dihitung nilai - nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi yang dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan gypsum 100%, setelah dihitung didapatkan hasil:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 166,40, \sum XY = 150,20, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

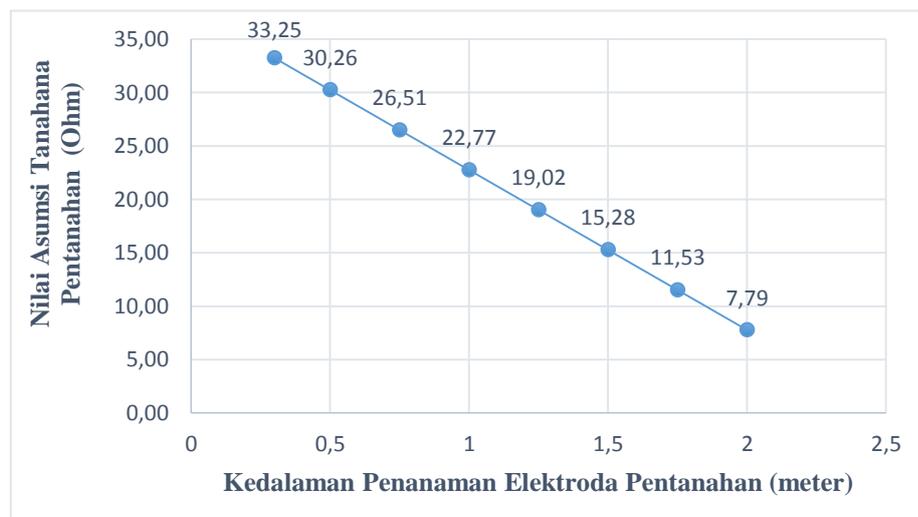
Sehingga diperoleh nilai  $a = 37,74$  dan  $b = -14,97$  dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 37,74 - 14,97X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 100% dengan cara memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 37,74 - 14,97X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 100%. Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Gypsum 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 37,74 - 14,97X$
1	0,30	35	33,25
2	0,50	30	30,26
3	0,75	26	26,51
4	1	22	22,77
5	1,25	17,5	19,02
6	1,50	15	15,28
7	1,75	11,9	11,53
8	2	9	7,79



Gambar 4.5 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 100%



Gambar 4.6 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 100%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 100%, dari grafik 4.5 dan 4.6 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan di tanamkan, semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 9,00  $\Omega$  dan hasil prediksi 7,79  $\Omega$ .

#### **4.3.2 Analisis Perhitungan Regresi Linier Tahanan Pentanahan Asbes Sesudah Pencampuran Dengan Arang Dan Garam**

Untuk menghitung nilai regresi linier penurunan tahanan pentanahan sebelum pencampuran bahan aditif dengan Karbon (arang) dan NaCl (garam) digunakan persamaan 2.3, 2.4 dan 2.5 dan data Tabel 4.2 serta menggunakan program excel 2010.

##### **1. Pencampuran Asbes 70% Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%**

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.6 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai hasil pengukuran tahanan pentanahan asbes 70% dengan bahan aditif arang 20% + garam 10%, setelah dihitung didapat hasil:

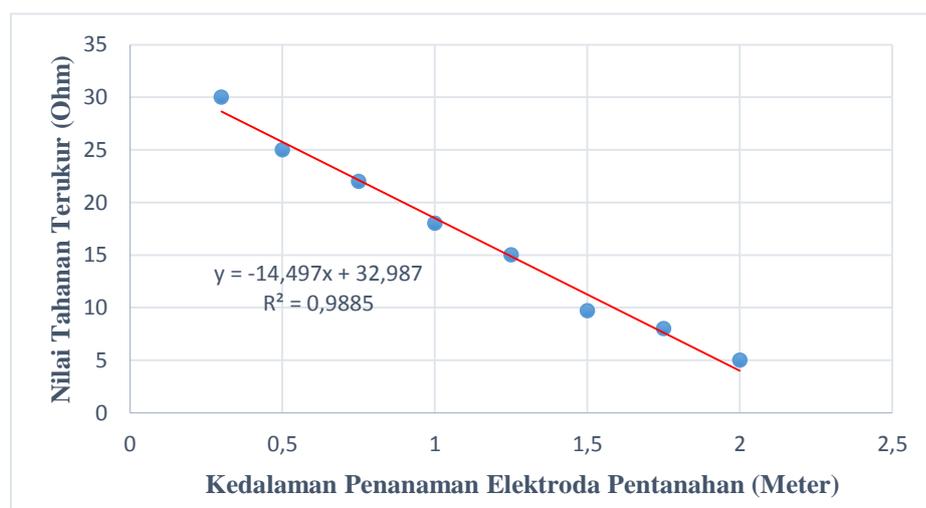
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 132,70, \sum XY = 113,30, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 32,99$  dan  $b = -14,50$ , dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 32,99 - 14,50X$ . Untuk memperoleh nilai

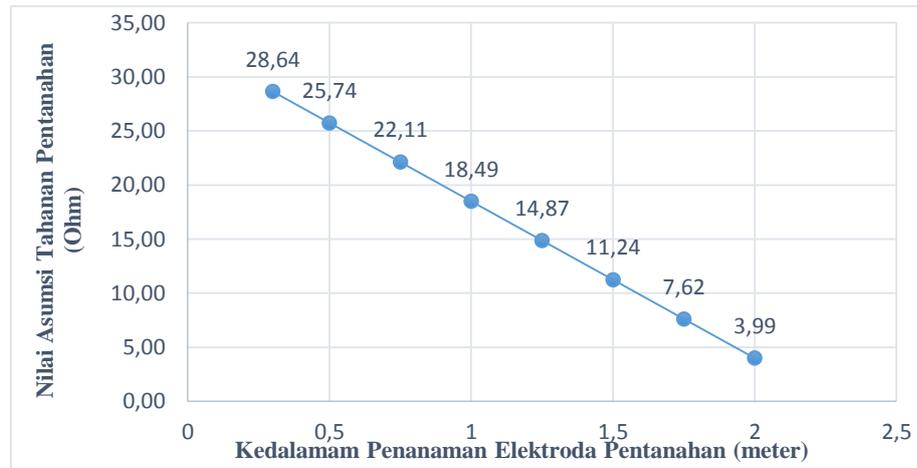
asumsi tahanan pentanahan pada asbes 70% dengan bahan aditif arang 20% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 32,99 - 14,50X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 70% dengan bahan aditif arang 20% + garam 10%. Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.8, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Asbes 70% dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 32,99 - 14,50X$
1	0,30	30	28,64
2	0,50	25	25,74
3	0,75	22	22,11
4	1	18	18,49
5	1,25	15	14,87
6	1,50	9,7	11,24
7	1,75	8	7,62
8	2	5	3,99



Gambar 4.7 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 70% + Arang 20% + Garam 10%



Gambar 4.8 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 70% + Arang 20% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 70%, Arang 20% dan garam 10%. Dari grafik 4.7 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya, dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 5  $\Omega$  dan dari hasil prediksi 3,99  $\Omega$ .

## 2. Pencampuran Asbes 60% dengan bahan aditif Arang 30%+ Garam 10%

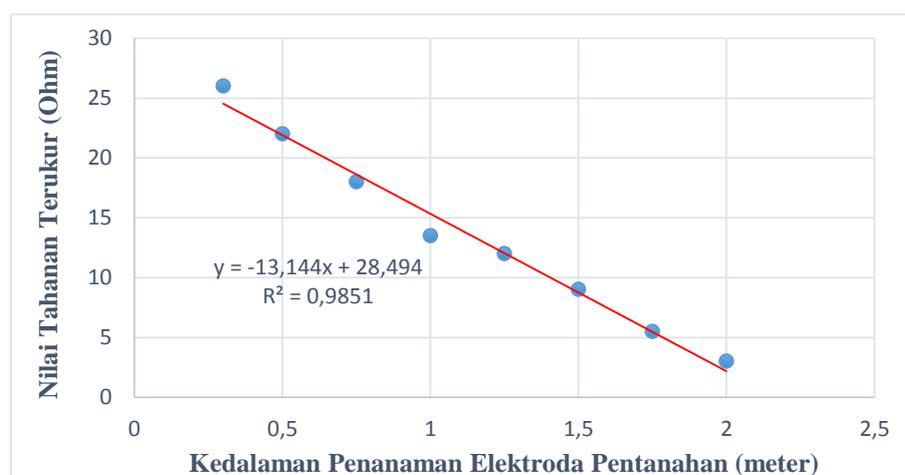
Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.7 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan asbes 60% dengan bahan aditif arang 30% + garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 109,00, \sum XY = 89,93, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

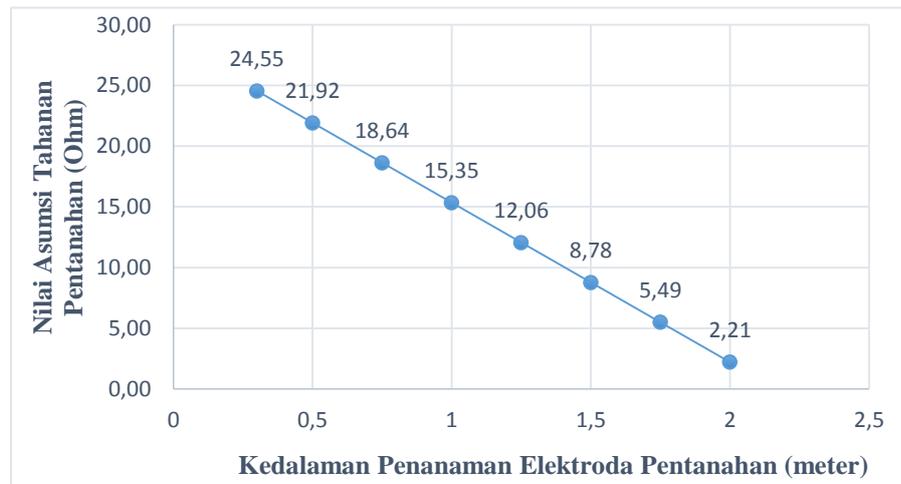
Sehingga diperoleh nilai  $a = 28,49$  dan  $b = -13,14$  dari nilai  $a$  dan  $b$  diperoleh persamaan regresinya  $Y = 28,49 - 13,14X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 60% dengan bahan aditif arang 30% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai  $X$  ke dalam persamaan regresi  $Y = 28,49 - 13,14X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 60% dengan bahan aditif arang 30% + garam 10%. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Asbes 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 28,49 - 13,14X$
1	0,30	26	24,55
2	0,50	22	21,92
3	0,75	18	18,64
4	1	13,5	15,35
5	1,25	12	12,06
6	1,50	9	8,78
7	1,75	5,5	5,49
8	2	3	2,21



Gambar 4.9 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 60% + Arang 30% + Garam 10%



Gambar 4.10 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 60% + Arang 30% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 60%, arang 30% dan garam 10%. Dari grafik 4.2 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya, dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 3  $\Omega$  dan dari hasil prediksi 2.21  $\Omega$ .

### 3. Asbes 50% dengan bahan aditif Arang 40% + Garam 10%

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.8 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan asbes 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10%, setelah dihitung didapat hasil:

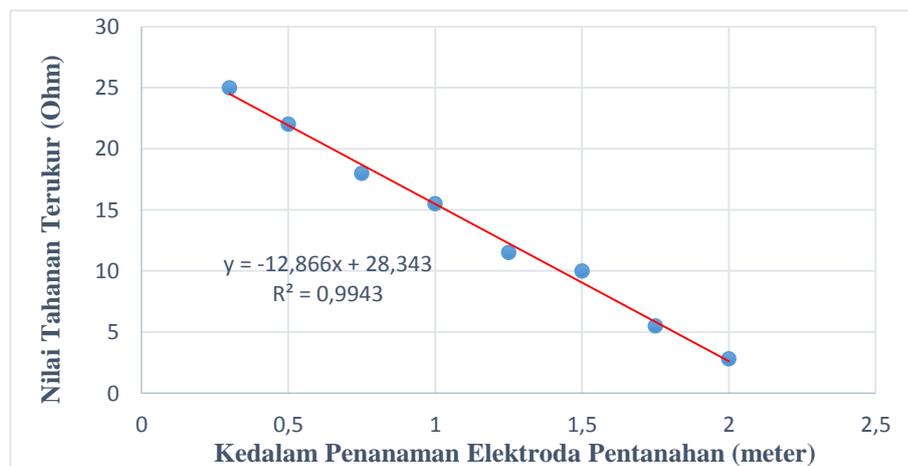
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 110,30, \sum XY = 92,10, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 28,34$  dan  $b = -12,87$ , dari nilai  $a$  dan  $b$  diperoleh persamaan regresinya  $Y = 28,34 - 12,87X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai  $X$  ke dalam persamaan regresinya  $Y = 28,34 - 12,87X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada asbes 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10%.

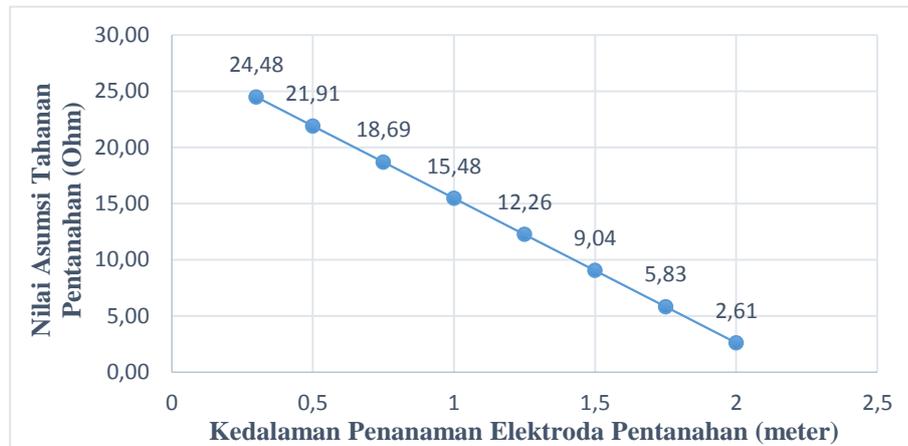
Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.1.

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Asbes 50% Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai tahanan pentanahan terukur (Y)	Nilai tahanan pentanahan Asumsi $Y = 28,34 - 12,87X$
1	0,30	25	24,48
2	0,50	22	21,91
3	0,75	18	18,69
4	1	15,5	15,48
5	1,25	11,5	12,26
6	1,50	10	9,04
7	1,75	5,5	5,83
8	2	2,8	2,61



Gambar 4.11 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 50% + Arang 40% + Garam 10%



Gambar 4.12 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 50% + Arang 40% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 50%, arang 40% dan garam 10%. Dari grafik 4.3 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 2,8  $\Omega$  dan hasil prediksi 2,61  $\Omega$ .

#### 4. Asbes 40% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10%

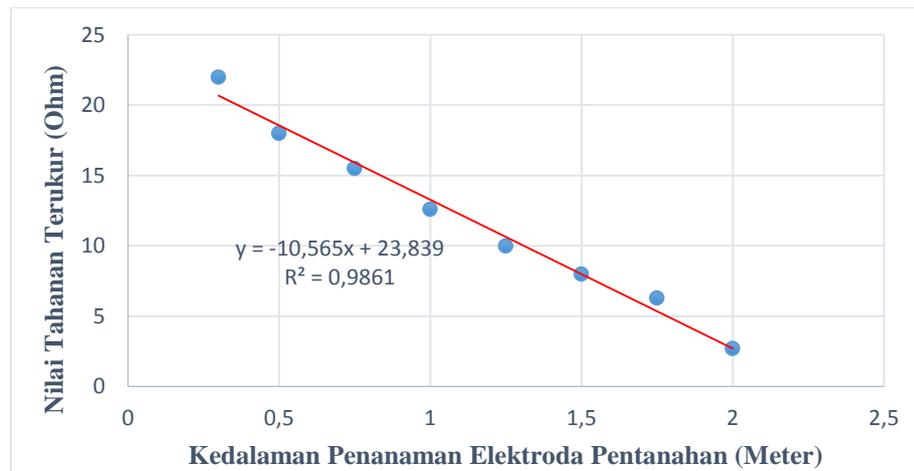
Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.9 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan asbes 40% dengan bahan aditif arang 50% + garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 95,10, \sum XY = 80,75, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

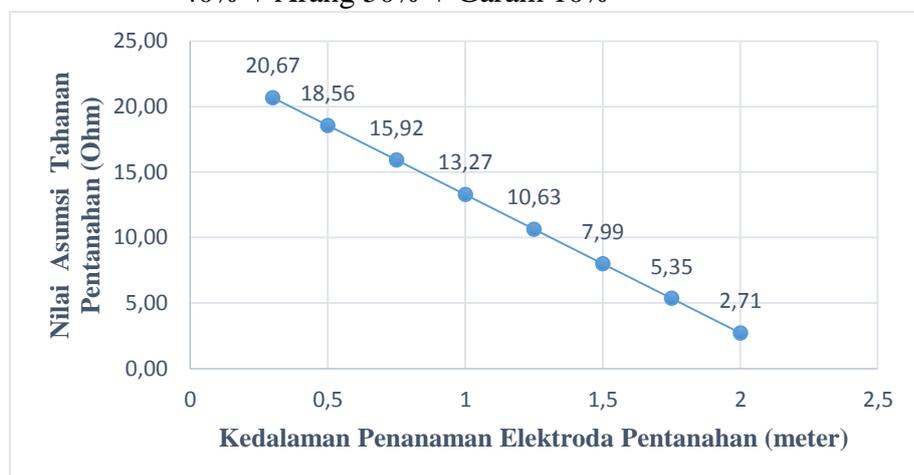
Sehingga diperoleh nilai  $a = 23,84$  dan  $b = -10,57$ , dari nilai  $a$  dan  $b$  di peroleh persamaan regresinya  $Y = 23,84 - 10,57X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada Asbes 40% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai  $X$  ke dalam persamaan regresi  $Y = 23,84 - 10,57X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada Asbes 40% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10%. Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Asbes 40% Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 23,84 - 10,57X$
1	0,30	22	20,67
2	0,50	18	18,56
3	0,75	15,5	15,92
4	1	12,6	13,27
5	1,25	10	10,63
6	1,50	8	7,99
7	1,75	6,3	5,35
8	2	2,7	2,71



Gambar 4.13 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Asbes 40% + Arang 50% + Garam 10%



Gambar 4.14 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Asbes 40% + Arang 50% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material asbes 40%, arang 50% dan garam 10%. Dari grafik 4.4 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 2,7  $\Omega$  dan hasil prediksi 2,71  $\Omega$ .

2. Gypsum 70% Dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.10 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan Gypsum 70% dengan bahan aditif Arang 20% + Garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

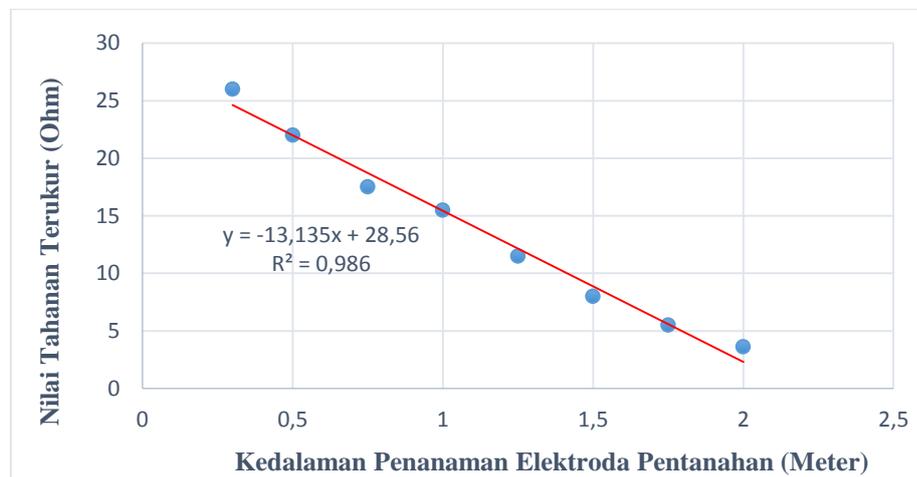
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 109,60, \sum XY = 90,63, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 28,56$  dan  $b = -13,14$  dari nilai a dan b di peroleh persamaan regresinya  $Y = 28,56 - 13,14X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada Gypsum 70% dengan bahan aditif Arang 20% + Garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 28,56 - 13,14 X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada Gypsum 70% dengan bahan aditif Arang 20% + Garam 10%. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.12, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16.

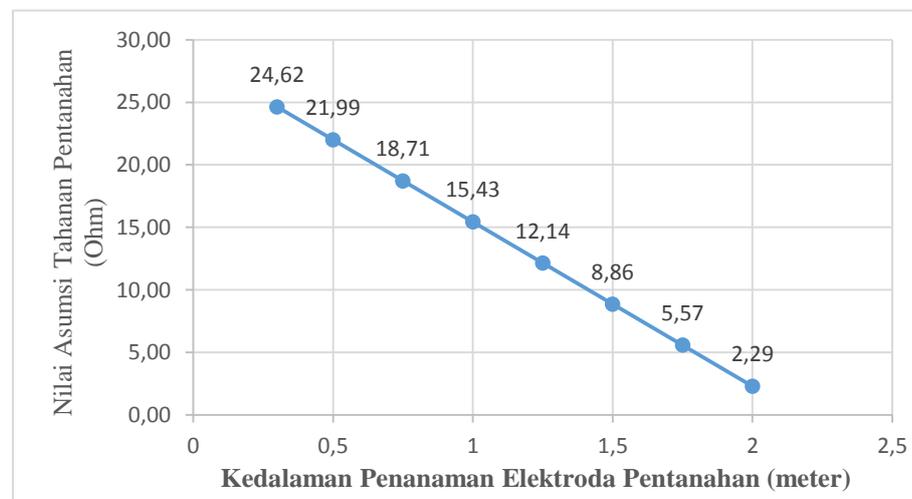
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Gypsum 70% dengan Bahan Aditif Arang 20% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda(X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 28,56 - 13,14X$
1	0,3	26	24,62
2	0,5	22	21,99
3	0,75	17,5	18,71
4	1	15,5	15,43
5	1,25	11,5	12,14
6	1,5	8	8,86
7	1,75	5,5	5,57

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda(X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 28,56 - 13,14X$
8	2	3,6	2,29



Gambar 4.15 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 70% + Arang 20% + Garam 10%



Gambar 4.16 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 70% + Arang 20% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material Gypsum 70%, arang 20% dan garam 10%. Dari grafik 4.15 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya

dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 3,6  $\Omega$  dan hasil prediksi 2,29  $\Omega$ .

### 3. Gypsum 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.6 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan Gypsum 50% dengan bahan aditif Arang 40% + Garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

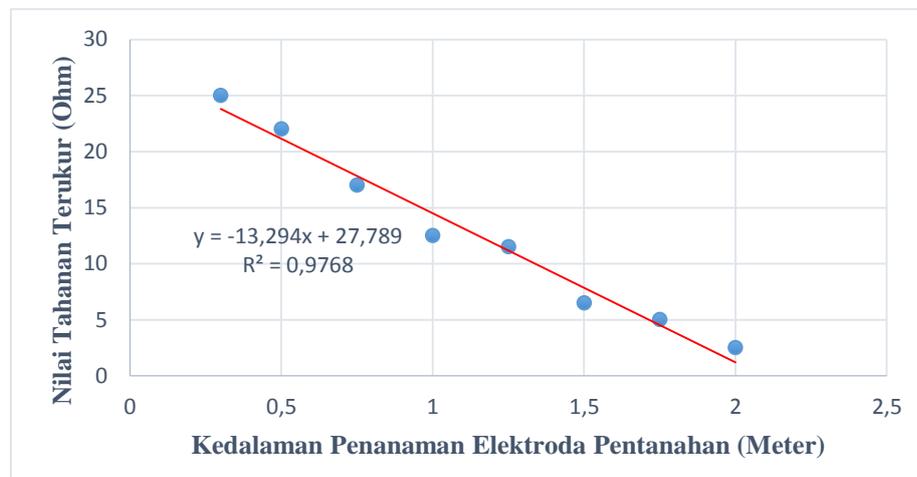
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 102,00, \sum XY = 81,63, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 27,79$  dan  $b = -13,29$  dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 27,79 - 13,29X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 60% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 27,79 - 13,29X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10%. Untuk hasil perhitungan nilai Y selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.13, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan 4.18.

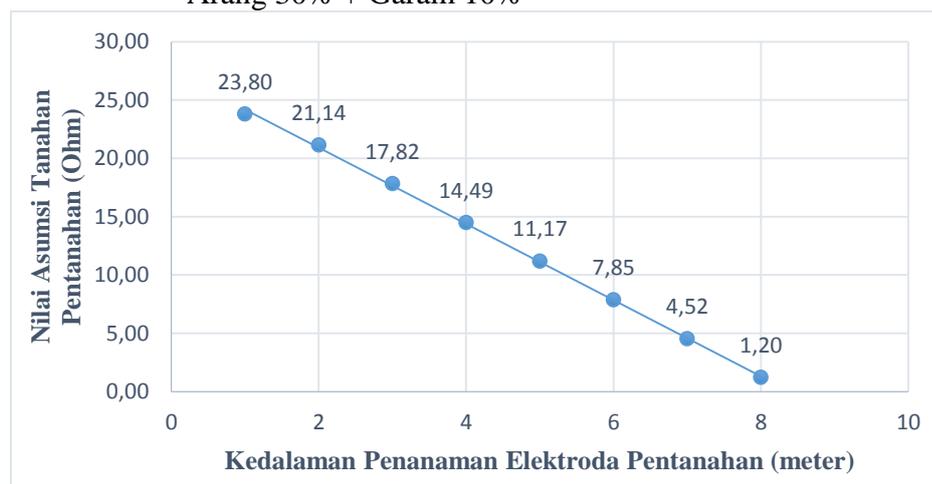
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Gypsum 60% Dengan Bahan Aditif Arang 30% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 27,79 - 13,29X$
------	-----------------------------------	--------------------------------------	--

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 27,79 - 13,29X$
1	0,3	25	23,80
2	0,5	22	21,14
3	0,75	17	17,82
4	1	12,5	14,49
5	1,25	11,5	11,17
6	1,5	6,5	7,85
7	1,75	5	4,52
8	2	2,5	1,20



Gambar 4.17 Grafik Hasil Perhitungan Tahanan Pentanahan Gypsum 60% + Arang 30% + Garam 10%



Gambar 4.18 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 60% + Arang 30% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material gypsum 60%, arang 30% garam 10%. Dari grafik 4.17 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 1,75 m dan 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 5  $\Omega$  dan 2,5  $\Omega$  dan hasil prediksi 4,52  $\Omega$  dan 2,29  $\Omega$ .

#### 4. Gypsum 50% Dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.12 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan gypsum 50% dengan bahan aditif arang 40% + garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

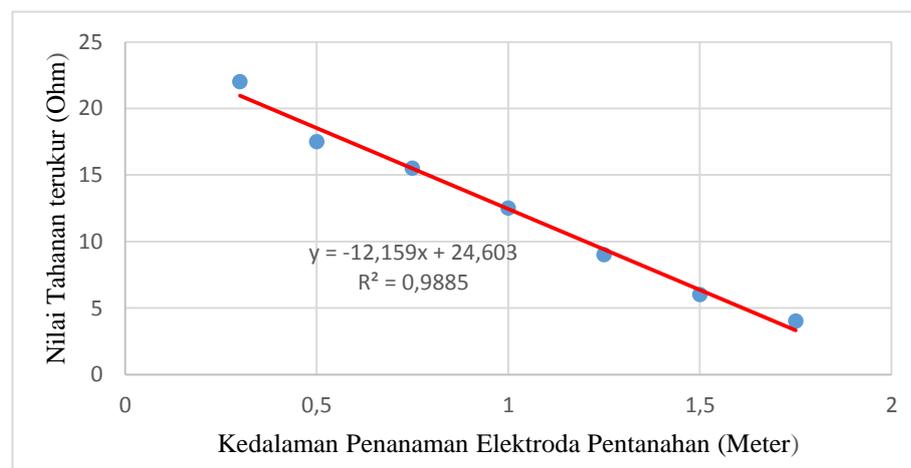
$$\sum X = 9,05, \sum Y = 89,20, \sum XY = 72,13, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 24,60$  dan  $b = -12,15$  dari nilai a dan b diperoleh persamaan regresinya  $Y = 23,60 - 12,16X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 50% + arang 40% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 24,60 - 12,16X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan. Untuk hasil

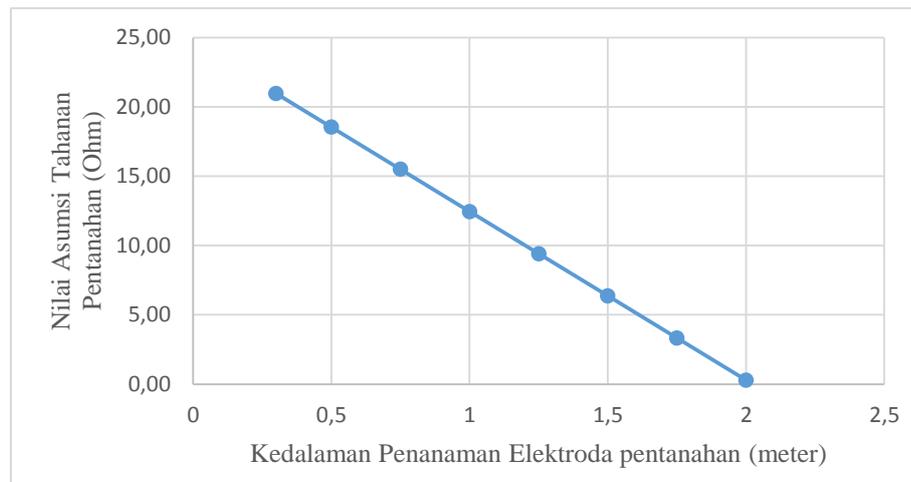
perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.14, sedangkan grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan 4.20

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Gypsum 50% dengan Bahan Aditif Arang 40% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 24,60 - 12,16X$
1	0,3	22	20,96
2	0,5	17,5	18,52
3	0,75	15,5	15,48
4	1	12,5	12,44
5	1,25	9	9,40
6	1,5	6	6,36
7	1,75	4	3,32
8	2	2,7	0,29



Gambar 4.19 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 50% + Arang 40% + Garam 10%



Gambar 4.20 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 50% + Arang 40% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material gypsum 50%, arang 40% dan garam 10%. Dari grafik 4.19 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 1,75 m dan besar nilai tahanan pentanahan 2,7  $\Omega$  hasil prediksi 1,25  $\Omega$ .

#### 5. Gypsum 40 % Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%

Dari hasil pengukuran reduksi tahanan pentanahan menggunakan material pentanahan yang dicampur dengan bahan aditif bubuk arang dan garam yang ditunjukkan pada tabel 4.13 dapat dihitung nilai-nilai persamaan regresi dari  $Y = a + bx$ , dimana a dan b adalah koefisien regresi dihitung dengan rumus 2.4 dan 2.5. Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan Gypsum 40% dengan bahan aditif Arang 50% + Garam 10%, setelah dihitung di dapat hasil:

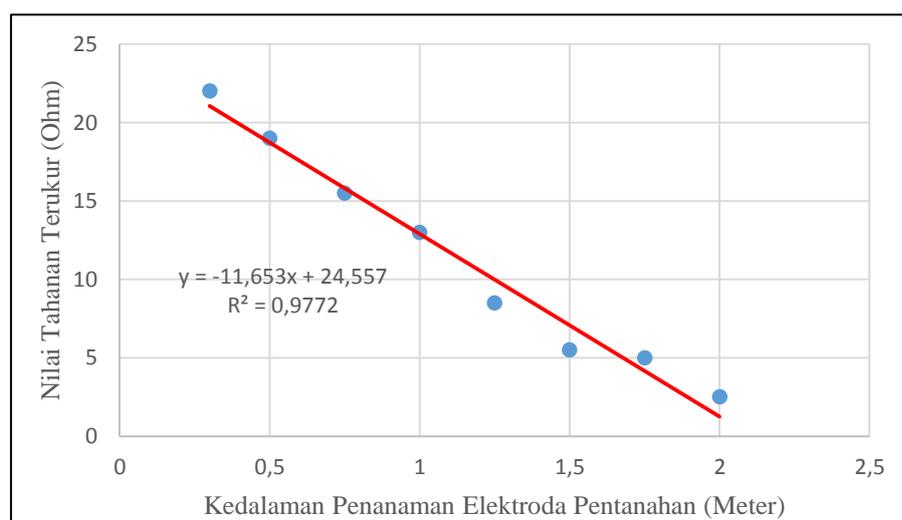
$$\sum X = 9,05, \quad \sum Y = 91,00, \quad \sum XY = 73,35, \quad \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Sehingga diperoleh nilai  $a = 24,56$  dan  $b = -11,63$ , dari nilai a dan b di

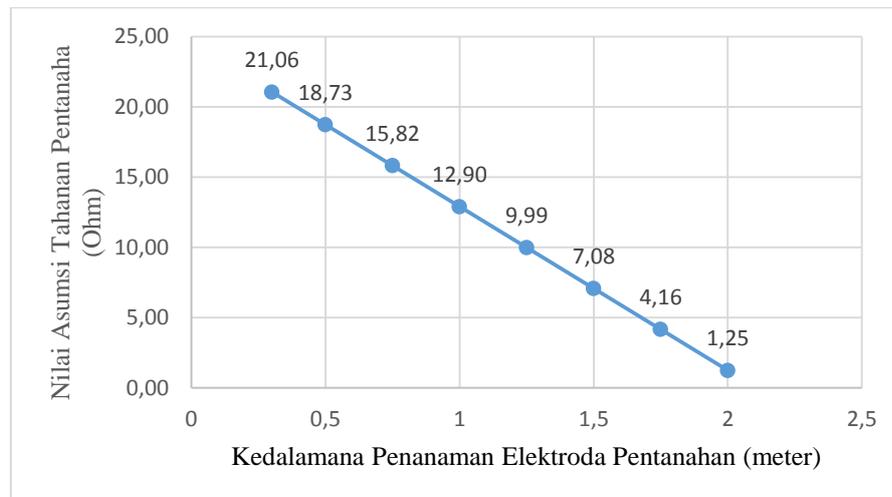
peroleh persamaan regresinya  $Y = 24,56 - 11,63X$ . Untuk memperoleh nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 40% + arang 50% + garam 10% dengan memasukkan setiap nilai kedalaman penanaman elektroda sebagai X ke dalam persamaan regresi  $Y = 24,56 - 11,63X$ , maka dari perhitungan persamaan didapatkan nilai asumsi tahanan pentanahan pada gypsum 40% + arang 50% + garam 10%. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.15, grafik hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan 4.22.

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan Y Tahanan Pentanahan Gypsum 40% Dengan Bahan Aditif Arang 50% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Tahanan Pentanahan Asumsi $Y = 24,56 - 11,63X$
1	0,3	22	21,06
2	0,5	19	18,73
3	0,75	15,5	15,82
4	1	13	12,90
5	1,25	8,5	9,99
6	1,5	5,5	7,08
7	1,75	5	4,16
8	2	2,5	1,25



Gambar 4.21 Grafik Hasil Perhitungan Regresi Tahanan Pentanahan Gypsum 40% + Arang 50% + Garam 10%



Gambar 4.22 Grafik Asumsi Nilai Y Tahanan Pentanahan Gypsum 40% + Arang 50% + Garam 10%

Hasil interpretasi dari pengukuran tahanan pentanahan menggunakan pencampuran bahan aditif dengan material gypsum 40% ditambahkan bahan arang 40% dan garam 10%. Dari grafik 4.22 ditunjukkan bahwa semakin dalam batang elektroda pentanahan ditanamkan semakin turun nilai tahanan pentanahannya dimana nilai tahanan terendah yaitu pada kedalaman 2 m dan besar nilai tahanan pentanahan 2,5  $\Omega$  dan hasil prediksi 1,25  $\Omega$ .

#### 4.3.3 Perbandingan persentase penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan Gypsum dan campuran arang dan garam.

Dari hasil perhitungan penurunan nilai pentanahan zat aditif asbes dan gypsum dan campuran arang dan garam terlihat pada Table 4.16 dan 4.16

Tabel 4.16 Hasil perhitungan asumsi penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes campuran NaCl – Arang

No	Komposisi Bahan	Persamaan Regresi	Y	R <sup>2</sup>
1	Asbes 70% + arang 20% + garam 10%	$Y=32,99 - 14,50X$	18,49	0,988

No	Komposisi Bahan	Persamaan Regresi	Y	R <sup>2</sup>
2	Asbes 60% + arang 30% + garam 10%	$Y=28,49 - 13,14X$	15,35	0,985
3	Asbes 50% + arang 40% + garam 10%	$Y=28,34 - 12,87X$	15,47	0,994
4	Asbes 40% + arang 50% + garam 10%	$Y=23,84 - 10,57X$	13,27	0,986

Hasil perhitungan penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes campuran NaCl – Arang dapat dilihat pada Tabel 4.16 yaitu, bahwa nilai tahanan jika  $X=1$  pada Asbes 70% + arang 20% + garam 10% sebesar 18,49 Ohm, Asbes 60% + arang 30% + garam 10% sebesar 15,35 Ohm, Asbes 50% + arang 40% + garam 10% sebesar 15,47 Ohm, Asbes 40% + arang 50% + garam 10% sebesar 13,27 Ohm.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Asumsi Penurunan Nilai Tahanan Pentanahan Zat Aditif Gypsum Campuran Nacl – Arang

No	Komposisi Bahan	Persamaan Regresi	Y	R <sup>2</sup>
1	Gypsum 70 % + arang 20% + garam 10%	$Y=28,56 - 13,14X$	15,42	0,986
2	Gypsum 60 % + arang 30% + garam 10%	$Y=27,79 - 13,29X$	14,50	0,978
3	Gypsum 50% + arang 40% + garam 10%	$Y=24,60 - 12,16 X$	12,64	0,988
4	Gypsum 40 % + arang 50% + garam 10%	$Y=24,56 - 11,63X$	12,91	0,977

Pada tabel 4.17 hasil perhitungan Gypsum 70% + arang 20% + garam 10% sebesar 15,42 Ohm, Gypsum 60% + arang 30% + garam 10% sebesar 14,50 Ohm, Gypsum 50% + arang 40% + garam 10% sebesar 12,64 Ohm, Gypsum 40% + arang 50% + garam 10% sebesar 12,91 Ohm.

Maka perbandingan penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan Gypsum dan campuran Arang – Garam adalah pada Asbes sebesar nilai Y terbear 18,65 ohm dan nilai terkecil 13,27 ohm sedangkan pada Gypsum nilai Y terbesar 15,42 ohm dan nilai Y terkecil 12,64 ohm. Hal ini menunjukkan dari hasil perhitungan bila dipresentasikan nilai Y tanah 100% dengan  $X=1$  dengan nilai Y terbesar dari Asbes, maka di dapat 60,99%, sedangkan persentase penurunan tahanan gypsum sebesar 67,47%, dan dapat dinyatakan persentase penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan gypsum terdapat perbedaan sebesar 6,48%.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan pentanahan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai tahanan pentanahan mengalami penurunan dibandingkan dari sebelum menggunakan Asbes dan Gypsum, serta dengan penambahan Karbon (arang) – NaCl (garam). Maka perbandingan persentase penurunan nilai tahanan pentanahan zat aditif Asbes dan Gypsum dan campuran Karbon (arang) - NaCl (garam) adalah pada Asbes sebesar 69,40% sedangkan pada Gypsum sebesar 73,64%.
2. Hasil nilai penurunan tahanan pentanahan antara bahan aditif Asbes dengan bahan aditif Gypsum yang dikomposisikan dengan Arang dan Garam, Gypsum dengan komposisinya mendapatkan nilai tahanan pentanahan sesuai standar PUIL  $\leq 5$  pada kedalaman 1,75 m, sedangkan Asbes dengan komposisinya mendapatkan nilai tahanan pentanahan sesuai standar PUIL  $\leq 5$  pada kedalaman 2 m.
3. Menurut hasil analisis regresi sederhana yang dilakukan terlihat bahwa terjadi penurunan nilai tahanan pentanahan seiring dengan bertambahnya kedalaman penanaman elektroda pentanahan. Semakin dalam elektroda batang ditanam maka semakin kecil nilai tahanan pentanahannya, dikarenakan pada pentanahan memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi

besarnya tahanan jenis tanah: kelembaban, temperatur, struktur dan kepadatan di setiap titik kedalaman penanaman elektroda.

## **5.2 Saran**

Pada penelitian ini, meskipun dari masing-masing variasi dominan gypsum, gypsum mampu mereduksi nilai resistansi 73,64% namun nilai resistansi yang dihasilkan masih belum memenuhi standar PUIL 2011 yang sesuai untuk pentanahan pada gedung. Jadi diperlukan penambahan diameter ataupun kedalaman lubang pentanahan untuk menurunkan resistansi selain itu bisa juga dilakukan dengan memvariasikan lebih banyak lagi zat aditif. Pengukuran dan analisis bisa dikembangkan dengan memperhitungkan faktor lingkungan lainya atau variable waktu, dan dengan aplikasi lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Nawir, M. R. Djalal, and S. Sonong, "Rancang Bangun Sistem Pentanahan Penangkal Petir Pada Tanah Basah dan Tanah Kering pada Laboratorium Teknik Konversi Energi," *JEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–39, 2018, doi: 10.21070/jeee-u.v2i2.1581.
- [2] 2000 PUIL, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)," *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2000, no. Puil, pp. 1–133, 2000.
- [3] S. L. B and R. More, "TAG ARCHIVES : CARCINOGENIC," pp. 1–5, 2021.
- [4] E. Yuniarti, "Gypsum Sebagai Soil Treatment dalam Mereduksi Tahanan Pentanahan di Tanah Ladang," *Jurnal.Umj.Ac.Id/Index.Php/Semnastek*, no. November, pp. 1–7, 2016.
- [5] M. Dhofir, R. N. Hasanah, H. Suyono, and A. R. Belan, "Alternative grounding method using coconut shell charcoal as media of mesh electrodes," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 2, pp. 488–494, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i2.8700.
- [6] P. H. Partaoanan Harahap and W. K. A. Al-Ani, "The Effect of Charcoal on the Improvement of Grounding Resistance as a Soil Treatment in Reducing Grounding Resistance," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jreece.v1i1.3619.
- [7] Sudding and Jamaluddin, "The Processing Of Coconut Shell Based On Pyrolysis Technology To Produce Renewable Energy Sources," *Int. Conf. Math. Sci. Technol. Educ. their Appl.*, no. October 2016, pp. 498–510, 2016, [Online]. Available: <https://ojs.unm.ac.id/icmstea/article/download/3565/1976>.
- [8] M. I. Arsyad, P. Studi, T. Elektro, J. Teknik, F. Teknik, and U. Tanjungpura, "Studi pemanfaatan arang batok kelapa untuk perbaikan resistansi pentanahan menggunakan jenis elektroda plat berbentuk persegi."
- [9] Adipurnomo, "Standar IEC," *Standarku.Com*, pp. 1–15, 2019, [Online]. Available: <https://standarku.com/standar-iec/>.
- [10] A. Zainuri, "Grounding Instalasi Listrik Pasca Umur 15 Tahun di Perumahan Taman Bukit Klepu," 2016.
- [11] F. . Opara, O. . Nduka, N. . Iloka, P. . Amaizu, and O. M.A, "Comparative deterministic analysis of bentonite, pig dung and domestic salt and charcoal amalgam as best resistance reducing agent for electrical earthing applications," *International J. Sci. Eng. Res.*, vol. 5, no. 10, pp. 575–584, 2014, [Online]. Available: [onyema.nduka.2014@ieee.org](mailto:onyema.nduka.2014@ieee.org).
- [12] N. M. Seniari, F. Azzyati, and I. B. F. Citarsa, "Analisis Perbandingan Nilai Impedansi Pentanahan Berdasarkan Panjang Elektroda Grounding," *Dielektrik*, vol. 6, no. 1, pp. 45–54, 2019.
- [13] P. E. Sutherland, *Principles of Electrical Safety*. 2014.
- [14] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems - Redline*, vol. 1991. 2007.

- [15] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1," pp. 1–64, 2002.
- [16] Y. Martin, D. Despa, and L. Afriani, "Pengaruh Pencampuran Gypsum Sebagai Zat Aditif Untuk Penurunan Nilai Resistansi Grounding Pada Elektroda Batang Tunggal," *Semin. Nas. Tek. Elektro 2018*, vol. ISBN 978-6, pp. 98–102, 2018.
- [17] E. Yuniarti, "Di Tanah Ladang," *Pengaruh Penambahan Gypsum Dalam Mereduksi Nilai Resist. Pentanahan Di Tanah Ladang.*, vol. 5, no. 1, pp. 769–778, 2015.
- [18] E. Yuniarti, "Penggunaan Gypsum dan Magnesium Sulfat Sebagai Upaya Menurunkan Nilai Resistansi Pentanahan," *J. Surya Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 140–148, 2017.
- [19] J. Arifin, "Pengukuran Nilai Grounding Terbaik Pada Kondisi Tanah Berbeda," *J. ELTIKOM*, vol. 5, no. 1, pp. 40–47, 2021, doi: 10.31961/eltikom.v5i1.251.
- [20] D. Setiawan and A. Syakur, "Analisis Pengaruh Penambahan Garam dan Arang Sebagai Soil Treatment Dalam Menurunkan Resistansi Pentanahan Variasi Kedalaman Elektroda," *Transient*, vol. 7, no. 2, pp. 416–423, 2018.
- [21] D. Nugroho, "Konfigurasi Elektroda Batang Pada Sistem Pentanahan," vol. 6, no. 1, pp. 7–22, 2006.
- [22] U.-U. N. 2 T. 1989, "peraturan menteri tenaga kerja republik Indonesia nomor : per.02/men/1989 menetapkan : Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia tentang pengawasan instalasi penyalur petir. Tentang pengawasan instalasi penyalur petir 7. Peraturan Menteri Te," *NBER Work. Pap. Ser.*, vol. 58, no. 58, pp. 99–104, 1989, [Online]. Available: <https://www.unhcr.org/publications/manuals/4d9352319/unhcr-protection-training-manual-european-border-entry-officials-2-legal.html?query=excom> 1989.
- [23] A. Dermawan, "Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan Yang Ditanam Di Tanah Dan Di Septictank Pada Perumahan," *Makal. Semin. Tugas Akhir*, pp. 1–11, 2006.
- [24] I. M. Yuliara, "Modul Regresi Linier Sederhana," *Fak. Mat. Dan Ilmu Pengetahu. Alam Univ. Udayana*, pp. 1–10, 2016, [Online]. Available: [https://simdos.unud.ac.id/uploads/file\\_pendidikan\\_1\\_dir/3218126438990fa0771ddb555f70be42.pdf](https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/3218126438990fa0771ddb555f70be42.pdf).
- [25] B. Mereduksi and N. Tahanan, "Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi," pp. 20–25, 2000.
- [26] W. P. Widyaningsih, H. M. Teguh, P. Studi, T. Konversi, and P. Semarang, "Metode Penurunan Tahanan Pentanahan Pada," vol. 12, no. 1, 2016.
- [27] N. Asih, *Analisis Penggunaan Gypsum, Bentonite Dan Arang Sebagai Zat Aditif Untuk Soil Treatment Dalam Sistem Pentanahan*. 2019.
- [28] R. Palipi, "Analisa Tahanan Elektroda Pentanahan dengan Metode 3 Kutub," pp. 5–20, 2013.
- [29] M. A. Novid, "elektroda batang terhadap resistansi pentanahan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang Email : erlizay@yahoo.com," pp. 17–23, 2017.

# **LAMPIRAN 1**

### Perhitungan Persamaan Regresi Linier

#### 1. Perhitungan Persamaan Regresi Linier Tanah 100 %

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan tanah 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	75	5625	0,09	22,50	71,12
2	0,50	65	4225	0,25	32,50	64,37
3	0,75	55	3025	0,56	41,25	55,93
4	1	45	2025	1,00	45,00	47,49
5	1,25	35	1225	1,56	43,75	39,05
6	1,50	29	841	2,25	43,50	30,62
7	1,75	22	484	3,06	38,50	22,18
8	2	18,50	156,25	4,00	38,50	13,74
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>344,50</b>	<b>17606,30</b>	<b>12,78</b>	<b>305,50</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 344,50, \Sigma XY = 305,50, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitung:

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

$$a = \frac{(\Sigma 344,5)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 305,5)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{1637,07}{20,3175}$$

$$a = 81,24$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 305,5) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 344,5)}{8(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{-673,7343}{20,3175}$$

$$b = -33,75$$

Maka persamaan regresi :  $Y = 81,24 - 33,75X$

## 2. Perhitungan Persamaan Regresi Linier Asbes 100 %

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan Asbes 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	40	1600	0,09	12,00	<b>37,52</b>
2	0,50	35	1225	0,25	17,50	<b>33,92</b>
3	0,75	29	841	0,56	21,75	<b>29,42</b>
4	1	22	484	1,00	22,00	<b>24,92</b>
5	1,25	17,50	306,25	1,56	21,88	<b>20,43</b>
6	1,50	15,50	240,25	2,25	23,25	<b>15,93</b>
7	1,75	11,50	132,25	3,06	20,13	<b>11,43</b>
8	2	10	100	4,00	20,00	<b>6,93</b>
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>180,50</b>	<b>4928,75</b>	<b>12,78</b>	<b>158,50</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 180,50, \sum XY = 158,50, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\sum 180)(\sum 12,8^2) - (\sum 9,05)(\sum 158,5)}{8 \sum 12,8^2 - (\sum 9,05)^2}$$

$$a = \frac{871,914}{20,3175}$$

$$a = 42,91$$

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

$$b = \frac{8(\sum 158,5) - (\sum 9,05)(\sum 180,5)}{8(\sum 12,8^2) - (\sum 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-365,53}{20,3175}$$

$$b = -17,99$$

Maka persamaan regresi: **Y = 42,91 – 17,99X**

## 3. Perhitungan Persamaan Regresi Linier Gypsum 100 %

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan Gypsum 100%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	35	1225	0,09	10,50	33,25
2	0,50	30	900	0,25	15,00	30,26
3	0,75	26	676	0,56	19,50	26,51
4	1	22	484	1,00	22,00	22,77
5	1,25	17,50	306,25	1,56	21,88	19,02
6	1,50	15	225	2,25	22,50	15,28
7	1,75	11,90	141,61	3,06	20,83	11,53
8	2	9	81	4,00	18,00	7,79
$\Sigma$	9,05	166,40	4038,90	12,78	150,20	33,25

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan :

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 166,40, \Sigma XY = 150,20, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 166,4)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 150,2)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{776,886}{20,3175}$$

$$a = 37,74$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 150,2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 166,4)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-304,32}{20,3175}$$

$$b = -14,97$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 37,74 - 14,97X$

4. Perhitungan Regresi Asbes 70% Dengan Campuran Arang 20% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material  
Asbes 70% dengan Arang 20% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	30	900	0,09	9,00	28,64
2	0,50	25	625	0,25	12,50	25,74
3	0,75	22	484	0,56	16,50	22,11
4	1	18	324	1,00	18,00	18,49
5	1,25	15	225	1,56	18,75	14,87
6	1,50	9,70	94,09	2,25	14,55	11,24
7	1,75	8	64	3,06	14,00	7,62
8	2	5	25	4,00	10,00	3,99
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>132,70</b>	<b>2741,10</b>	<b>12,78</b>	<b>113,30</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan :

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 132,70, \Sigma XY = 113,30, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 132,7)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 113,3)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{670,209}{20.3175}$$

$$a = 33,99$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 113,3) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 132,7)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-294,54}{20.3175}$$

$$b = -14,50$$

Maka persamaan regresi: **Y = 33,99-14,50X**

5. Perhitungan Regresi Asbes 60% Dengan Campuran Arang 30% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Asbes 60% dengan Arang 30% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	26	676	0,09	7,80	24,55
2	0,50	22	484	0,25	11,00	21,92
3	0,75	18	324	0,56	13,50	18,64
4	1	13,5	182,25	1,00	13,50	15,35
5	1,25	12	144	1,56	15,00	12,06
6	1,50	9	81	2,25	13,5	8,78
7	1,75	5,5	30,25	3,06	9,63	5,49
8	2	3	9	4,00	6,00	2,21
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>109</b>	<b>1930,50</b>	<b>12,78</b>	<b>89,90</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan :

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 109, \Sigma XY = 89,90, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 109)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 89,9)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{578,926}{20,3175}$$

$$a = 28,49$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 89,9) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 109)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-267,05}{20,3175}$$

$$b = -13,14$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 28,49 - 13,14X$

6. Perhitungan Regresi Asbes 50% Dengan Campuran Arang 40% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Asbes 50% dengan Arang 40% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	25	625	0,09	7,50	24,48
2	0,50	22	484	0,25	11,00	21,91
3	0,75	18	324	0,56	13,50	18,69
4	1	15,5	240,25	1,00	15,50	15,48
5	1,25	11,5	132,25	1,56	14,38	12,26
6	1,50	10	100	2,25	15,00	9,04
7	1,75	5,5	30,25	3,06	9,625	5,83
8	2	2,8	7,84	4,00	5,60	2,61
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>110,30</b>	<b>1943,60</b>	<b>12,78</b>	<b>92,10</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\Sigma X = 9,05, \quad \Sigma Y = 110,30 \quad \Sigma XY = 92,10, \quad \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 110,3)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 92,1)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{575,85}{20,3175}$$

$$a = 28,34$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 92,1) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 110,3)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-261,42}{20,3175}$$

$$b = -12,87$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 28,34 - 12,87X$

7. Perhitungan Regresi Asbes 40% Dengan Campuran Arang 50% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Asbes 40% dengan Arang 50% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	22	484,00	0,09	0,09	20,67
2	0,50	18	324,00	0,25	0,25	18,56
3	0,75	15,50	240,25	0,56	0,56	15,92
4	1	12,60	158,76	1,00	1,00	13,27
5	1,25	10	100,00	1,56	1,56	10,63
6	1,50	8	64,00	2,25	2,25	7,99
7	1,75	6,30	39,69	3,06	3,06	5,35
8	2	2,70	7,29	4,00	4,00	2,71
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>11,89</b>	<b>1417,99</b>	<b>12,78</b>	<b>12,80</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\sum X = 9,05, \sum Y = 1417,99, \sum XY = 73,40, \sum X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil Perhitungan:

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

$$a = \frac{(\sum 95,1)(\sum 12,8^2) - (\sum 9,05)(\sum 80,8)}{8 \sum 12,8^2 - (\sum 9,05)^2}$$

$$a = \frac{11601,19}{20,3175}$$

$$a = 23,84$$

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

$$b = \frac{8(\sum 80,8) - (\sum 9,05)(\sum 95,1)}{8(\sum 12,8^2) - (\sum 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-214,655}{20,3175}$$

$$b = -10,57$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 23,84 - 10,57X$

8. Perhitungan Regresi Gypsum 70% Dengan Campuran Arang 20% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Gypsum 70% dengan Arang 20% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	26	676	0,09	7,80	24,62
2	0,50	22	484	0,25	11,00	21,99
3	0,75	17,50	306,25	0,56	13,13	18,71
4	1	15,50	240,25	1,00	15,50	15,43
5	1,25	11,50	132,25	1,56	14,38	12,14
6	1,50	8	64	2,25	12,00	8,86
7	1,75	5,50	30,25	3,06	9,63	5,57
8	2	3,60	12,96	4,00	7,20	2,29
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>109,60</b>	<b>1946,00</b>	<b>12,78</b>	<b>90,60</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\Sigma X = 9,05, \quad \Sigma Y = 109,60 \quad \Sigma XY = 90,60, \quad \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Maka:

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

$$a = \frac{(\Sigma 109,6)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 90,6)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{580,258}{20,3175}$$

$$a = 28,56$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 90,6) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 109,6)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-266,88}{20,3175}$$

$$b = -13,14$$

Maka persamaan regresi: **Y = 28,56 - 13,14X**

#### 9. Perhitungan Regresi Gypsum 60% Dengan Campuran Arang 30% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran tahanan pentanahan pencampuran material Gypsum 60% dengan Arang 30% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	25	625	0,09	7,50	23,80
2	0,50	22	484	0,25	11,00	21,14
3	0,75	17	289	0,56	12,75	17,82
4	1	12,50	156,25	1,00	12,50	14,49
5	1,25	11,50	132,25	1,56	14,38	11,17
6	1,50	6,50	42,25	2,25	9,75	7,85
7	1,75	5	25	3,06	8,75	4,52
8	2	2,50	6,25	4,00	5,00	1,20
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>102</b>	<b>1760,0</b>	<b>12,78</b>	<b>81,60</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\Sigma X = 9,05, \quad \Sigma Y = 102, \quad \Sigma XY = 81,60, \quad \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 102)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 81,6)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{564,60}{20,3175}$$

$$a = 27,79$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 81,6) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 102)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-270,1}{20,3175}$$

$$b = -13,29$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 27,79 - 13,29X$

10. Hasil Perhitungan Gypsum 50% Dengan Campuran Aditif Arang 40% + Garam 10%

Tabel Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Gypsum 50% dengan Arang 40% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	22	484	0,09	6,60	20,96
2	0,50	17,50	306,25	0,25	8,75	18,52
3	0,75	15,50	240,25	0,56	11,63	15,48
4	1	12,50	156,25	1,00	12,50	12,44
5	1,25	9	81	1,56	11,25	9,40
6	1,50	6	36	2,25	9,00	6,36
7	1,75	4	16	3,06	7,00	3,32
8	2	2,70	7,29	4,00	5,40	0,29
<b>Σ</b>	<b>9,05</b>	<b>89,20</b>	<b>1327,0</b>	<b>12,78</b>	<b>72,10</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan:

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 89,20, \Sigma XY = 72,10, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 89,2)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 72,1)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{487,02}{20,3175}$$

$$a = 24,60$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 72,1) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 89,2)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-230,26}{20,3175}$$

$$b = -12,16$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 24,60 - 12,16X$

11. Hasil Perhitungan Regresi Gypsum 40% Dengan Campuran Arang 50% + Garam 10%

Tabel hasil pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan pencampuran material Gypsum 40% dengan Arang 50% + Garam 10%

Data	Kedalaman Penanaman Elektroda (X)	Nilai Tahanan Pentanahan Terukur (Y)	Nilai Hasil Perhitungan			
			Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XY	Y
1	0,30	22	484	0,09	6,60	21,06
2	0,50	19	361	0,25	9,50	18,73
3	0,75	15,50	240,25	0,56	11,63	15,82
4	1	13	169	1,00	13,00	12,90
5	1,25	8,50	72,25	1,56	10,63	9,99
6	1,50	5,50	30,25	2,25	8,25	7,08
7	1,75	5	25	3,06	8,75	4,16
8	2	2,50	6,25	4,00	5,00	1,25
$\Sigma$	<b>9,05</b>	<b>91</b>	<b>1388,00</b>	<b>12,78</b>	<b>73,40</b>	

Dari data nilai pengukuran tahanan pentanahan :

$$\Sigma X = 9,05, \Sigma Y = 91, \Sigma XY = 73,40, \Sigma X^2 = 12,78 \quad n = 8$$

Hasil perhitungan:

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

$$a = \frac{(\Sigma 91)(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 73,4)}{8 \Sigma 12,8^2 - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$a = \frac{498,935}{20,3175}$$

$$a = 26,56$$

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

$$b = \frac{8(\Sigma 73,4) - (\Sigma 9,05)(\Sigma 91)}{8(\Sigma 12,8^2) - (\Sigma 9,05)^2}$$

$$b = \frac{-236,75}{20,3175}$$

$$b = -11,65$$

Maka persamaan regresi:  $Y = 26,56 - 11,63X$

## **Lampiran 2**

**Tabel Perhitungan Persamaan Regresi dengan Aplikasi Excel**

**Tanah 100%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R		0,996						
R Square		0,991						
Adjusted R Square		0,990						
Standard Error		2,159						
Observations		8						
<b>ANOVA</b>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	3255,49	3255,49	698,10	1,93995E-07			
Residual	6	27,98	4,66					
Total	7	3283,47						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	82,81	1,71	48,36	0,00	78,62	87,00	78,62	87,00
X Variable 1	-35,80	1,36	-26,42	0,00	-39,12	-32,49	-39,12	-32,49

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	72,07	2,93
2	64,91	0,09
3	55,96	-0,96
4	47,01	-2,01
5	38,06	-3,06
6	29,11	-0,11
7	20,16	1,84
8	11,21	1,29

**Asbes 100%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,979816
R Square	0,96004
Adjusted R Square	0,95338
Standard Error	2,387983
Observations	8

<b>ANOVA</b>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	822,004	822,004	144,1489	2,02E-05
Residual	6	34,21478	5,702463		
Total	7	856,2188			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	42,91442	1,893734	22,66127	4,83E-07	38,28062	47,54822	38,28062	47,54822
X Variable 1	-17,9906	1,498446	-12,0062	2,02E-05	-21,6572	-14,3241	-21,6572	-14,3241

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	37,51723	2,482773
2	33,9191	1,080903
3	29,42143	-0,42143
4	24,92377	-2,92377
5	20,42611	-2,92611
6	15,92845	-0,42845
7	11,43079	0,069214
8	6,933124	3,066876

**Gypsum 100%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,993079802
R Square	0,986207493
Adjusted R Square	0,983908742
Standard Error	1,152423738
Observations	8

**ANOVA**

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	569,7715	569,7715	429,0188	8,24E-07
Residual	6	7,968483	1,32808		
Total	7	577,74			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	37,74411222	0,913903	41,29992	1,35E-08	35,50787	39,98035	35,50787	39,98035
X Variable 1	-14,97822075	0,723139	-20,7128	8,24E-07	-16,7477	-13,2088	-16,7477	-13,2088

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	33,25064599	1,749354
2	30,25500185	-0,255
3	26,51044666	-0,51045
4	22,76589147	-0,76589
5	19,02133629	-1,52134
6	15,2767811	-0,27678
7	11,53222591	0,367774
8	7,787670727	1,212329

**Asbes 70%+ arang20% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,994233874
R Square	0,988500996
Adjusted R Square	0,986584495
Standard Error	1,01723832
Observations	8

**ANOVA**

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	533,7201	533,7201	515,7843	4,77E-07
Residual	6	6,208643	1,034774		
Total	7	539,9288			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	32,9867971	0,806697	40,89118	1,43E-08	31,01288	34,96071	31,01288	34,96071
X Variable 1	-14,49661622	0,638311	-22,7109	4,77E-07	-16,0585	-12,9347	-16,0585	-12,9347

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	28,63781223	1,362188
2	25,73848899	-0,73849
3	22,11433493	-0,11433
4	18,49018088	-0,49018
5	14,86602682	0,133973
6	11,24187277	-1,54187
7	7,617718715	0,382281
8	3,993564661	1,006435

**Asbes 60%+ arang 30% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,992543
R Square	0,985143
Adjusted R Square	0,982666
Standard Error	1,05017
Observations	8

<b>ANOVA</b>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	438,7579	438,7579	397,8376	1,03E-06
Residual	6	6,61714	1,102857		
Total	7	445,375			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	28,49397	0,832813	34,21414	4,15E-08	26,45615	30,53179	26,45615	30,53179
X Variable 1	-13,1438	0,658976	-19,9459	1,03E-06	-14,7563	-11,5314	-14,7563	-11,5314

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	24,55082	1,449182
2	21,92205	0,07795
3	18,63609	-0,63609
4	15,35013	-1,85013
5	12,06417	-0,06417
6	8,778208	0,221792
7	5,492248	0,007752
8	2,206288	0,793712

**Asbes 50% + arang 40% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,997168
R Square	0,994343
Adjusted R Square	0,9934
Standard Error	0,63139
Observations	8

**ANOVA**

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	420,4368	420,4368	1054,642	5,67E-08
Residual	6	2,391921	0,398653		
Total	7	422,8288			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	28,34272	0,500709	56,60515	2,04E-09	27,11753	29,56791	27,11753	29,56791
X Variable 1	-12,8665	0,396194	-32,4753	5,67E-08	-13,8359	-11,897	-13,8359	-11,897

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	24,48277	0,517227
2	21,90947	0,090525
3	18,69285	-0,69285
4	15,47623	0,023773
5	12,2596	-0,7596
6	9,04298	0,95702
7	5,826357	-0,32636
8	2,609733	0,190267

**Asbes 40 %+ arang 50% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,993003
R Square	0,986054
Adjusted R Square	0,98373
Standard Error	0,817433
Observations	8

<b>ANOVA</b>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	283,4796	283,4796	424,2455	8,52E-07
Residual	6	4,009182	0,668197		
Total	7	287,4888			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	23,83919	0,648246	36,7749	2,7E-08	22,25299	25,42539	22,25299	25,42539
X Variable 1	-10,565	0,512935	-20,5972	8,52E-07	-11,8201	-9,30992	-11,8201	-9,30992

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	20,66968	1,330319
2	18,55668	-0,55668
3	15,91542	-0,41542
4	13,27416	-0,67416
5	10,6329	-0,6329
6	7,991645	0,008355
7	5,350388	0,949612
8	2,70913	-0,00913

**Gypsum 70%+ arang 20% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,992954
R Square	0,985959
Adjusted R Square	0,983618
Standard Error	1,019851
Observations	8

**ANOVA**

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	438,1994	438,1994	421,3067	8,7E-07
Residual	6	6,240576	1,040096		
Total	7	444,44			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	28,55951	0,808769	35,31231	3,44E-08	26,58052	30,53849	26,58052	30,53849
X Variable 1	-13,1355	0,639951	-20,5258	8,7E-07	-14,7014	-11,5696	-14,7014	-11,5696

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	24,61886	1,381137
2	21,99177	0,008232
3	18,7079	-1,2079
4	15,42403	0,075969
5	12,14016	-0,64016
6	8,856294	-0,85629
7	5,572425	-0,07243
8	2,288557	1,311443

**Gypsum 60%+ arang 30% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,988329
R Square	0,976795
Adjusted R Square	0,972927
Standard Error	1,333087
Observations	8

<b>ANOVA</b>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	448,8373	448,8373	252,5642	3,94E-06
Residual	6	10,66273	1,777122		
Total	7	459,5			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	27,78879	1,057174	26,28593	2E-07	25,20198	30,3756	25,20198	30,3756
X Variable 1	-13,294	0,836505	-15,8923	3,94E-06	-15,3408	-11,2471	-15,3408	-11,2471

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	23,8006	1,199397
2	21,14181	0,858189
3	17,81832	-0,81832
4	14,49483	-1,99483
5	11,17134	0,328658
6	7,847853	-1,34785
7	4,524363	0,475637
8	1,200874	1,299126

**Gypsum 50%+ arang 40% + garam 10%**

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,990532
R Square	0,981154
Adjusted R Square	0,978013
Standard Error	1,021879
Observations	8

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	326,1946	326,1946	312,3763	2,11E-06
Residual	6	6,265417	1,044236		
Total	7	332,46			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	23,97055	0,810377	29,57951	9,9E-08	21,98763	25,95348	21,98763	25,95348
X Variable 1	-11,3331	0,641223	-17,6742	2,11E-06	-12,9021	-9,76407	-12,9021	-9,76407

RESIDUAL OUTPUT

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	20,57063	1,429371
2	18,30401	-0,80401
3	15,47074	0,02926
4	12,63747	-0,13747
5	9,804196	-0,8042
6	6,970924	-0,97092
7	4,137652	-0,13765
8	1,30438	1,39562

**Gypsum 40%+ arang 50% + garam 10%**

**SUMMARY OUTPUT**

<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,988552							
R Square	0,977235							
Adjusted R Square	0,97344							
Standard Error	1,157105							
Observations	8							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	344,8417	344,8417	257,5577	3,72E-06			
Residual	6	8,033346	1,338891					
Total	7	352,875						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	24,55691	0,917615	26,76167	1,8E-07	22,31159	26,80223	22,31159	26,80223
X Variable 1	-11,6525	0,726077	-16,0486	3,72E-06	-13,4292	-9,87587	-13,4292	-9,87587

**RESIDUAL OUTPUT**

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	21,06115	0,938846
2	18,73065	0,269349
3	15,81752	-0,31752
4	12,90439	0,095607
5	9,991264	-1,49126
6	7,078135	-1,57813
7	4,165006	0,834994
8	1,251876	1,248124

# Lampiran 3

Tabel Hasil pengukuran perhitungan tahanan pentanahan sebelum dan sesudah setelah pencampuran dengan Arang dan Garam

Kedalaman penanaman elektroda (Meter)	Tahanan Pentanahan Terukur ( $\Omega$ )										
	Tanah 100%	Asbes 100%	Gypsum 100%	Asbes 70 % + Arang 20% + Garam 10%	Asbes 60 % + Arang 30% + Garam 10%	Asbes 50 % + Arang 40% + Garam 10%	Asbes 40 % + Arang 50% + Garam 10%	Gypsum 70 % + Arang 20% + Garam 10%	Gypsum 60 % + Arang 30% + Garam 10%	Gypsum 50 % + Arang 40% + Garam 10%	Gypsum 40 % + Arang 50% + Garam 10%
0.30	75	40	35	30	26	25	22	22	22	17,5	19
0.50	65	35	30	25	22	22	18	17,5	17	15,5	15,5
0.75	55	29	26	22	18	18	15,5	15,5	12,5	13,5	13
1	45	22	22	18	13,5	15,5	12,6	11,5	11,5	9	8,5
1.25	35	17,5	17,5	15	12	11,5	10	8	6,5	6	5,5
1.50	29	15,5	16	9,7	9	10	8	5,5	5	4	5
1.75	22	11,5	11,9	8	5,5	5,5	6,3	3,6	2,5	2,7	2,5
2	18,5	10	9	5	3	2,8	2,7	26	25	22	22
Rata-rata R	42,31	22,56	20,93	16,59	13,63	13,79	11,89	13,7	12,75	11,15	11,375
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0,992</b>	<b>0,96</b>	<b>0,986</b>	<b>0,989</b>	<b>0,985</b>	<b>0,994</b>	<b>0,986</b>	<b>0,986</b>	<b>0,9768</b>	<b>0,989</b>	<b>0,9772</b>

# Lampiran 4

**Poto Penelitian**



**Bahan pecahan asbes**



**Proses penggilingan asbes**

### **Pengukuran Kedalaman Lobang, Tanah Galian, Pengukuran Jarak Antar Lobang**



**Proses Penggalian Lobang**



**Pengukuran kedalaman lobang**



**Tanah berbatu hasil galian lobang**



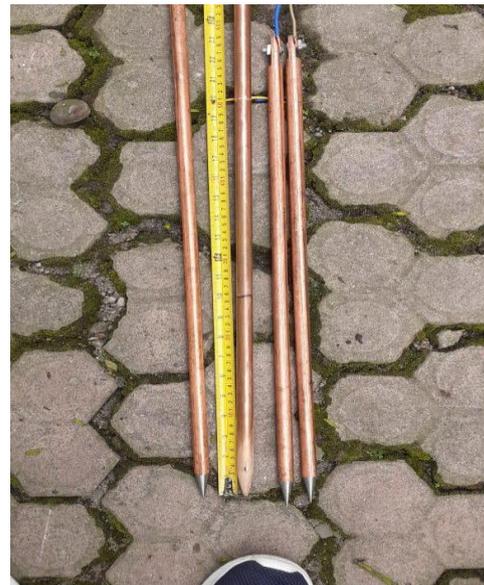
**Pengukuran jarak antar lobang**



**Bor Tanah**



**Pengecekan kondisi lobang pengujian**



**Batang elektroda dan penandaan ukuran penanaman**



**Tabung Ukur untuk Komposisi Pencampuran Material Aditif**



**Pengujian Alat Ukur**



**Proses Pencampuran Material Aditif**



**Penandaan Lobang Pengukuran**



**Proses Pengambilan Data Pengukuran Tahanan Pentanahan**

## **LAMPIRAN 5**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,<sup>109</sup>  
RISET. DAN TF.KNOLOGI

BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN  
MUTU PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK  
JaJan Sella Budi Nomor 75 Icaptan Sumarsono Helvetla Medan 20124  
Telepon Fax. 061 — 8456871 Laman : <https://p4tkbbl.kermdikbud.go.id>

Nomor : 0008/D7.2./PT.01.04/2022

5 Januari 2022

Lampiran : -

Hal : Permohonan Izin Riset a.n Hefri Yuliadi

Yth.

Direktur Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Sehubungan dengan Surat Nomor : 14/II.3-AU/UMSU-PPs/F/2022 tentang Permohonan Izin Riset tertanggal 04 Januari 2022 atas nama mahasiswa :

Nama : Hefri Yuliadi

NPM : 1920080006

Program Studi : Magister Elektro/MTE

Dengan ini kami sampaikan pada prinsipnya BBPPMPV Bidang Bangunan dan Listrik bersedia memberikan izin kepada mahasiswa tersebut diatas sebagai Instansi untuk pengambilan data bahan penyusunan tesis dengan judul "**Perbandingan Penambahan Material Asbes dan Gypsum Dengan Campuran Nacl dan Arang Untuk Mereduksi Resistansi Pentanahan Pada BBPPMPV BBL Medan**" dari tanggal 06 s.d 31 Januari 2022 selama tidak mengganggu kegiatan di BBPPMPV Bidang Bangunan dan Listrik.

Pada saat pelaksanaan kegiatan peserta wajib menjalankan protokol kesehatan, menaati peraturan yang berlaku serta wajib menyerahkan laporan hasil tesis ke BBPPMPV Bidang Bangunan dan Listrik 1 rangkap.

Demikian kami sampaikan, atas kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Kepala BBPPMPV BBL Medan,



Drs. Rasoki Lubis, M.Pd  
NIP 196604101991031004

Tembusan:

-Kabag Tata Usaha



1. UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pas\* 5 Ayat 1 " Infonnast Elektronid *dan/atau Dokumen Elektronik dan/atau hasil cetakannya merupakan alat bukti yang sah*"
2. Dokumen ini telah di tanda tangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh BSR E



E-ISSN : 2622 7002

**RELE**

(REKAYASA ELEKTRIKAL DAN ENERGI)  
**JURNAL TEKNIK ELEKTRO**



SK KEMENRISTEK  
No. 200/M/KPT/2020

**sinta**

**4**

**SURAT PENERIMAAN MAKALAH**

Ref: 07/Diterima/Editor-Rele/4/2022

Yth. Penulis : **Hefri Yuliadi, Surya Hardi, Rohana**

Judul Artikel : **PERBANDINGAN PENAMBAHAN MATERIAL ASBES DAN GYPSUM  
DENGAN CAMPURAN NaCl DAN ARANG UNTUK MEREDUKSI  
RESISTANSI PENTANAHAN**

**(APLIKASI: BALAI BESAR PENGEMBANGAN PENJAMINAN MUTU  
PENDIDIKAN VOKASI BIDANG BANGUNAN LISTRIK MEDAN)**

Bersama ini, dengan hormat kami meminta anda untuk memastikan hal-hal berikut:

1. Memastikan makalah tersebut sesuai dengan standar templat naskah **RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi)** untuk di Publikasi , silakan unduh Template <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RE/about>
2. Dengan senang hati kami informasikan bahwa artikel anda telah diterima sepenuhnya untuk diterbitkan pada RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, [Vol 5, No 1](#) [\(2022\)](#) ISSN (Cetak) 2622-7002, ISSN (Online).

Medan, 25 April 2021

Manging Editor

OJS RELE  
UMSU

Partaonan Harahap, ST.MT



E-ISSN : 2622 7002

**RELE**

(REKAYASA ELEKTRIKAL DAN ENERGI)  
**JURNAL TEKNIK ELEKTRO**



SK KEMENRISTEK  
No. 200/M/KPT/2020

**sinta**

**4**

**SURAT PENERIMAAN MAKALAH**

Ref: 03/Diterima/Editor-Rele/7/2021

Yth. Penulis : **Hefri Yuliadi, Surya Hardi, Rohana**

Judul Artikel : **Analisis Perbandingan Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Batang Dan Plat Untuk Perbaikan Nilai Resistansi Pembumian**

Bersama ini, dengan hormat kami meminta anda untuk memastikan hal-hal berikut:

1. Memastikan makalah tersebut sesuai dengan standar templat naskah **RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi)** untuk di Publikasi , silakan unduh Template <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RE/about>
2. Dengan senang hati kami informasikan bahwa artikel anda telah diterima sepenuhnya untuk diterbitkan pada RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, [Vol 4, No 1](#) (2021) ISSN (Cetak) 2622-7002, ISSN (Online).

Medan, 21 Agustus 2021

Manging Editor

  
Partaonan Harahap, ST.MT