

**ANALISIS HAMBATAN JENIS TANAH YANG
DIPENGARUHI LINGKUNGAN PADA TANAH
BERPASIR DAN BERBATU**

TESIS

Oleh:

ARIS SUNAWAR

06 06 00 31 65



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**ANALISIS HAMBATAN JENIS TANAH YANG
DIPENGARUHI LINGKUNGAN PADA TANAH
BERPASIR DAN BERBATU**

TESIS

Oleh:

ARIS SUNAWAR

06 06 00 31 65



**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul:

ANALISIS HAMBATAN JENIS TANAH YANG DIPENGARUHI LINGKUNGAN PADA TANAH CAMPURAN BERPASIR DAN BERBATU

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Teknik Tenaga Listrik Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008

Aris Sunawar

06 06 00 31 65

PENGESAHAN

Tugas tesis dengan judul:

ANALISIS HAMBATAN JENIS TANAH YANG DIPENGARUHI LINGKUNGAN PADA TANAH CAMPURAN BERPASIR DAN BERBATU

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Teknik Tenaga Listrik Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tesis ini telah diujikan pada sidang ujian Tesis pada tanggal 3 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tesis pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, M.T.

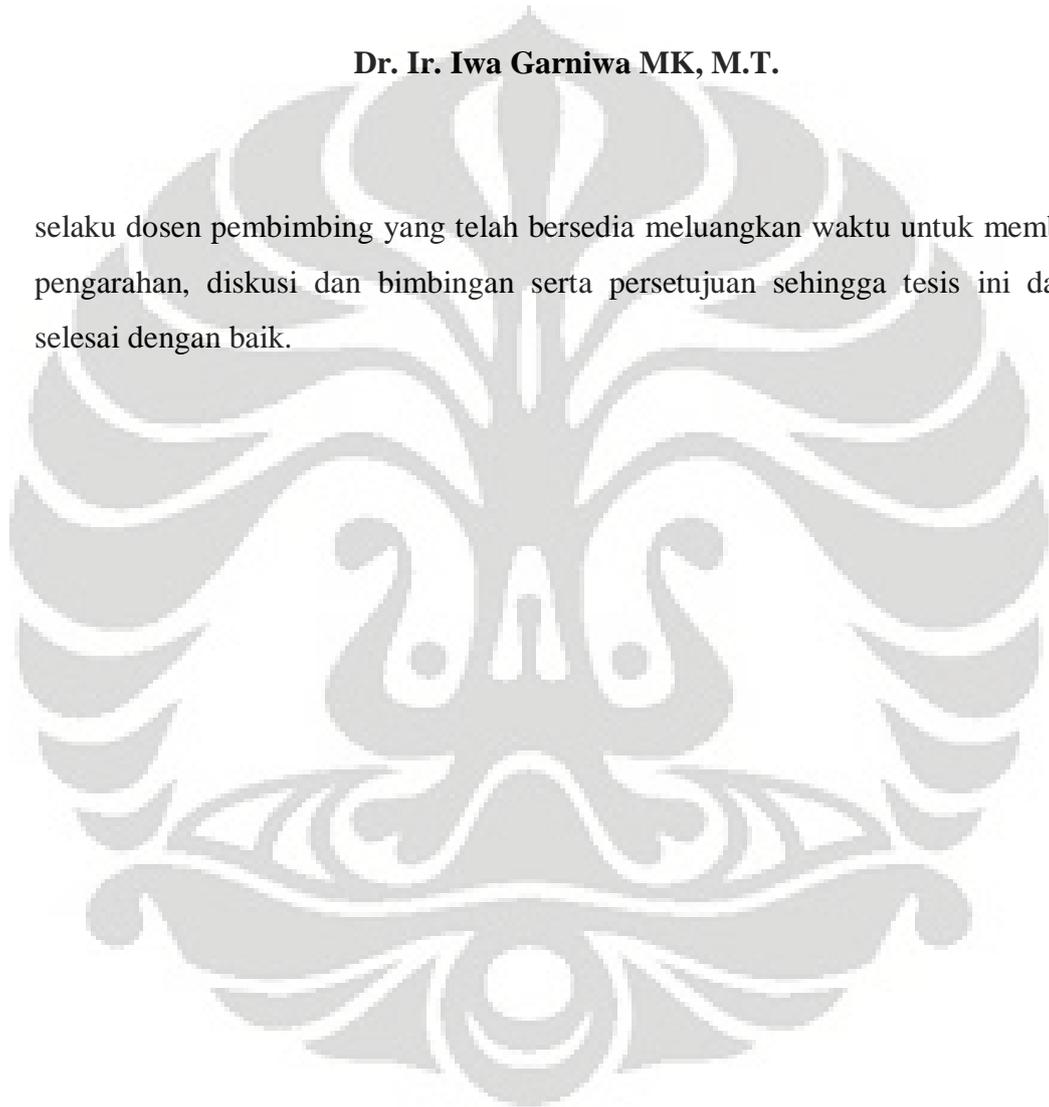
NIP. 131845377

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, M.T.

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.



Aris Sunawar
NPM 0606003165
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, M.T.

**ANALISIS HAMBATAN JENIS TANAH YANG DIPENGARUHI
LINGKUNGAN PADA TANAH CAMPURAN BERPASIR DAN
BERBATU**

ABSTRAK

Sistem pentanahan merupakan kunci penting untuk keselamatan manusia dan peralatan listrik dari lonjakan arus akibat hubungan pendek atau sambaran petir yang tidak dapat di prediksi kemunculannya. Sistem pentanahan yang baik mempunyai hambatan pentanahan yang kecil sehingga mampu menyalurkan arus berlebih langsung kedalam tanah. Hambatan tanah berasal dari hambatan jenis tanah, sedangkan faktor yang mempengaruhi hambatan jenis tanah adalah faktor suhu, kelembaban dan bahan kimiawi yang terkandung dalam tanah tersebut.

Tesis ini menyampaikan seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan pasir dan batu pada tahanan jenis tanah murni. Dengan melakukan pengujian hambatan di tanah campuran pasir dan batu pada kondisi kelembaban dan suhu yang dikondisikan serta penambahan garam kemudian dibandingkan dengan pengujian pada tanah murni.

Dalam pengujian diperoleh tanah campuran pasir dan batu memiliki hambatan jenis yang lebih tinggi dari tanah murni, namun nilai hambatan jenis dapat berubah oleh kondisi kelembaban dan suhu tanah, serta penambahan garam.

Kata kunci: sistem pentanahan, tanah berpasir berbatu

Aris Sunawar
NPM 0606003165
Electrical Engineering Department

Counselor
Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, M.T.

**INFLUENCE OF SANDY AND ROCKY LAND TO THE EARTHING
RESISTANCE OF EARTHING SYSTEM**

ABSTRACT

The earthing system was the important key for the safety of humankind and electricity equipment from the increasing current from short circuits or the stroke of lightning that could not be predicted of its emergence. The good earthing system had the earth resistance that was small so be able to distribute the excessive flow direct into the land. The earth resistance came from the earth resistivity, whereas the factor that affected the earth resistivity is the temperature factor, humidity and the chemical material that were contained in this soil.

This thesis delivered how big is the influence that caused by sand and the stone in pure resistance of the soil. By testing the earth resistance in of mixed sand and rock land on condition for humidity and the temperature that were conditioned as well as the increase in salt afterwards compared with the testing to the pure soil.

In the test was received the land and mix of stone and sand had the higher earth resistivity than the pure soil, but the value of the earth resistivity could be changed by the condition for humidity and the temperature of the soil, as well as the increase in salt.

Key words: Grounding system, sandy and rock soil

DAFTAR ISI

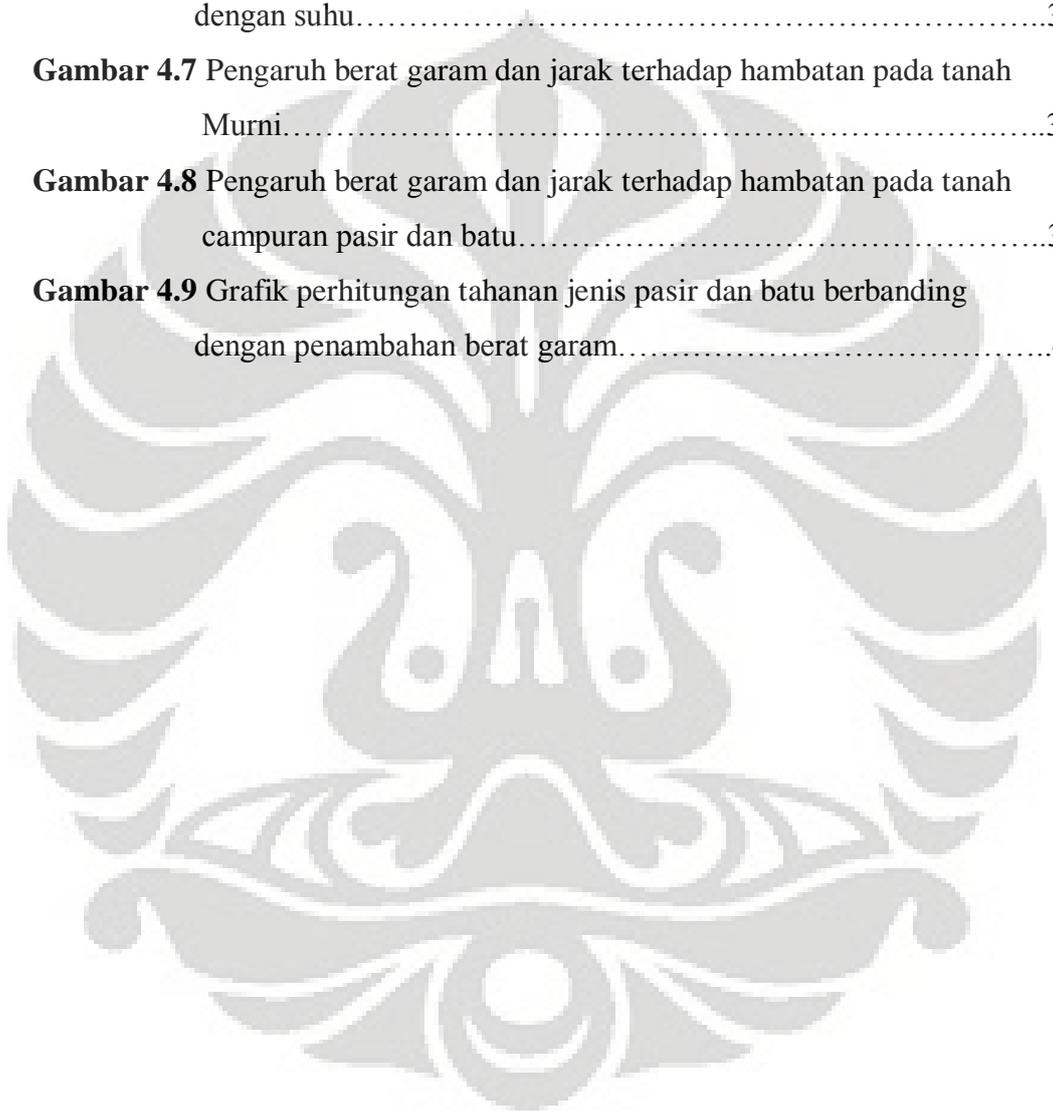
	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan penulisan.....	2
1.3 Metodologi.....	2
1.4 Batasan masalah.....	4
1.5 Sistematika penulisan.....	4
BAB II KERANGKA TEORI.....	5
2.1 Profil Tanah.....	5
2.2 Karakteristik tanah.....	6
2.3 Tahanan Jenis (<i>resistivity</i>).....	10
2.4 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah.....	11
2.4.1. Metoda Empat Titik.....	11
1.3.2. Metode Tiga Titik.....	12
2.5 metode Pengukuran tahanan jenis dua lapisan Tanah.....	14

BAB III	PENGUKURAN DAN PENGUJIAN HAMBATAN PENTANAHAN	16
3.1	Faktor Pengukuran.....	16
3.2	Objek Pengujian	16
3.3	Peralatan Pengujian.....	20
3.4	Rangkaian Pengujian	21
3.5	Pengujian Tahanan Tanah.....	23
3.5.1.	Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Kelembaban.....	24
3.5.2.	Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Suhu	24
3.5.3.	Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Garam.....	25
BAB IV	ANALISA HASIL PENGUJIAN	27
4.1	Hasil perhitungan.....	27
4.1.1.	Pengujian kelembaban pada tanah murni dan campuran.....	28
4.1.2.	Pengujian suhu pada tanah murni dan campuran	28
	Pengujian kadar garam pada tanah murni dan campuran.....	29
4.2	Analisa	30
4.2.1.	Pengujian kelembaban pada tanah murni dan campuran.....	30
4.2.2.	Pengujian suhu pada tanah murni dan campuran	34
4.2.3.	Pengujian kadar garam pada tanah murni dan campuran	38
PENUTUP	42
DAFTAR ACUAN	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Lapisan Tanah secara umum.....	5
Gambar 2.2 Model Tanah	6
Gambar 2.3 Efek Kelembaban, temperatur dan garam pada tahanan jenis tanah.....	8
Gambar 2.4 Bagan tahanan jenis listrik.....	11
Gambar 2.5 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda 4 titik	12
Gambar 2.6 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda 3 titik	13
Gambar 2.7 Nilai hambatan nyata untuk titik X.....	14
Gambar 2.8 Metode pengukuran dua lapisan tanah.....	15
Gambar 3.1 Diagram alir pengujian pengaruh kelembaban terhadap tahanan tanah.....	17
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian pengaruh temperatur terhadap tahanan tanah.....	18
Gambar 3.3 Diagram alir pengujian pengaruh kadar garam terhadap tahanan tanah.....	19
Gambar 3.4 Ground Earth Resistance Meter.....	20
Gambar 3.5 E.M System Soil Tester.....	20
Gambar 3.6 Termometer	20
Gambar 3.7 Rangkaian Pengujian Tahanan Tanah Murni.	21
Gambar 3.8 Rangkaian Pengujian Tahanan Tanah campuran pasir dan batu	22
Gambar 3.9 Posisi Elektroda pengujian Lurus, Miring Kanan dan Miring Kiri.....	23
Gambar 4.1 Pengaruh kelembaban dan jarak terhadap hambatan pada tanah murni.....	30
Gambar 4.2 Pengaruh kelembaban dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu.....	31

Gambar 4.3 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan kelembaban.....	32
Gambar 4.4 Pengaruh suhu dan jarak terhadap hambatan pada tanah murni...34	
Gambar 4.5 Pengaruh suhu dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu.....	35
Gambar 4.6 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan suhu.....	36
Gambar 4.7 Pengaruh berat garam dan jarak terhadap hambatan pada tanah Murni.....	38
Gambar 4.8 Pengaruh berat garam dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu.....	39
Gambar 4.9 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan penambahan berat garam.....	40



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tahanan jenis kerikil dan pasir secara umum.....	10
Tabel 4.1 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap Kelembaban.....	28
Tabel 4.2 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap suhu.....	29
Tabel 4.3 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap penambahan garam.....	29
Tabel 4.4 Hasil perhitungan error kelembaban.....	33
Tabel 4.5 Hasil perhitungan error suhu temperatur.....	37
Tabel 4.6 Hasil perhitungan error berat garam.....	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Upaya untuk melakukan pengamanan atau proteksi dalam instalasi listrik terhadap kondisi abnormal telah banyak dilakukan. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem berubah-ubah, beban tak seimbang dan lain-lain. Proteksi itu diperlukan untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan, untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin serta untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pembumian atau pentanahan adalah sistem proteksi yang sangat penting dalam instalasi listrik. Karena sistem pentanahan yang berfungsi membuang arus berlebih kedalam tanah, sehingga dapat mengamankan manusia. Bila arus hubung-singkat ke tanah dipaksakan mengalir melalui tanah dengan tahanan pentanahan yang tinggi, maka hal tersebut akan menimbulkan perbedaan tegangan yang besar dan berbahaya.

Sistem pentanahan diharapkan memiliki nilai tahanan tanah yang sekecil mungkin, karena dengan hambatan yang kecil dapat mengalirkan arus berlebih langsung ke tanah. Faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya tahanan pentanahan di suatu tempat adalah tahanan dari elektroda pentanahan, tahanan elektroda pentanahan dengan kontak tanah disekelilingnya dan tahanan jenis tanah.

Masing-masing tanah memiliki karakteristik tahanan tanah yang berbeda dikarenakan tanah terdiri dari beberapa lapisan dan masing-masing dari lapisan tersebut berbeda kedalaman dan strukturnya, komposisi dan campuran tanah yang tidak seragam. Tahanan jenis tanah pada tanah yang sama seperti tanah murni atau tanah berpasir dan berbatu saja cenderung memiliki nilai yang seragam, faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi besaran tahanan jenis tanah adalah faktor

suhu tanah, kelembaban tanah dan berapa besar bahan campuran kimiawi yang terkandung dalam tanah tersebut.

Sedangkan pada tanah yang terdiri dari beberapa lapisan berbeda atau campuran yang berbeda, tahanan jenisnya merupakan gabungan tahanan jenis dari masing-masing lapisan tersebut, sehingga memiliki tahanan jenis tanah yang baru. Sehingga lapisan tanah yang bercampur dengan jenis yang lain dapat memiliki tahanan tanah yang lebih kecil ataupun lebih besar tergantung dari lapisan campurannya.

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar yang memiliki banyak variasi jenis tanah. Baik di daerah pesisir pantai maupun di pegunungan akan ditemui variasi jenis tanah yang beraneka ragam, untuk wilayah kota depok dan sekitarnya, variasi tanah yang ada adalah tanah alluvial, tanah endapan yang masih muda, terbentuk dari endapan lempung, debu dan pasir. Dan tanah latosol coklat kemerahan, tanah yang belum begitu lanjut perkembangannya, terbentuk dari tufa vulkan andesitis – basaltis, mudah meresapkan air, tahan terhadap erosi.

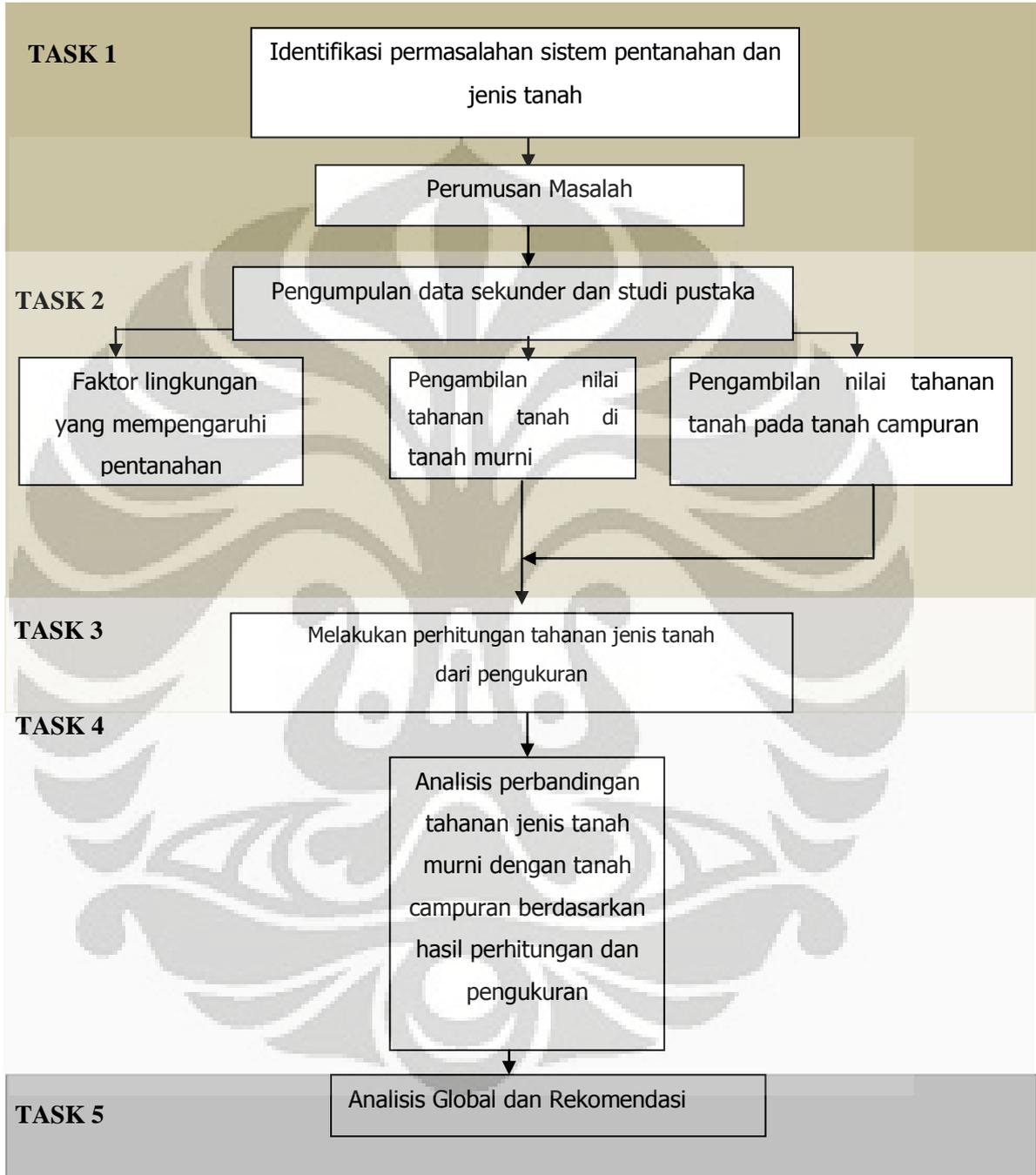
1.2 TUJUAN PENULISAN

Maksud dari penulisan tesis hambatan jenis tanah adalah untuk mengetahui besarnya hambatan jenis tanah pada tanah murni pada kondisi lingkungan yang berbeda kelembaban, suhu, dan pada kondisi lingkungan tercampur dengan bahan kimia garam, kemudian membandingkannya dengan hambatan jenis tanah yang memiliki kandungan pasir dan batu sebanyak $0,2 \text{ m}^3$ yang dicampurkan pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah pada kondisi lingkungan yang sama, untuk mengetahui berapa besar pengaruh campuran pasir dan batu tersebut terhadap tahanan jenis tanah murni.

1.3 METODOLOGI

Pada tesis ini akan dilakukan studi literatur, diskripsi mengenai jenis tanah, tipe pentanahan dan proteksinya. Langkah awal adalah mengumpulkan data jenis dan tipe sistem pentanahan serta jenis tanah yang ada. Kemudian dilakukan

percobaan simulasi pada jenis tanah murni dan melakukan simulasi dengan pencampuran pasir dan batu. Hasil pengukuran hambatan tanah pada percobaan tersebut kemudian dibandingkan dengan pengukuran pada tanah murni.



1.4 **BATASAN MASALAH**

Tesis ini hanya akan mengkaji mengenai sistem pentanahan pada tanah murni dan membandingkannya dengan tanah bercampur pasir dan batu.

Pembahasan akan dibatasi pada:

- Pengukuran pada tanah murni dan tanah campuran pasir dan batu sesuai dengan kondisi lingkungan yang telah ditentukan dalam tujuan pengujian.
- Tanah murni berasal dari sekitar Fakultas Teknik Universitas Indonesia sedangkan asal pasir dan batu dari penambangan di sekitar cileungsi bogor.

1.5 **SISTEMATIKA PENULISAN**

Pembahasan tesis akan dibagi dalam lima bab, bab pertama merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan, metodologi, batasan masalah serta sistematika penulisan, bab dua berisi teori-teori yang menjelaskan mengenai sistem pentanahan, karakteristik tanah, bab tiga berisi penjelasan tentang sistem pengambilan data pada tanah murni, tanah campuran pasir dan batu, bab empat membahas proses perhitungan pengambilan data lalu ditutup bab lima dengan kesimpulan.

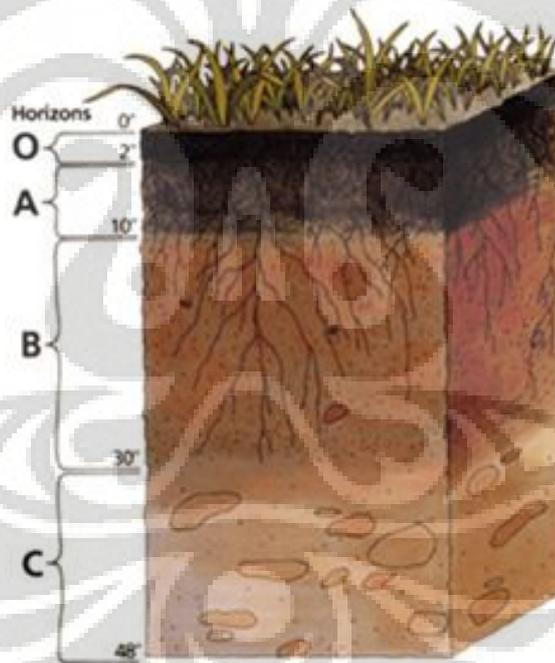
BAB II

KERANGKA TEORI

2.1 PROFIL TANAH

Bumi terdiri dari lapisan-lapisan atau mantel pendukungnya, mulai dari inti bumi sampai kepada lapisan tanah yang merupakan lapisan terluar dari bumi. Tanah sendiri terbentuk dari beberapa lapisan, mulai dari lapisan atas yang terdiri dari lapisan yang lembut dan subur sampai ke lapisan bawah yang paling dasar terdiri dari bebatuan.

Berikut gambar 3.1 adalah gambar lapisan tanah pada tingkat atas sampai kurang lebih pada kedalaman 40 meter.^[1]



Gambar 2.1 lapisan tanah secara umum

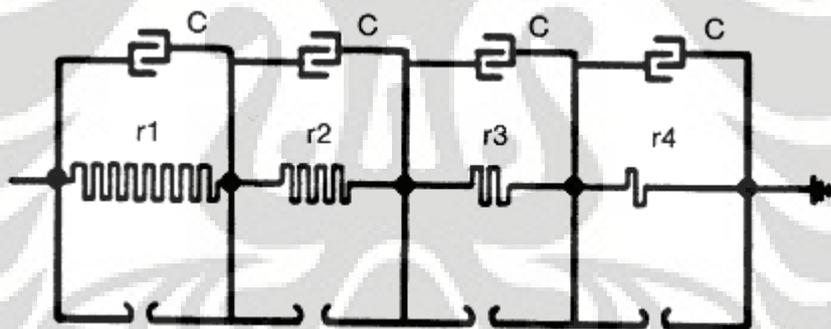
Lapisan-lapisan tersebut dimulai dari lapisan atas yaitu lapisan O atau lapisan organik, yang terdiri dari komposisi tanah lembut dan humus, lapisan A merupakan lapisan selanjutnya yang terdiri dari tanah liat atau tanah lempung. Lapisan selanjutnya adalah lapisan B, dimana pada lapisan ini terdapat mineral

dan pasir, sedangkan lapisan C lebih kompleks karena selain terdiri dari lapisan tanah juga sudah mendekati struktur bebatuan padat.

Untuk simulasi pengujian dibuat supaya mendekati struktur tanah secara keseluruhan. Pada bagian pengujian pertama hanya berisi tanah murni saja, untuk mencari nilai awal hambatan jenis tanah. Sedangkan bagian pengujian kedua dibuat lapisan pasir dan batu yang dicampur diantara lapisan tanah dasar dan lapisan paling atas, sehingga diharapkan elektroda pentanahan akan menyentuh lapisan pasir dan batu tersebut dan juga tetap menyentuh lapisan dasar tanah.

2.2 KARAKTERISTIK TANAH

Tahanan pentanahan dari suatu elektrode dapat dipengaruhi oleh tiga hal, yaitu tahanan dari elektrode batang pentanahan, tahanan kontak antara elektrode pentanahan dengan tanah, serta tahanan dari tanah. Tahanan elektrode pentanahan dan tahanan kontak bergantung dari jenis elektrode pentanahannya, sedangkan tahanan tanah bergantung dari jenis tanah.^[1]



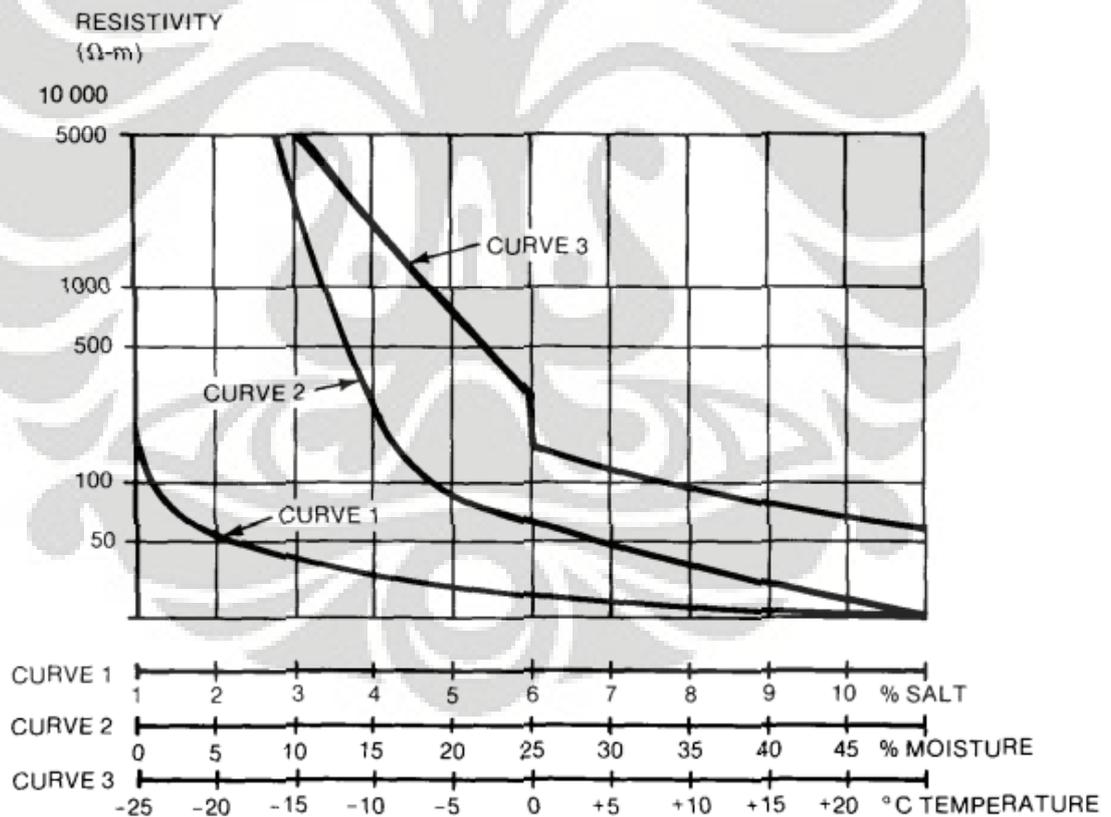
Gambar 2.2 Model tanah

Karakter elektrode pentanahan yang ditanam di tanah bisa dianalisa oleh rangkaian di gambar 2.1^[3]. Dapat dilihat, kebanyakan tanah bertingkah laku baik sebagai penghantar dari hambatan R, maupun sebagai dielectric. Kecuali untuk gelombang yang berfrekuensi tinggi dan bergelombang tajam menembus bahan tanah yang sangat bertahanan tinggi, arus yang lewat tak berarti dibandingkan ke arus kebocoran, dan tanah bisa dilambangkan sebagai hambatan murni.

Efek gradient tegangan. Hambatan jenis tanah tidak terpengaruh oleh gradient tegangan kecuali bila melebihi nilai kritis tertentu. Nilai kadang berubah-

ubah dengan bahan tanah, tetapi biasanya mempunyai besaran beberapa kilovolt persentimeter. Jika melebihi, busur akan timbul di permukaan elektroda dan maju menuju tanah sehingga menambah ukuran efektif elektroda, sampai gradient dikurangi hingga nilai yang bisa ditahan oleh bahan tanah. Kondisi ini dijelaskan oleh adanya celah di gambar 2.1. Sejak sistem pendukung pentahanan biasanya didesain untuk menahan jauh lebih banyak kriteria batas tegangan sentuh dan tegangan langkah, gradient selalu bisa diasumsikan dibawah batas kritis.

Efek lonjakan arus. Tahanan jenis tanah di sekitar elektroda pentahanan dapat terpengaruh oleh arus mengalir dari elektroda ke dalam tanah sekitarnya. Sifat termal dan kelembaban tanah akan memutuskan jika arus yang diberi besarnya dan lamanya akan menyebabkan pengeringan yang besar dan kemudian mengurangi efektifitas tahanan jenis tanah. Nilai konservatif kerapatan arus, yang diberikan oleh Armstrong, harus tidak melebihi 200 A/m² per detik.



Gambar 2.3 Efek kelembaban, temperatur dan garam pada tahanan jenis tanah

Efek dari kelembaban dan campuran kimia. Konduksi listrik di tanah pada hakekatnya bersifat elektrolit. Untuk sebab ini tahanan jenis tanah kebanyakan tanah naik dengan tiba-tiba setiap kali kelembaban menunjukkan kurang dari 15% dari berat tanah. Banyaknya air lebih lanjut bergantung pada ukuran tanah, kepadatan, dan keanekaragaman ukuran butiran tanah. Tetapi, pada gambar 2.2, kurva 2, tahanan jenis sedikit terpengaruh begitu kelembaban melebihi 22%. Efek suhu pada hambatan jenis tanah hampir tak berarti untuk suhu diatas titik beku. Di 0°C, air di tanah mulai membeku dan tahanan jenis bertambah secara sepat. Kurva 3 menunjukkan variasi untuk tanah liat yang berisi 15,2% kelembaban oleh berat

Susunan dan banyaknya garam dapat larut, asam, atau alkali yang terdapat di tanah sangat mungkin mempengaruhi tahanan jenisnya. Kurva 1 gambar 2.2 menjelaskan efek khas garam (sodium klorida) pada tahanan jenis tanah yang mengandung kelembaban 30% dari berat. Untuk menentukan tahanan jenis tanah sebenarnya, tes seperti yang yang digambarkan di ANSI/IEEE Std 81-1983 sebaiknya dilakukan langsung di tempat.

Penggunaan lapisan batu kecil. Kerikil atau lapisan batu koral, biasanya pada kedalaman sekitar 0,08 - 0,15 m (3 - 6 inchi), sangat berguna dalam memperlambat penguapan kelembaban dan juga dalam membatasi pengeringan lapisan-lapisan tanah atas selama cuaca kering yang berkepanjangan. Juga, menutupi permukaan dengan bahan yang memiliki tahanan jenis tinggi sangat berguna dalam mengurangi arus kejut. Kegunaan lapisan ini dalam mengurangi arus kejut tidak selalu sepenuhnya disadari. Tes oleh Bodier di Perancis menunjukkan bahwa kerikil sungai yang biasa digunakan sebagai pelapis permukaan halaman kalau dibasahi mempunyai tahanan jenis 5000 ohm-m. lapisan setebal 4-6 inchi mengurangi faktor bahaya (rasio dari tubuh ke arus hubung singkat) menjadi rasio 10:1, dibandingkan dengan tanah lembab yang murni.

Tes oleh Langer di Jerman membandingkan arus tubuh kalau menyentuh hidran ketika berdiri di atas kerikil kasar yang basah sebanyak 6000 ohm-m tahanan tanah dengan arus tubuh berdiri di lempeng rumput kering. Arus di kasus lempeng rumput kering lebih banyak sebanyak 20 kali nilai untuk kerikil kasar yang basah. Tes yang dilaporkan oleh Elek memberikan penegasan lebih lanjut

keuntungan ini. Dalam mendasarkan perhitungan pada penggunaan lapisan batu atau kerikil halus, pertimbangan sebaiknya diberikan kepada kemungkinan bahwa isolasi mungkin menjadi halangan antara lain lewat mengisi kekosongan oleh tekanan lapisan-lapisan pemberat yang paling rendah ke dalam tanah di bawah di samping bahan dari penggalian berikut, jika dengan cermat tidak menghilangkan, dan di beberapa bidang, oleh penyelesaian debu mengudara.

Tingkat nilai hambatan jenis pada lapisan batu halus bergantung pada banyak faktor, beberapa di antaranya yang adalah jenis batu, ukuran, kondisi batu (yaitu, bersih atau bercampur yang lain), jumlah dan tingkat kelembaban, dan lainnya. Tabel menunjukkan bahwa tahanan jenis air yang membasahi batu mempunyai cukup banyak pengaruh tahanan jenis terukur pada lapisan batu kerikil. Dengan begitu, batu kerikil ditujukan ke ke laut yang membasahinya mungkin mempunyai tahanan jenis yang lebih rendah dari pada batu hancur halus digunakan di lingkungan kering. Menurut sejarah, nilai sebanyak 3000 ohm-m telah digunakan untuk tahanan jenis batu kerikil yang basah. Tetapi, seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2.1, kondisi lokal, ukuran, dan macam batu, mungkin menentukan hasil nilai tahanan jenis yang lebih tinggi atau lebih rendah. Tabel 2.1 memberi nilai umum tahanan jenis untuk nilai batu kerikil diukur di daerah berbeda negara. Nilai ini tidak berlaku untuk bermacam-macam dan ukuran batu di daerah yang berbeda negara. Seperti disebutkan di atas, tes sebaiknya dilakukan untuk memutuskan tahanan jenis batu yang akan digunakan.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Kerikil dan Pasir secara umum

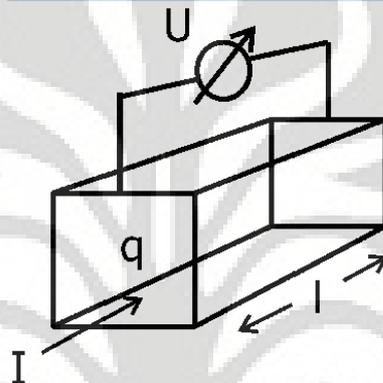
Deskripsi sampel batuan	Tahanan jenis sampel (Ω -m)		
	Kering	Dibasahi dengan air tanah	Dibasahi dengan air garam
Granit remuk halus	$141,8 \times 10^6$	1318,7	705,0
Granit bersih	$192,5 \times 10^6$	8106,8	2166,5
Batu gamping	$7,3 \times 10^6 - 68,5 \times 10^6$	2094,8 – 2912,4	1274,8 – 1470,8
kerikil (macam dan ukuran tak diketahui)	$141,8 \times 10^6$	8534,4	24,4

Batu remuk halus (macam dan ukuran tak diketahui)	$141,8 \times 10^6$	4267,2	121,9
---	---------------------	--------	-------

Sumber : IEEE std 80 1986 hal 73

2.3 TAHANAN JENIS (*RESISTIVITY*)

Tahanan jenis adalah hasil pengukuran sejauh mana kekuatan material menahan arus listrik, tahanan jenis yang kecil mengindikasikan suatu bahan yang dengan mudah memperbolehkan arus listrik mengalir^[4].



Gambar 2.4 bagan tahanan jenis listrik

Suatu arus searah dengan arus sebesar 1 A mengalir melalui suatu konduktor dengan ukuran yang terbatas maka akan timbul perlawanan yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$I = \frac{qV}{\rho l} \quad (2.1)$$

Dimana I = besaran arus (A)

V = Tegangan (V)

q = luas penampang (m^2)

l = panjang penampang (m)

ρ = tahanan jenis (ohm-m)

maka untuk mendapatkan nilai tahanan jenis dari rumus 2.1 diperoleh

$$\rho = \frac{qV}{Il} \quad (2.2)$$

Sedangkan tahanan listrik adalah rasio derajat ke benda yang menahan arus listrik yang melewatinya, diukur di satuan ohm. Dengan asumsi kepadatan arus seragam, tahanan listrik benda dapat dirumuskan dengan:

$$R = \frac{l \rho}{A}$$

Dimana l = panjang penampang (m)

ρ = tahanan jenis (ohm-m)

A = Luas penampang

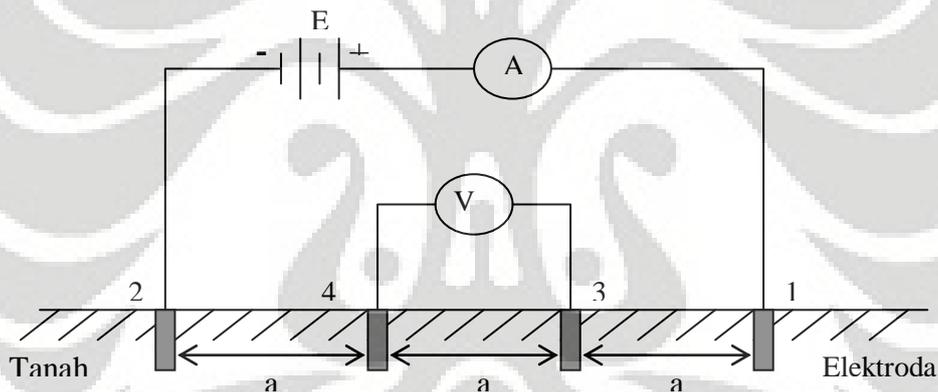
2.4 METODE PENGUKURAN TAHANAN JENIS TANAH

Untuk menentukan tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara^[5] :

1. Metode empat titik (*four electrode methode*)
2. Metode tiga titik (*three-point methode*).

2.4.1. Metoda Empat Titik

Metoda pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti gambar.



Gambar 2.5 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode 4 titik

Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 3 ke elektroda 4 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\pi r^2$, dan rapat arus adalah :

$$J = \frac{I}{2\pi.r^2} \quad (2.3)$$

dimana :

$$J = \text{kerapatan arus [A/m}^2 \text{]}$$

r = jari-jari [m]

I = arus yang mengalir dalam tanah [A]

Dapat diperoleh tahanan jenis tanah pada elektroda 3 dan 4 jika diketahui tahananannya

$$\rho = R_{34} (2\pi a) \quad (2.4)$$

dimana :

a = jarak antara elektroda [m]

R_{34} = tahanan antara elektroda 3 dan 4 [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [Ω-m]

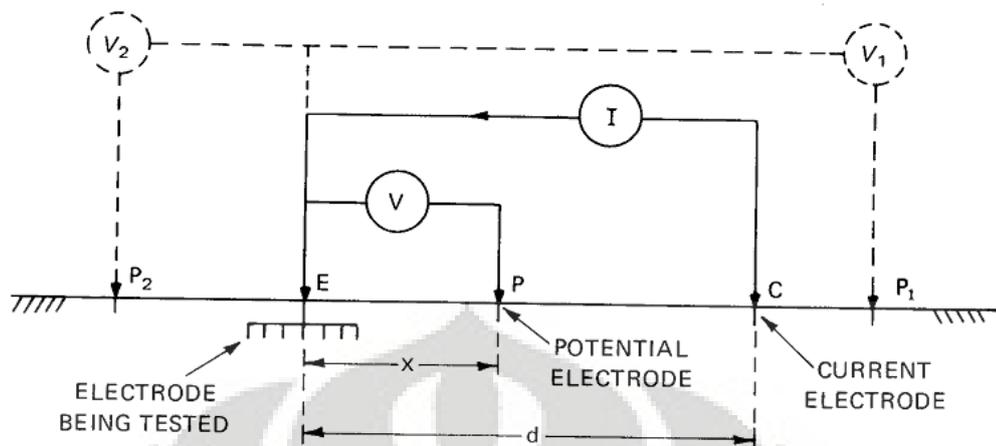
1.3.2. Metode Tiga Titik

Metode ini memerlukan penggunaan sebanyak dua elektroda tes dengan tahanan dari elektroda tes ditunjuk R2 dan R3 dan dengan elektroda untuk diukur yaitu R1. Hambatan antara masing-masing pasang elektroda diukur dan diberikan nama R12, R13, dan R23, di mana $r_{12} = r_1 + r_2$ dan seterusnya.

Maka diperoleh persamaan

$$r_1 = \frac{(r_{12}) - (r_{23}) + (r_{13})}{2} \quad (2.5)$$

Oleh karena itu, dengan mengukur hambatan seri masing-masing pasang elektroda pentanahan dan mensubstitusikan nilai hambatan di persamaan, nilai R1 dapat diperoleh. Jika kedua elektroda tes memiliki hambatan yang lebih tinggi daripada elektroda yang sedang diuji, kesalahan pengukuran individual akan sangat besar di hasil akhir. Untuk pengukuran, elektroda harus di suatu jarak dari satu sama lain; atau keganjilan mungkin timbul di perhitungan, seperti nol atau hambatan negatif^[6].



Gambar 2.6 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode 3 titik

Sedangkan untuk menghitung ρ pada metode 3 titik digunakan rumus

$$\rho_a = \frac{2\pi LR}{\ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1} \quad (2.6)$$

Dimana

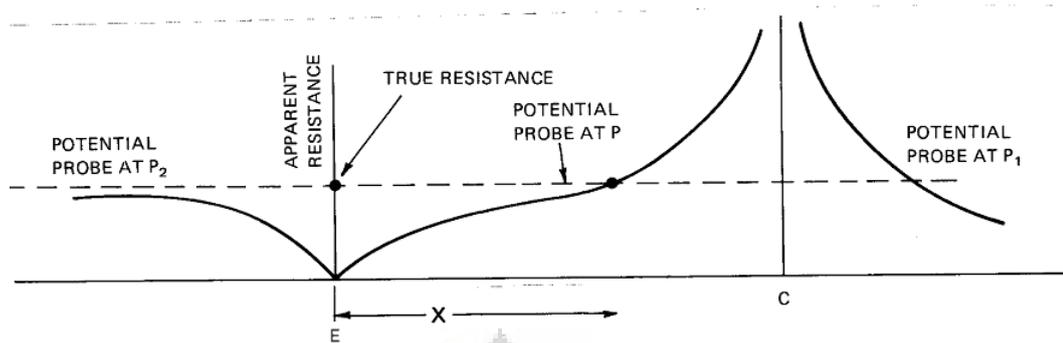
ρ_a = hambatan jenis tanah

L = kedalaman elektroda pentanahan

d = diameter elektroda

R = tahanan terukur

Arus I yang melewati elektroda uji E dan elektroda arus C, menghasilkan variasi potensial di permukaan tanah. Potensial profile disepanjang C, P, E, arahnya dapat dilihat di gambar. Potensial diukur dengan elektroda yang diuji E, yang diasumsikan di potensial nol. Metode turunnnya potensial terdiri dari menggambar rasio $V/I = R$ sebagai fungsi jarak spasi x. Elektroda potensial dipindahkan jauh dari tanah yang sedang diuji dalam setiap langkah. Nilai tahanan didapatkan di masing-masing langkah. Nilai hambatan ini digambarkan sebagai fungsi jarak, dan nilai ohm di yang garis lengkung ini yang direncanakan muncul untuk diambil sebagai hambatan nilai tanah di area pengujian.

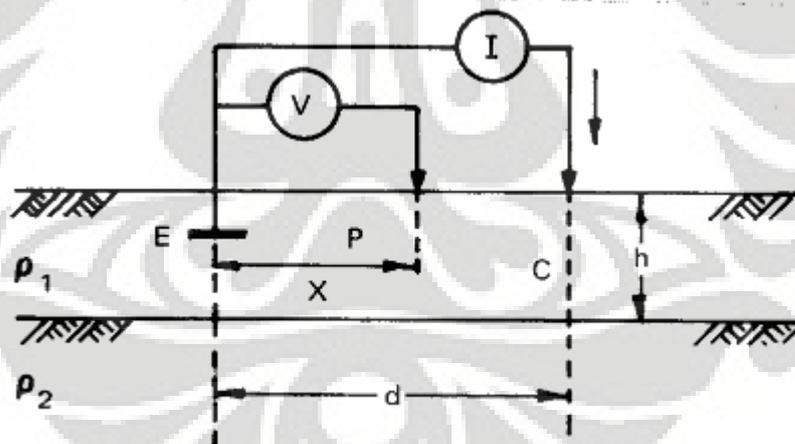


Gambar 2.7 Nilai hambatan nyata untuk jarak X

2.5 METODE PENGUKURAN TAHANAN JENIS DUA LAPISAN TANAH

Untuk pengukuran dua jenis lapisan tanah pada gambar 2.5, harus diketahui kedalaman lapisan tanah pertama, dan tahanan jenis lapisan tanah pertama, kemudian menentukan faktor koefisien refleksi K yaitu

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.7)$$



Gambar 2.8 Metode pengukuran dua lapisan tanah

Sehingga untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tanah pada dua lapisan tanah dapat dipergunakan persamaan^[7]

$$\rho_{av} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{d} \left[\frac{2a}{\sqrt{(1 + (2nH/a)^2)}} - \frac{a}{\sqrt{1 + (2nH/2a)^2}} \right] \right\} \quad (2.8)$$

Dimana Rho_{av} : tahanan jenis rata-rata dua lapis tanah (Ohm-m)

ρ_1 : tahanan jenis tanah lapisan pertama (Ohm-m)

a : jarak antara elektroda (meter)

h : ketebalan lapisan tanah bagian pertama (meter)

K : koefesien refleksi

d : diameter elektroda (meter)

n : jumlah pengamatan (sampel) tiap lapisan tanah yang diamati



BAB III

PENGUKURAN DAN PENGUJIAN HAMBATAN PENTANAHAN

3.1 FAKTOR PENGUKURAN

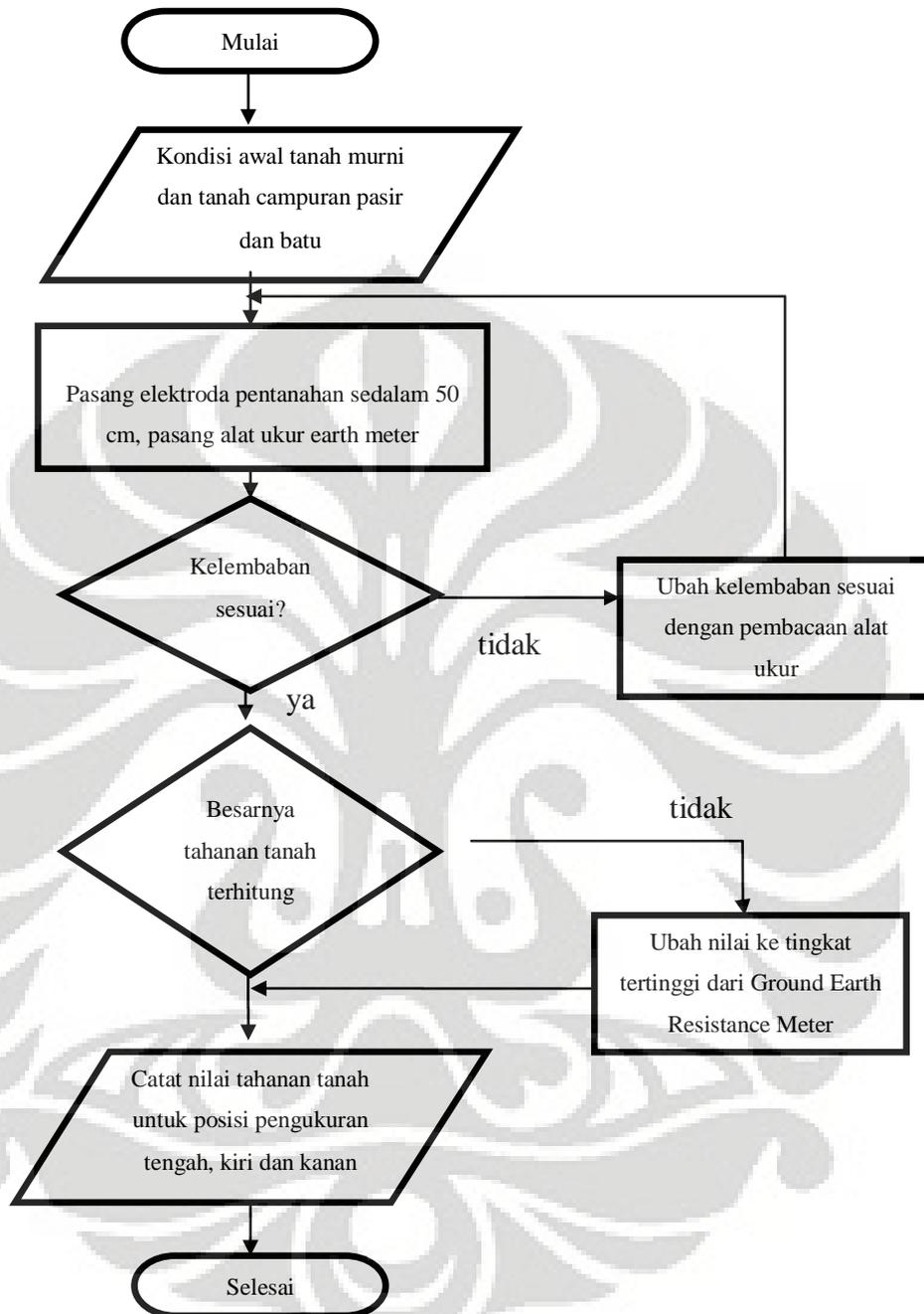
Banyak faktor yang tidak menentu muncul dalam penghitungan tahanan pentanahan. Sebagai contoh, tahanan tanah dapat bervariasi berbanding terbalik dengan temperatur tanah, namun tahanan tanah berbanding lurus dengan kelembabannya dan dapat bervariasi dengan kedalamannya.

Salah satu cara yang pasti dalam menentukan tahanan adalah dengan melakukan pengukuran pada kondisi real sistem. Pengukuran juga hendaknya dilakukan dengan mengukur masing-masing elektroda yang ada. Dan pada kedalaman yang konstan.

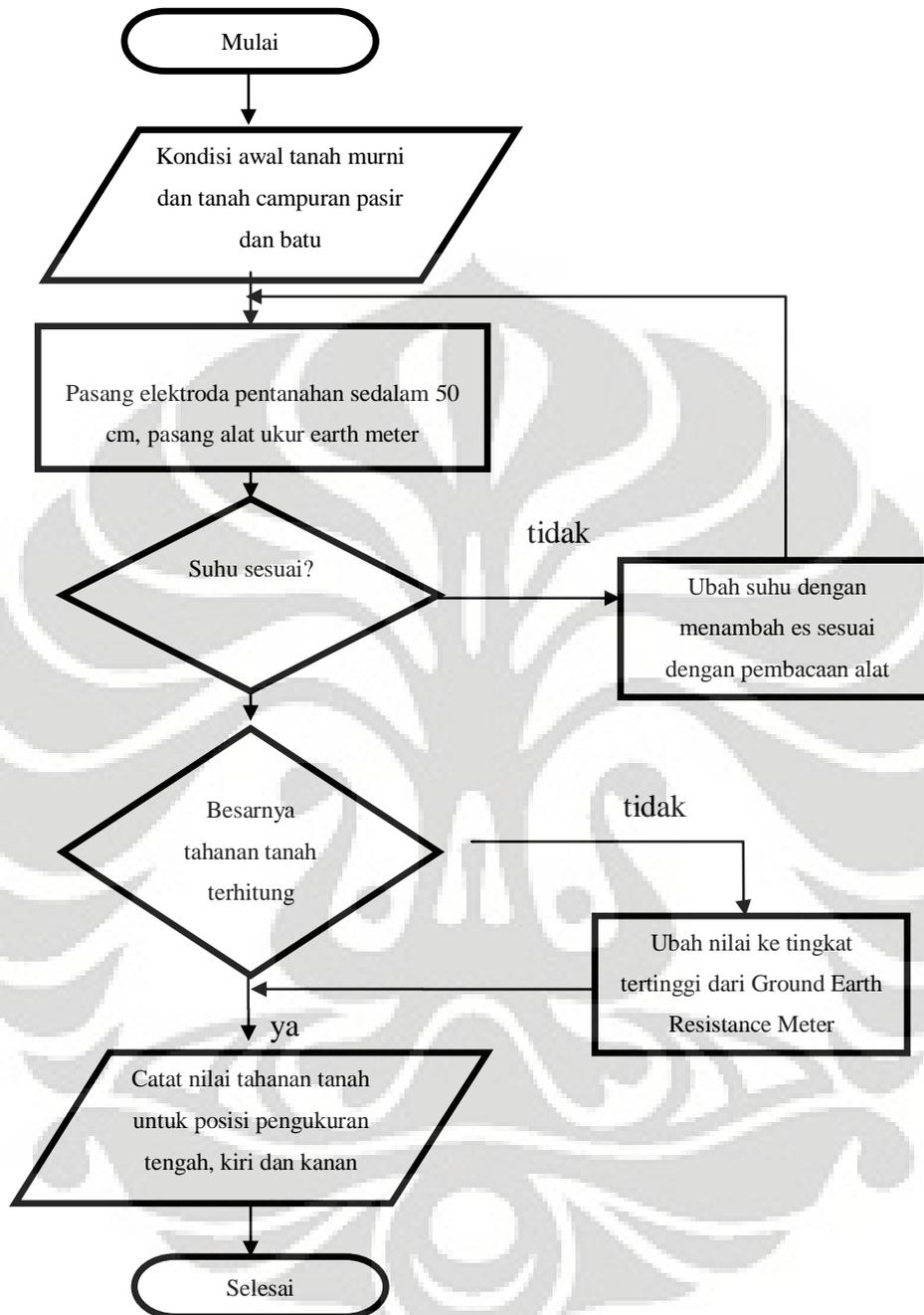
Nilai tahanan jenis tanah (ρ) sangat tergantung pada tahanan tanah (R) dan jarak antara elektroda-elektroda yang digunakan pada waktu pengukuran. Pengukuran perlu dilakukan pada beberapa tempat yang berbeda guna memperoleh nilai rata-ratanya. Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam secara praktis akan konstan.

3.2 OBJEK PENGUJIAN

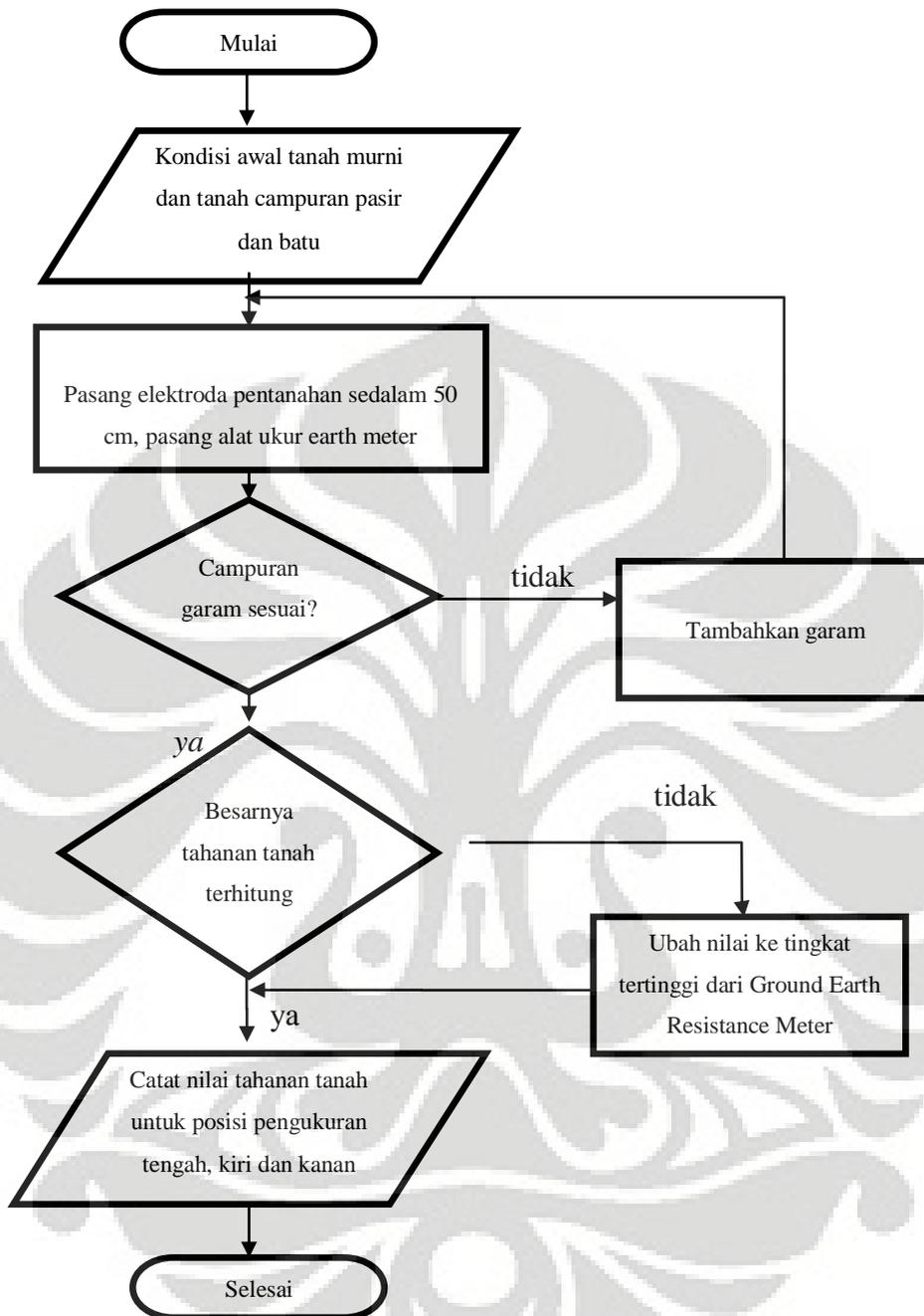
Pengujian pada tesis ini dilakukan pada sebidang tanah lempung dengan volume 1 m^3 , dan sebidang tanah dengan campuran pasir dan batu pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah. Dasar pengujian ini mengukur hambatan pada tanah murni dan campuran pasir dan batu dengan faktor kelembaban, suhu dan kadar garam. Untuk mengetahui langkah-langkah pengujian ini dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir pengujian pengaruh kelembaban terhadap tahanan tanah



Gambar 3.2 Diagram alir pengujian pengaruh temperatur terhadap tahanan tanah



Gambar 3.3 Diagram alir pengujian pengaruh kadar garam terhadap tahanan tanah

3.3 PERALATAN PENGUJIAN

Peralatan yang digunakan untuk pengujian tahanan tanah terhadap pengaruh kelembaban, temperatur dan kadar garam adalah sebagai berikut :

1. Metrohm E1610 Earth / ground tester, sebagai alat ukur tahanan tanah



Gambar 3.4 Ground Earth Resistance Meter

2. E.M System Soil Tester, sebagai alat ukur kelembaban tanah



Gambar 3.5 E.M System Soil Tester

3. APPA 51 Termometer, sebagai alat ukur suhu tanah



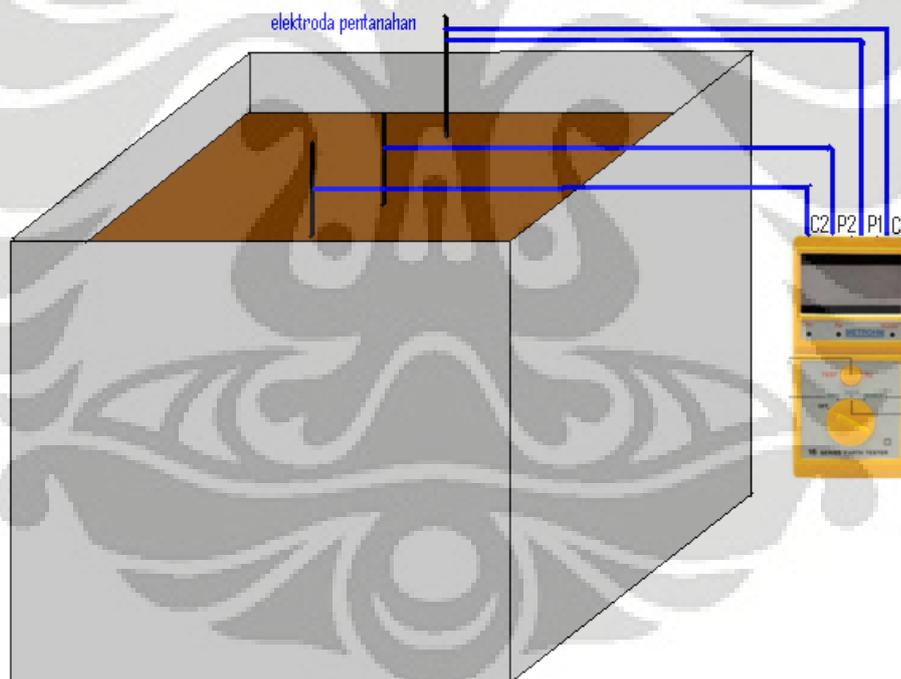
Gambar 3.6 Termometer

4. Meteran

5. Gelas ukur, sebagai alat ukur
6. Besi berdiameter 0,01 m sebagai elektroda pentanahan
7. Ruang untuk tanah dengan volume $2 \times 1 \text{ m}^3$
8. Tanah lempung sebanyak 2 m^3
9. Pasir dan batu sebanyak $0,2 \text{ m}^3$
10. Garam (NaCl) sebanyak 1 kg

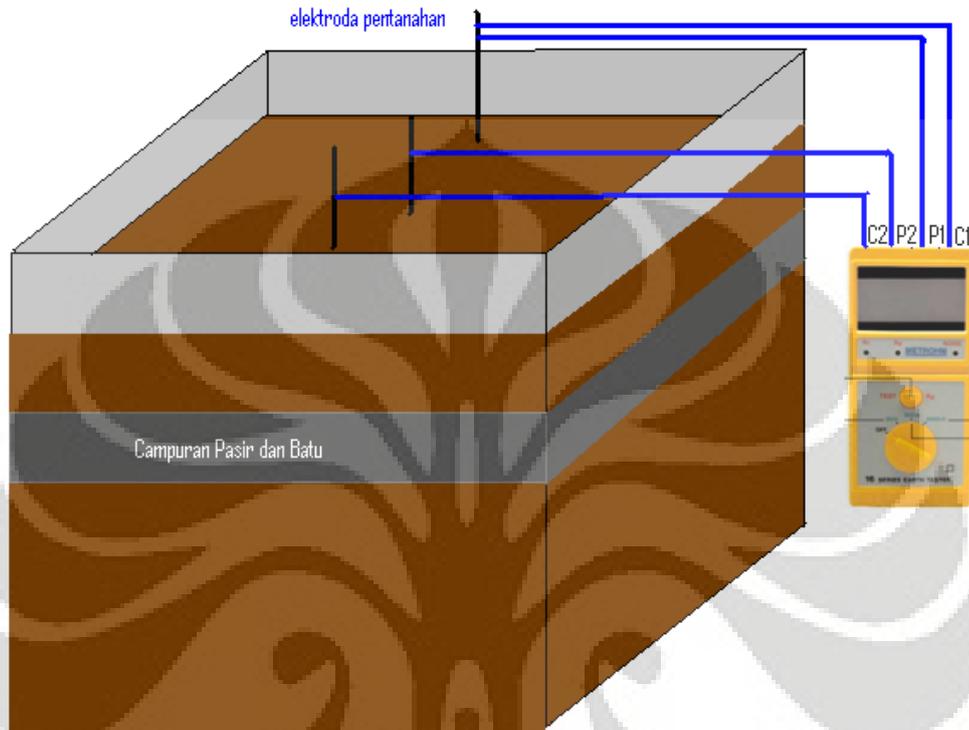
3.4 RANGKAIAN PENGUJIAN

Pengujian dilakukan pada kedua bak pengujian, dimana pada bak pertama berisi tanah murni yang dilakukan pengujian pada variasi kondisi kelembaban, suhu dan dengan campuran garam.



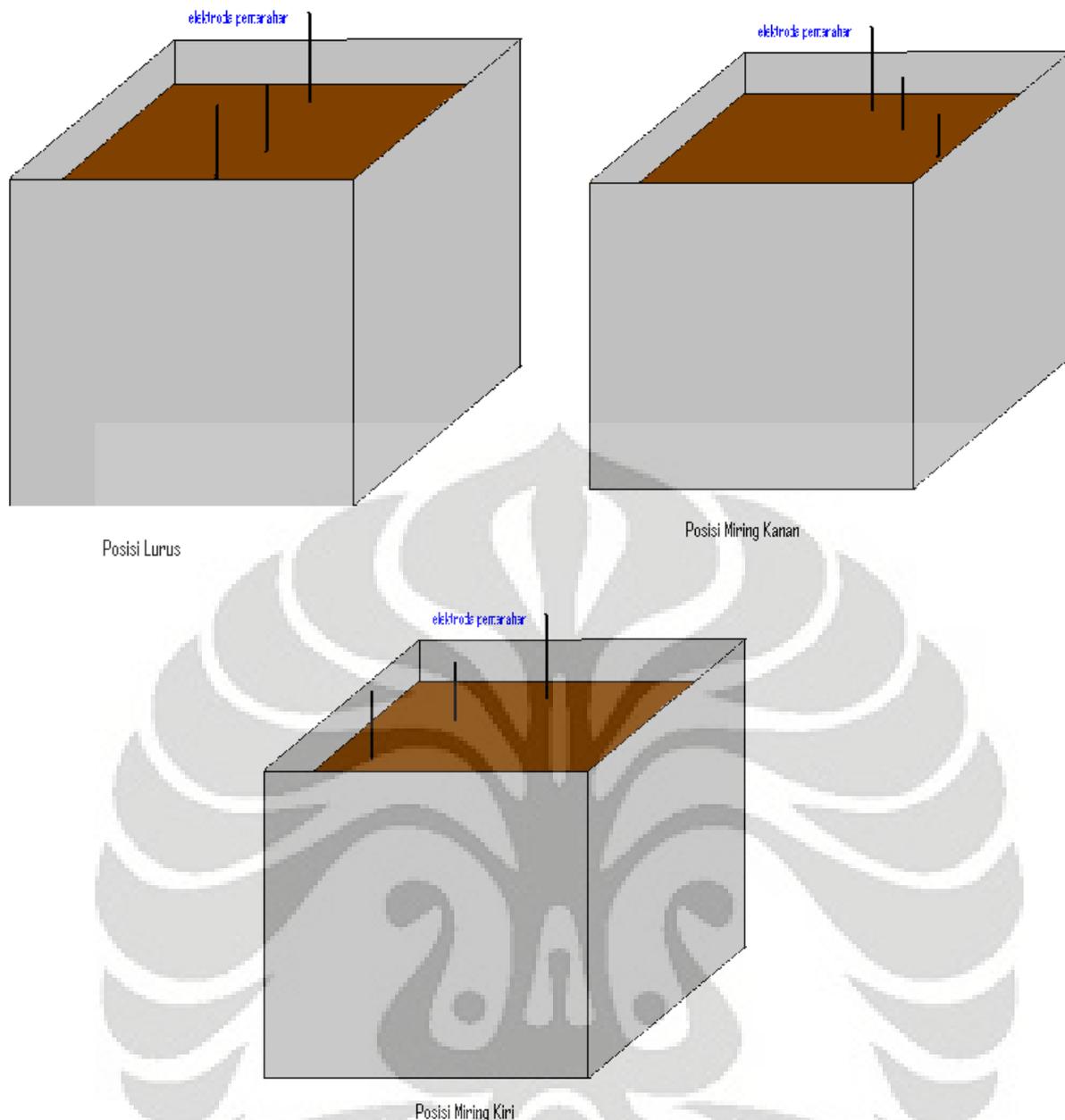
Gambar 3.7 Rangkaian Pengujian Tahanan Tanah Murni

Pada bak kedua terdapat penambahan campuran pasir dan batu kerikil yang diletakkan pada kedalaman ± 30 cm dari permukaan tanah kemudian ditutup lagi dengan tanah setebal ± 10 cm.



Gambar 3.8 Rangkaian Pengujian Tahanan Tanah campuran pasir dan batu

Untuk variasi pengujian maka dilakukan pengambilan sampel pada posisi mendatar, menyamping 45° kekiri dan kekanan, pengujian juga dilakukan dengan memindahkan posisi elektroda pengukuran sejauh 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm dan 35 cm dari elektroda pentanahan, sehingga diperoleh hasil pengujian yang rata pada setiap posisi tanah.



Gambar 3.9 Posisi Elektroda pengujian Lurus, Miring Kanan dan Miring Kiri

3.5 PENGUJIAN TAHANAN TANAH

Persiapan awal yang dilakukan terlebih dahulu sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan tempat dengan volume 1 m^3 untuk diisi dengan tanah murni sebanyak 1 m^3 .
2. Mempersiapkan tempat dengan volume 1 m^3 untuk diisi dengan tanah murni sebanyak $\pm 0,8 \text{ m}^3$ dan campuran pasir dan batu $\pm 0,2 \text{ m}^3$

3. Meletakkan tanah di dalam ruangan pengujian. Keadaan tanah dibiarkan dalam kelembaban dan temperatur normal yaitu 25% dan 26 °C.

3.5.1. Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Kelembaban

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur besarnya tahanan tanah akibat variasi kelembaban tanah dengan menggunakan air. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 3.7 dengan besarnya jarak awal elektroda pentanahan ke elektroda pengukuran sebesar 15 cm.
2. Membuat kelembaban tanah sesuai dengan yang diinginkan dengan memberikan air ke tanah, dengan menggunakan alat ukur kelembaban tanah E.M System Soil Tester.
3. Menghidupkan *Ground Resistance Meter* kemudian lihat nilai hambatan tanah yang telah terukur. Apabila tidak dapat terbaca nilai hambatan tanahnya maka putar pengubah skala ukur dari alat ini.
4. Ubah jarak ukur elektroda pengukuran menjadi 20, 25, 30, 35 cm.
5. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.
6. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.
7. Ulangi langkah no.2 hingga no.6 untuk kelembaban 50, 70, 90, dan 100 %.
8. Ulangi pengujian pada tanah campuran pasir dan batu

3.5.2. Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Suhu

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur besarnya tahanan tanah akibat variasi penurunan temperatur tanah, untuk membuat variasi temperatur tanah yang diinginkan digunakan beberapa liter air es. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 3.7 dengan besarnya jarak awal elektroda pentanahan ke elektroda pengukuran sebesar 15 cm.

2. Membuat temperatur tanah sesuai dengan yang diinginkan dengan memberikan air es ke tanah dan diukur dengan Termometer.
3. Menghidupkan *Ground Resistance Meter* kemudian lihat nilai hambatan tanah yang telah terukur. Apabila tidak dapat terbaca nilai hambatan tanahnya maka putar pengubah skala ukur dari alat ini.
4. Ubah jarak ukur elektroda pengukuran menjadi 20, 25, 30, 35 cm.
5. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.
6. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.
7. Ulangi langkah no.2 hingga no.6 untuk temperatur 23, 18, dan 13 °C.
8. Ulangi pengujian pada tanah campuran pasir dan batu.

3.5.3. Pengujian Tahanan Tanah Akibat Pengaruh Garam

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur besarnya tahanan tanah akibat variasi peningkatan kadar garam tanah, membuat variasi kadar garam sebidang tanah yang diinginkan kita gunakan beberapa gram garam (NaCl) yang dicampurkan ke dalam 2 liter air. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 3.7 dengan besarnya jarak awal elektroda pentanahan ke elektroda pengukuran sebesar 15 cm.
2. Memberi air garam dengan komposisi awal 2 liter air dengan 100 gram NaCl ke dalam tanah.
3. Menghidupkan *Ground Resistance Meter* kemudian lihat nilai hambatan tanah yang telah terukur. Apabila tidak dapat terbaca nilai hambatan tanahnya maka putar pengubah skala ukur dari alat ini.
4. Ubah jarak ukur elektroda pengukuran menjadi 20, 25, 30, 35 cm.
5. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.
6. Ubah keadaan elektroda pengukuran menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian ulangi langkah no.2 hingga no.4.

7. Ulangi langkah no.2 hingga no.6 untuk perubahan komposisi 2 liter air dengan 200, 300, 400 gram NaCl.
8. Ulangi pengujian pada tanah campuran pasir dan batu.



BAB IV

ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.1 HASIL PERHITUNGAN

Prinsip pengukuran tahanan pentanahan sama dengan cara pengukuran tahanan pada sistem elektronik yang lain. Metode ini menggunakan rumus dasar hambatan (R) yaitu tegangan (V) dibagi dengan arus (I). Dengan memberikan nilai tegangan konstan 0,2 Volt dari alat ukur dan arus berkisar dari 0,1 mA sampai dengan 10 mA maka akan diperoleh suatu nilai hambatan.

Hasil pengukuran hambatan akan di masukkan ke rumus dari persamaan (2.6) $\rho_a = \frac{2\pi LR}{\ln\left(\frac{8L}{d}\right)-1}$ maka akan diperoleh nilai hambatan jenis pentanahan pada sistem tanah murni dan campuran.

Dengan mengganti nilai kedalaman elektroda pentanahan L sesuai dengan pengujian yaitu sebesar 0,5m dan diameter elektroda pentanahan d sebesar 0,01m, dan nilai R diperoleh dari pengukuran, maka akan diperoleh persamaan

$$\rho_{tanah} = \frac{3,14 R}{4,991} \quad (4.1)$$

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai hambatan tanah seperti terlihat pada lampiran, dengan menggunakan persamaan (2.8) dan memberikan masing-masing nilai $n=1$, $a=0,05m$, $h=0,1m$, sedangkan ρ_a dan ρ_1 diperoleh dari pengujian maka diperoleh nilai K

$$K = \frac{\left(\frac{\rho_a}{\rho_1} - 1\right)}{32} \quad (4.2)$$

Dengan memperoleh nilai K maka dapat diperoleh nilai hambatan jenis tanah campuran pasir dan batu dengan menggunakan persamaan (2.7) sehingga menjadi persamaan

$$\rho_2 = \frac{-\rho_1(1 + K)}{K - 1} \quad (4.3)$$

4.1.1. Pengujian kelembaban pada tanah murni dan campuran

Berdasarkan hasil pengujian, menggunakan rumus (2.6) untuk kelembaban 25% diperoleh hasil nilai rata-rata hambatan tanah murni adalah sebesar 1179,87 ohm maka nilai hambatan jenisnya adalah sebesar 742,294 ohm-m, sedangkan pada tanah campuran sebesar 2000 ohm maka hambatan jenisnya sebesar 1258,264 ohm-m. Menggunakan persamaan (4.3) diperoleh nilai tahanan jenis tanah dan batu adalah 1840 ohm-m. Hasil pengujian dan perhitungan pada masing-masing kelembaban selengkapnya ditampilkan ada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap kelembaban

Kelembaban	ρ tanah murni (ohm-m)	ρ tanah campuran pasir dan batu (ohm-m)	ρ pasir-batu (ohm-m)
25%	742,294	1258,264	1840
50%	667,968	1137,679	1664
70%	597,507	1039,156	1514
90%	475,666	875,293	1264
100%	399,331	759,237	1091
Rata-rata	576,553	1013,925	1474

4.1.2. Pengujian suhu pada tanah murni dan campuran

Dari hasil pengujian pada suhu 26°C diperoleh nilai rata-rata hambatan adalah sebesar 513,667 ohm pada tanah murni dan 976,8 ohm pada tanah campuran. Dengan menggunakan rumus (2.6) diperoleh hasil ρ tanah murni adalah sebesar 323,164 ohm m dan tanah campuran sebesar 614,536 ohm m. Sedangkan dengan menggunakan rumus persamaan (4.3) akan diperoleh nilai tahanan jenis tanah dan batu sebesar 882.6718 ohm-m.

Data selengkapnya pada pengujian suhu terdapat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap suhu

Suhu (°C)	ρ tanah murni (ohm-m)	ρ tanah campuran (ohm-m)	ρ pasir-batu (ohm-m)
26	323,164	614,536	882.6718
23	216,086	569,7	779.702
18	136,152	519,495	709.5126
13	77,622	472,939	819.7422
Rata-rata	188,256	544,167	797.9071

4.1.3. Pengujian kadar garam pada tanah murni dan campuran

Pengujian dengan penambahan garam 100 gram pada persamaan (2.6) diperoleh nilai rata-rata hambatan adalah sebesar 81,744 ohm pada tanah murni dan 92,133 ohm pada tanah campuran. Hambatan jenis pada tanah murni adalah sebesar 51,425 ohm m dan tanah campuran sebesar 57,963 ohm m. Dengan menggunakan persamaan (4.3) maka diperoleh nilai tahanan jenis pasir dan batu adalah sebesar 141.9021 ohm-m. Hasil pengujian selengkapnya pada tabel 4.3

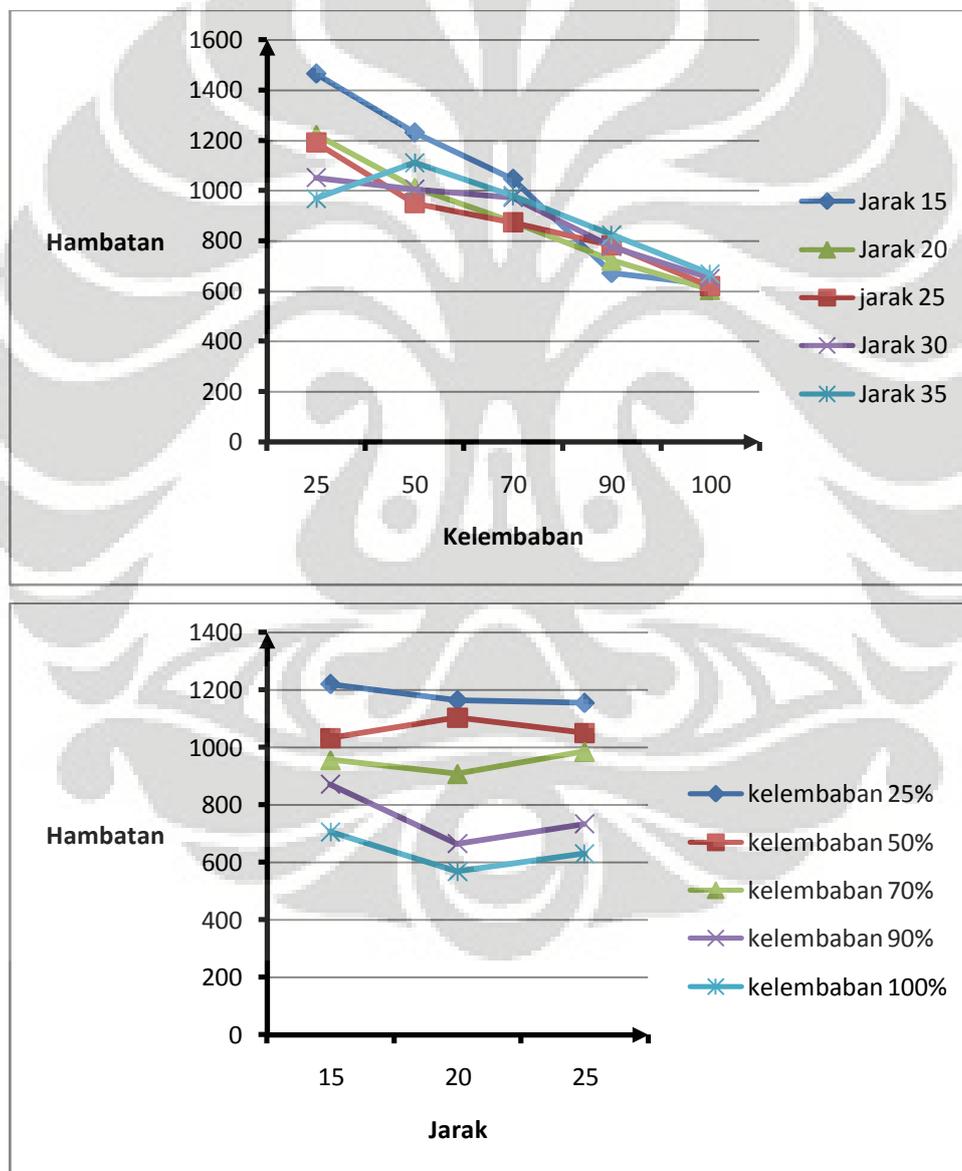
Tabel 4.3 Hasil perhitungan tahanan jenis pasir dan batu terhadap penambahan garam

Garam (gram)	ρ tanah murni (ohm-m)	ρ tanah campuran (ohm-m)	ρ pasir-batu (ohm-m)
100	51,425	57,963	141.9021
200	25,889	49,843	111.8184
300	13,949	44,5	85.68671
400	8,707	37,999	22.78305
Rata-rata	26,286	47,576	90.54757

4.2 ANALISA

4.2.1. Pengujian kelembaban pada tanah murni dan campuran

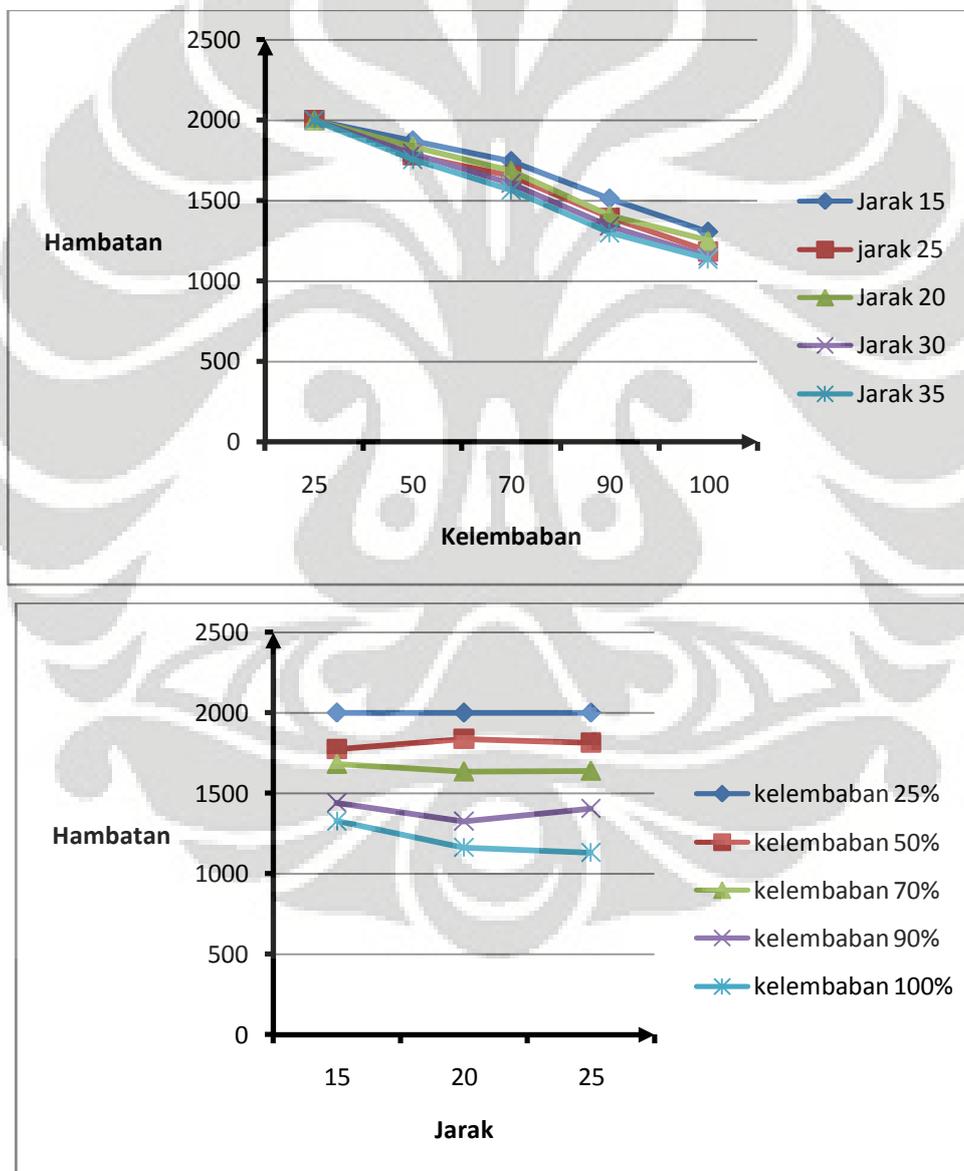
Pengujian pengaruh kelembaban terhadap hambatan pada tanah murni memberikan hasil bahwa semakin tinggi tingkat kelembaban tanah maka hambatan tanah akan menurun, sesuai dengan sifat air yang lebih rapat dibanding udara sehingga air akan mengisi kekosongan celah-celah udara pada tanah.



Gambar 4.1 Pengaruh kelembaban dan jarak terhadap hambatan pada tanah murni

Kurva penurunan hambatan tanah menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 46% yang hampir sama banyak pada setiap jarak, pada jarak 15 dan 35 cm terjadi perbedaan pengukuran tahanan tanah karena pada pengukuran 35cm terdapat penambahan air yang banyak mengisi celah pada tanah.

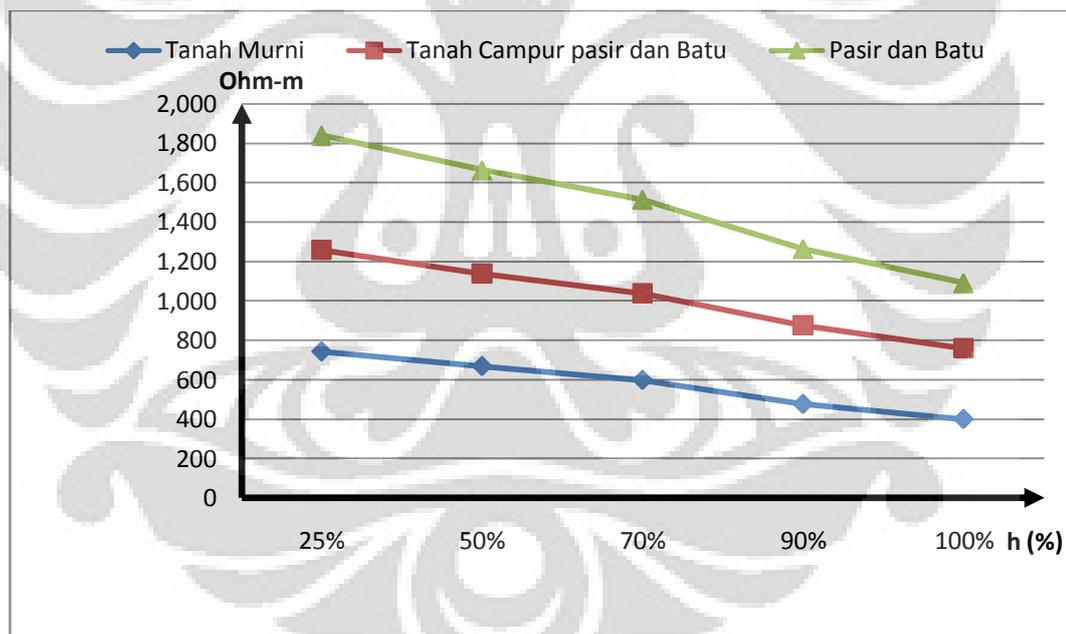
Pada pengujian di tanah bercampur pasir dan batu, memiliki grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dimana terjadi penurunan hambatan tanah dengan kelembaban yang meningkat. Penurunan rata-rata sebesar 39% diperoleh dengan meningkatkan kelembaban.



Gambar 4.2 Pengaruh kelembaban dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu

Pada saat kelembaban awal, pengukuran jarak 15 dan 35 cm mendapatkan hasil yang sangat besar, hal tersebut disebabkan oleh sifat pasir dan batu yang memiliki hambatan besar sehingga volume tanah antar elektroda sangat sedikit, sedangkan pada jarak 35 cm volume tanah menjadi besar. Sehingga terjadi penurunan hambatan yang besar

Pengujian pada tanah berpasir dan berbatu menunjukkan bahwa semakin tinggi kelembaban pada sistem pentanahan berpengaruh untuk menurunkan tahanan pentanahan pada sistem. Pada kelembaban tinggi, air akan mengisi pori-pori yang ada dalam tanah, seperti yang diketahui bahwa rapat sehingga tanah akan menjadi rapat dan hambatannya akan mengecil. Gambar 4.3 menunjukkan grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu



Gambar 4.3 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan kelembaban

Pada gambar 4.3 ini diperoleh nilai bahwa tahanan jenis rata-rata dari tanah campuran pasir dan batu dapat turun secara drastis akibat dari bertambahnya kelembaban tanah, nilai hambatan pada kelembaban 100% dapat mendekati tanah pada kelembaban 25%. Pada tanah campuran, pasir dan batu akan mengikat dan

menahan air cukup banyak hingga tanah tetap lembab. Sehingga untuk menurunkan nilai tahanan tanah pada tanah yang berpasir dan berbatu dapat digunakan cara membasahi tanah secara berkala, karena pasir dan batu yang basah dan lembab akan membantu menurunkan tahanan tanah cukup banyak.

Persamaan perkiraan tahanan tanah terhadap perubahan kelembaban tanah dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$y = f(x) \quad (4.4)$$

persamaan linear $y = ax + b \quad (4.5)$

Berdasarkan tabel dengan menggunakan program *Microsoft Office Excel 2007* diperoleh rumus perkiraan penambahan kelembaban yaitu

Untuk Tanah Murni : $y = -87.823x + 840.02 \quad (4.6)$

Untuk Tanah campuran pasir dan batu : $y = -126.04x + 1392.1 \quad (4.7)$

Untuk Pasir dan Batu : $y = -189.78x + 2043.6 \quad (4.8)$

Dimana y = hambatan jenis tanah (ohm-m)

x = kelembaban tanah (%)

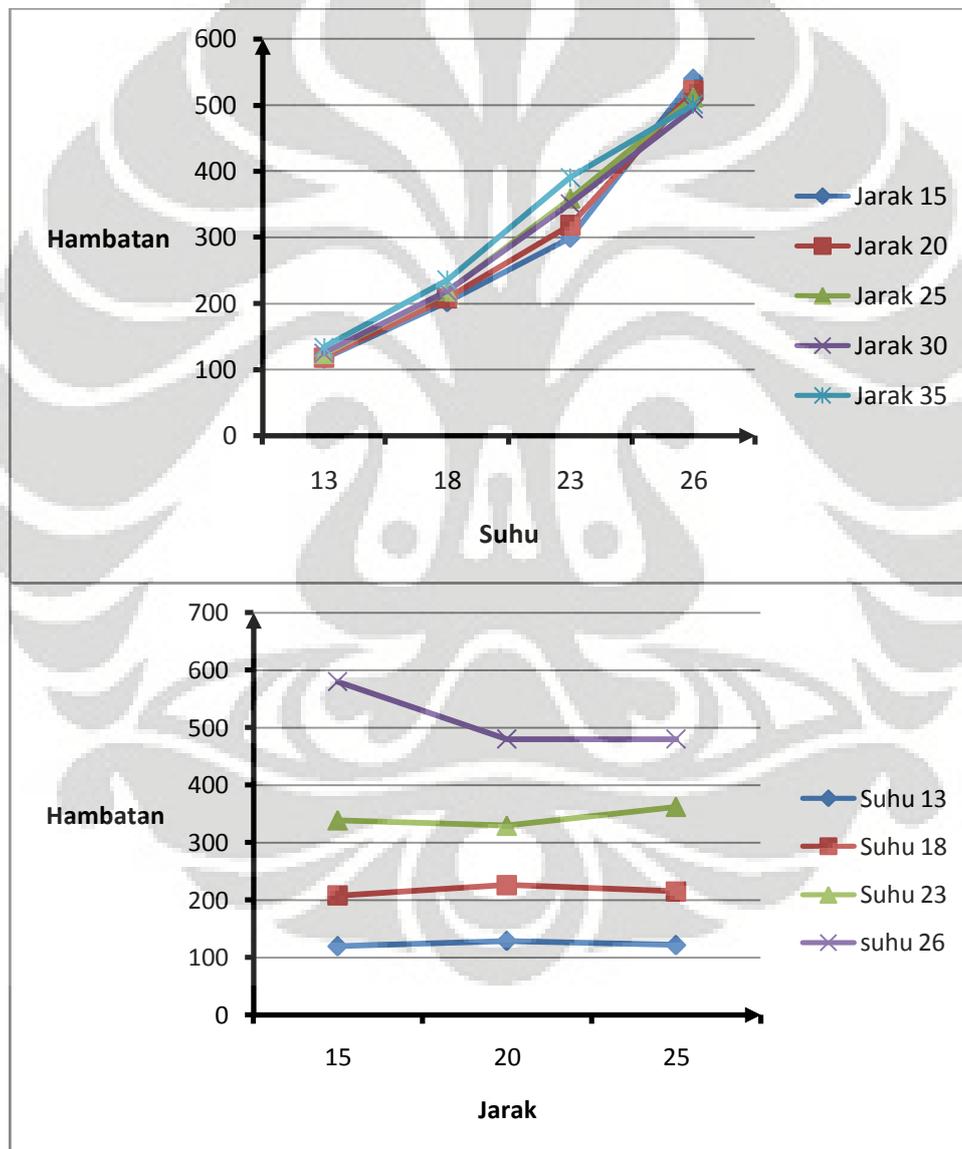
Dengan mempergunakan rumus tersebut dapat diperkirakan error dari pengukuran terhadap rumus kelembaban seperti dalam tabel berikut

Tabel 4.4 Hasil perhitungan error kelembaban

Kelembaban	Tanah Murni		Tanah campuran pasir dan batu		Pasir dan batu	
	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error
25%	742,294	4,66 %	1258,264	3,4 %	1840	6,8 %
50%	667,968	6,8 %	1137,679	12,4 %	1664	4,5 %
70%	597,507	11,7 %	1039,156	13,2 %	1514	6,7 %
90%	475,666	20,6 %	875,293	5,7 %	1264	8,6 %
100%	399,331	12,7 %	759,237	10,3 %	1091	14,6 %
Rata-rata		11,3 %		9 %		8,25%

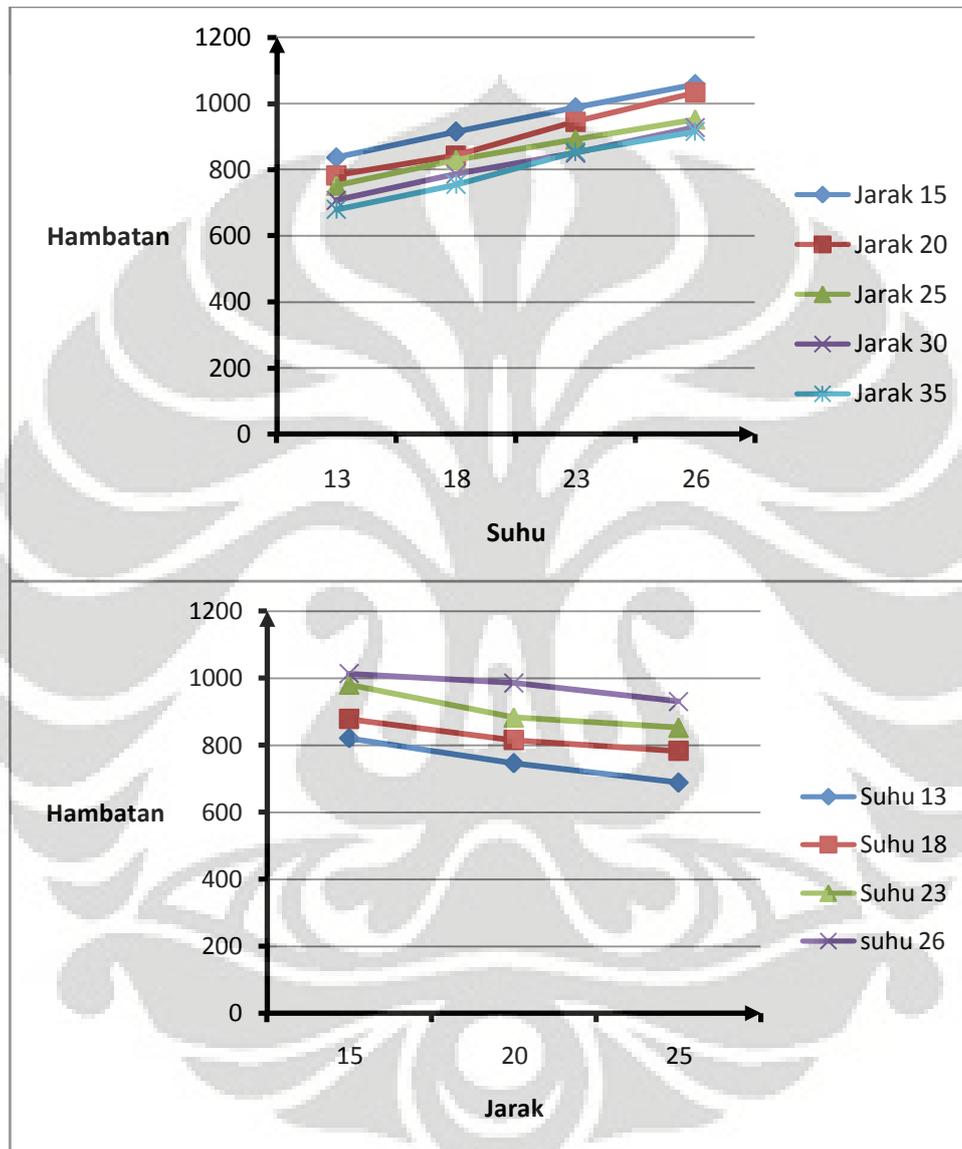
4.2.2. Pengujian suhu pada tanah murni dan campuran

Pengaruh penurunan suhu terhadap hambatan pada tanah murni pada dasarnya bahwa semakin rendah suhu tanah maka tahanan tanah akan naik, namun pada hasil pengujian hal tersebut berbeda dengan dimana terjadi penurunan tahanan tanah yang cukup besar pada saat terjadi penurunan suhu seperti terlihat pada gambar 4.4. penurunan tahanan tanah dengan penurunan suhu diperoleh sebesar rata-rata 75%.



Gambar 4.4 Pengaruh suhu dan jarak terhadap hambatan pada tanah murni

Pada kurva dapat dilihat bahwa pada suhu 26°C nilai hambatan sangat tinggi karena tanah masih kering dan belum diberikan campuran apapun, penurunan drastis terjadi pada suhu 13°C akibat dari penambahan air. Pada grafik perbandingan dengan jarak tidak terdapat perbedaan yang banyak antara jarak 15-35 cm.

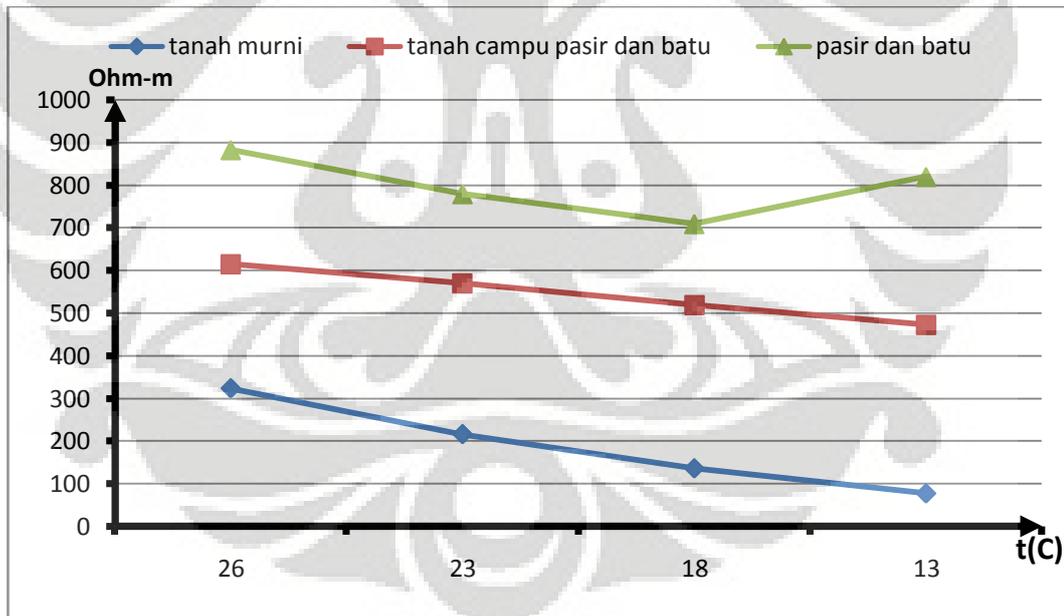


Gambar 4.5 Pengaruh suhu dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu

pada tanah campuran pasir dan batu, penurunan suhu tidak berpengaruh banyak terhadap penurunan hambatan. Penurunan tahanan rata-rata sebesar 23%, semua menunjukkan grafik yang tidak berbeda jauh. Penurunan tahanan tanah terjadi

sama dengan pengujian tanah murni karena proses pendinginan yang menggunakan air es sehingga kelembaban akan naik. Namun pada jarak yang semakin jauh terjadi penurunan hambatan tanah pada setiap suhu. Hal tersebut dikarenakan volume tanah yang bertambah banyak seiring dengan bertambahnya jarak, volume tanah elektroda pentanahan dengan elektroda pengukuran semakin banyak.

Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik perhitungan hambatan jenis pasir dan batu, berdasarkan perhitungan grafik pasir dan batu menunjukkan sesuai dengan teori yang seharusnya dimana suhu yang rendah pada sistem pentanahan akan menghasilkan tahanan tanah yang tinggi. Berbeda dengan tanah murni dan tanah campuran pasir dan batu, penurunan suhu terjadi namun pada saat yang sama air akan mengisi kekosongan pada tanah, sehingga kelembaban tanah akan meningkat drastis. Hal tersebut mengakibatkan nilai tahanan tanah akan menunjukkan penurunan



Gambar 4.6 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan suhu

Pada hasil perhitungan gambar 4.6 dapat dilihat penurunan suhu pada tanah murni berpengaruh sangat besar pada perubahan hambatan jenis tanah. Sedangkan pada tanah campuran tidak menimbulkan perubahan tahanan tanah yang

signifikan, perubahan penurunan tahanan jenis dapat disebabkan kelembaban yang meningkat.

Berdasarkan hasil pengujian dan berdasarkan grafik yang diperoleh dapat di rumuskan persamaan perkiraan tahanan tanah terhadap perubahan suhu dengan menggunakan program bantuan *Microsoft Office Excel 2007* sehingga diperoleh Untuk Tanah Murni, rumus yang paling mendekati hasil dan grafik adalah logaritma

$$y = -176.5\ln(x) + 328.46 \quad (4.9)$$

Sedangkan untuk Tanah Campur pasir dan batu pendekatan yang digunakan adalah linearisasi sehingga diperoleh

$$y = -47.5x + 662.92 \quad (4.10)$$

dan untuk Pasir dan batu menggunakan plynomial tingkat 2 sehingga rumus pendekatannya adalah

$$y = 53.3x^2 - 292.4x + 1129.2 \quad (4.11)$$

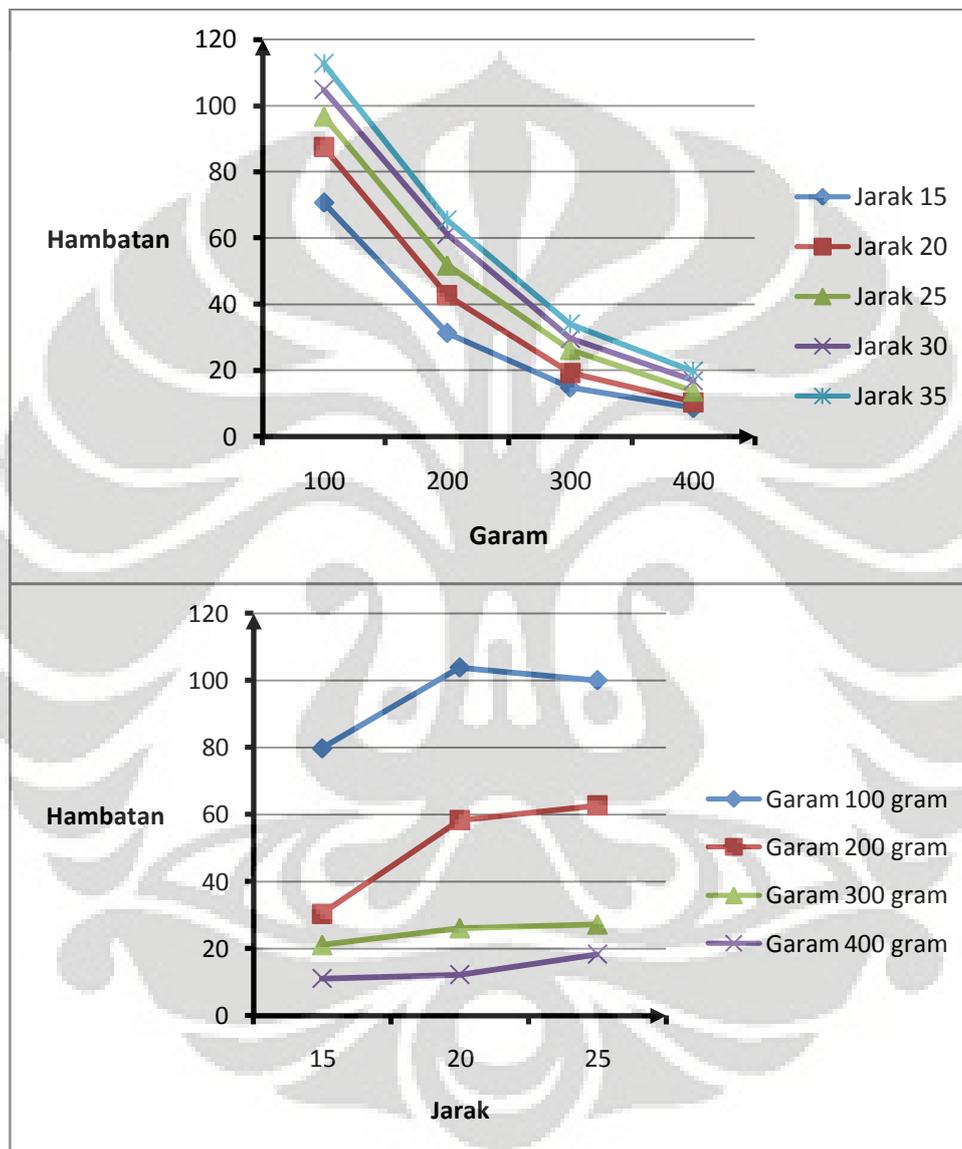
Dengan mempergunakan rumus tersebut dapat diperkirakan error dari pengukuran terhadap rumus kelembaban seperti dalam tabel berikut

Tabel 4.5 Hasil perhitungan error suhu temperatur

Suhu (°C)	Tanah Murni		Tanah campuran pasir dan batu		Pasir dan batu	
	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error
26	323,164	3,4 %	614,536	5,7 %	882.6718	5,4%
23	216,086	13,2 %	569,7	12,4 %	779.702	4,7 %
18	136,152	6,7 %	519,495	8,6 %	709.5126	8,8%
13	77,622	6,8 %	472,939	4,5 %	819.7422	9,7%
Rata-rata		7,5 %		7,8 %		7,15%

4.2.3. Pengujian kadar garam pada tanah murni dan campuran

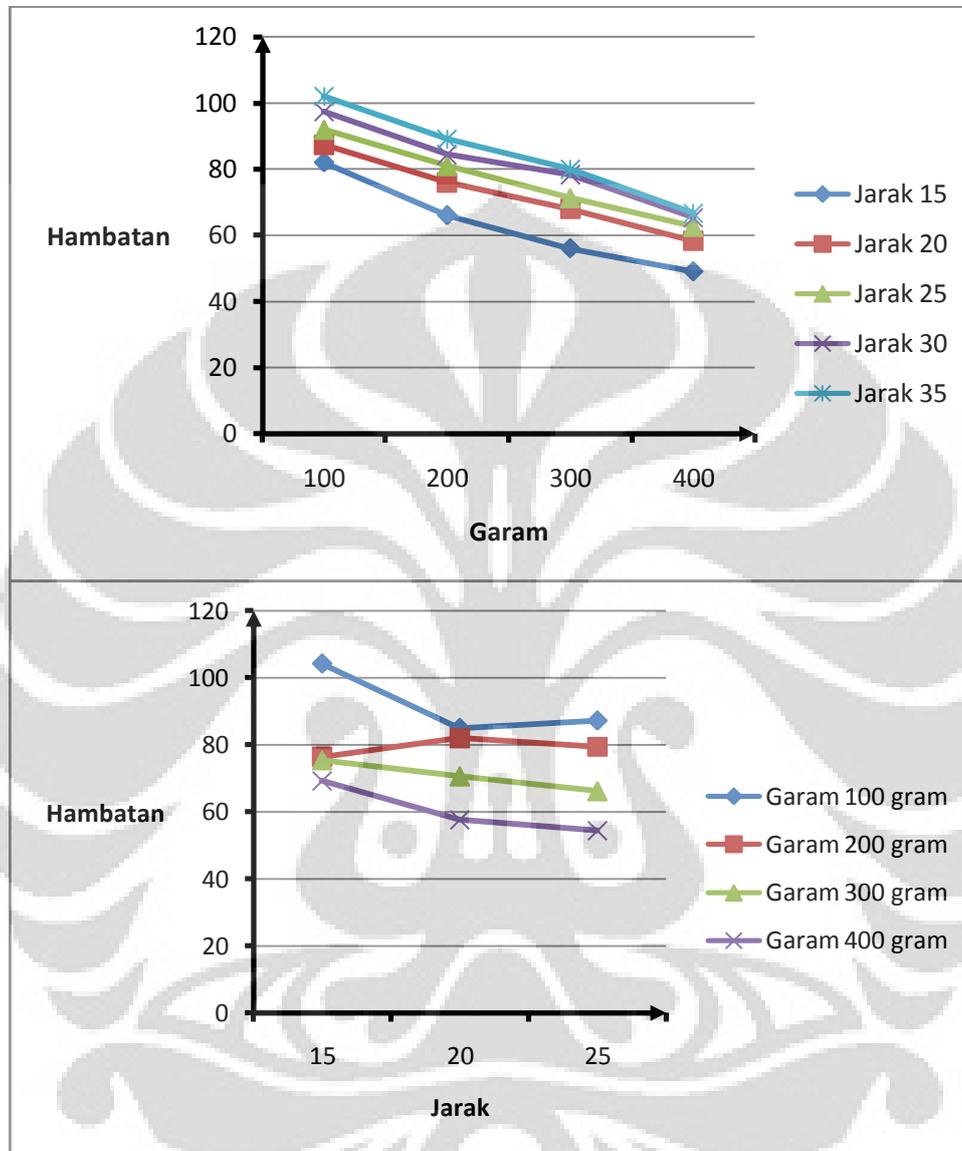
Pada pengujian ini diperoleh hasil penurunan tahanan tanah yang sangat banyak pada tanah murni. Hal ini karena sifat garam yang mengikat tanah sehingga komposisi tanah menjadi berubah dan lebih menjadi liat dan lengket dengan elektroda pentanahan.



Gambar 4.7 Pengaruh berat garam dan jarak terhadap hambatan pada tanah murni

Penurunan tahanan tanah terjadi sebesar rata-rata 48% dari nilai semula pada pertambahan berat garam 400 gram, namun pada penambahan jarak elektroda terjadi kenaikan tahanan tanah, hal ini disebabkan oleh sifat larutan garam yang

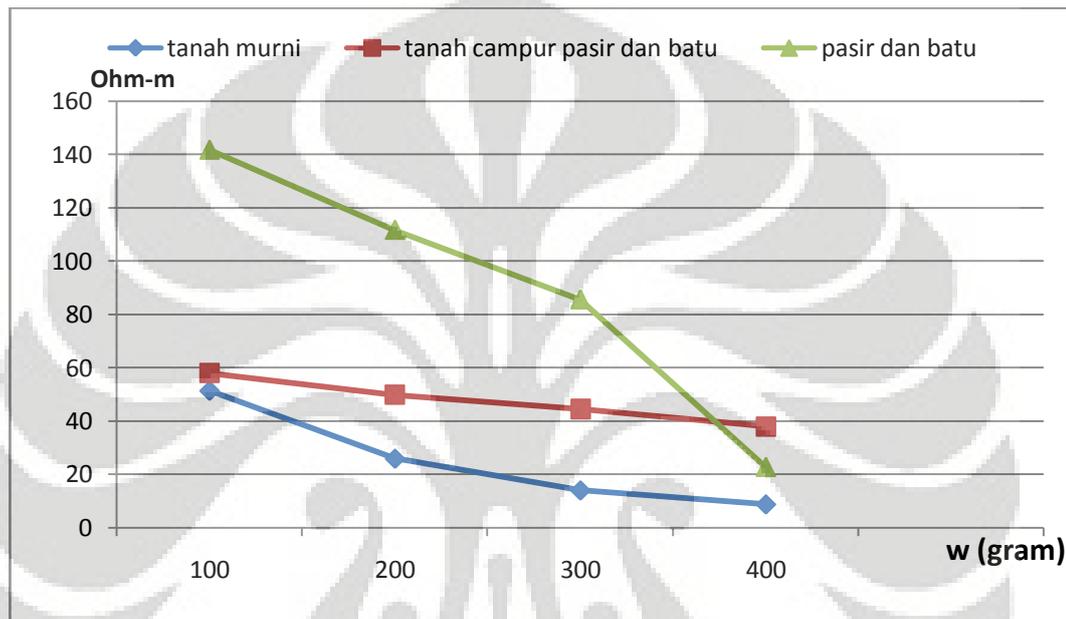
dapat menjadi butiran garam lagi sehingga sulit menembus pori-pori tanah, jadi larutan air saja yang meresap ke dalam pori-pori tanah sehingga efek penambahan garam kurang efektif.



Gambar 4.8 Pengaruh berat garam dan jarak terhadap hambatan pada tanah campuran pasir dan batu

Pada pengujian tanah campuran pasir dan batu, diperoleh nilai hambatan tanah yang menurun disetiap penambahan berat garam, namun penurunan nilainya hanya sebesar 17% dari nilai semula. Sedangkan pada penambahan jarak terjadi hal yang sama dengan pengujian tanah murni karena sifat larutan garam yang tidak meresap seluruhnya ke tanah.

Dari pengukuran kadar garam pada tanah murni diperoleh penurunan tahanan tanah yang signifikan, pada tanah campuran pasir dan batu juga diperoleh hasil yang dapat mendekati nilai pada tanah murni. Berdasarkan perhitungan, pada gambar (4.9) menunjukkan grafik perhitungan pasir dan batu, diperoleh bahwa nilai hambatan jenis pasir dan batu menurun drastis pada setiap penambahan berat garam. Penambahan garam berpengaruh drastis menurunkan tahanan jenis tanah baik pada tanah murni maupun pada tanah campuran pasir dan batu



Gambar 4.9 Grafik perhitungan tahanan jenis pasir dan batu berbanding dengan Penambahan berat garam

Berdasarkan perhitungan dan grafik, persamaan perkiraan tahanan tanah terhadap perubahan berat garam dapat dirumuskan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Office Excel 2007* didapatkan persamaan yang paling mendekati adalah persamaan polinomial tingkat 2

Untuk Tanah Murni diperoleh

$$y = 5.0735x^2 - 39.377x + 85.383 \quad (4.12)$$

Untuk Tanah campur pasir dan batu

$$y = 0.4048x^2 - 8.5473x + 65.909 \quad (4.13)$$

Untuk pasir dan batu

$$y = -8.205x^2 + 2.6762x + 145.39 \quad (4.14)$$

Dengan mempergunakan rumus tersebut dapat diperkirakan error dari pengukuran terhadap rumus kadar garam seperti dalam tabel berikut

Tabel 4.6 Hasil perhitungan error berat garam

Garam (gram)	Tanah Murni		Tanah campuran pasir dan batu		Pasir dan batu	
	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error	Pengukuran	Perhitungan error
100	51,425	5,7 %	57,963	12,4 %	141.9021	12,5 %
200	25,889	12,8 %	49,843	11,4 %	111.8184	13,7 %
300	13,949	13,9 %	44,5	13,5 %	85.68671	21,8 %
400	8,707	11,1 %	37,999	15,7 %	22.78305	27 %
Rata-rata		10,8 %		13,25 %		18,75%

BAB V

KESIMPULAN

1. Hambatan pentanahan berasal dari hambatan elektroda pentanahan dan komposisi tanah yang berada disekeliling elektroda pentanahan tersebut.
2. Nilai resistivitas suatu tanah dapat dirubah menjadi kecil atau besar bila tanah tersebut diperlakukan secara khusus. Perlakuan dengan menambahkan air atau garam dapat memperkecil nilai resistivitasnya. Besaran hambatan pentanahan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dan komposisi tanah pendukungnya, faktor kelembaban, suhu dan campuran bahan kimia yang terkandung didalam tanah tersebut.
3. Untuk mendapatkan nilai hambatan pentanahan sangat dipengaruhi oleh hambatan jenis tanah pada sistem pentanahan tersebut. Hambatan jenis tanah pada tanah campuran adalah merupakan gabungan dari hambatan jenis tanah lapisan atas dan hambatan jenis tanah lapisan dibawahnya.
4. Hambatan jenis tanah berpasir dan berbatu dapat mendekati hambatan jenis tanah murni pada kondisi tanah tersebut memiliki kelembaban yang tinggi.
5. Campuran pasir dan batu sebesar $0,2 \text{ m}^3$ pada tanah sebesar 1m^3 dapat mempengaruhi hambatan jenis tanah secara signifikan. Dengan menambahkan kelembaban, penurunan yang diperoleh sebesar 39% dengan suhu diperoleh rata-rata 23% dan penambahan berat garam hanya menurunkan sebesar 17%

DAFTAR ACUAN

- [1]. Wikipedia, “*soil profile*” diakses tanggal 18 juni 2008 dari wikipedia.org
http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_profile
- [2]. IEEE std 142-1991, “*IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1992) , hal.126
- [3]. IEEE std 80-1986, “*IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000) , hal.71
- [4]. Wikipedia, “*resistivity*” diakses tanggal 18 juni 2008 dari wikipedia.org
<http://en.wikipedia.org/wiki/Resistivity>
- [5]. Agus Supardi, Toni Irawan, “*Karakteristik hambatan jenis tanah pada gedung psikologi UMS*”, Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [6]. IEEE std 81-1983, “*IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000) , hal.20
- [7]. Elektro Indonesia, “*Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi* “ diakses tanggal 18 juni 2008 dari elektro indonesia, <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener24b.html>

DAFTAR PUSTAKA

- Carpenter, Jr., Roy B, Joseph A. Lanzoni , “*Designing For A Resistance Earth Interface (Grounding)*”, An LEC Publication, Revised 2007 .
- Carpenter Jr. Roy B., Mark M. Drabkin & Joseph A. Lanzoni, “*Better grounding*”, Lightning Eliminators & Consultants, Inc., USA, May 1997
- Elektro Indonesia, “*Elektroda Batang Mereduksi Nilai Tahanan Pentanahan* “ diakses tanggal 18 juni 2008 dari elektro indonesia, <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener15a.html>
- Elektro Indonesia, “*Peraturan Umum untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi* “ diakses tanggal 18 juni 2008 dari elektro indonesia, <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener24b.html>
- Elektro Indonesia, “*Penerapan Sistem Grid Tak Simetri pada Pentanahan Gardu Induk Bulukumba* “ diakses tanggal 18 juni 2008 dari elektro indonesia, <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener31.html>
- Furse. “*Earthing design considerations*”, diakses 12 juni 2008 dari <http://www.elp-eng.com/datas/products/Furse/Earthing/Introduction/Earthing%20design%20considerations.pdf>
- IEEE std 142-1991, “*IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1992)
- IEEE std 80-2000, “*IEEE guide for safety in AC substation grounding*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000) ,
- IEEE std 81-1983, “*IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000)
- IEEE std 80-1986, “*IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*”, (Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000) ,
- Morrison, Ralph, “*grounding and shielding techniques in instrumentation 2nd Ed*”, Jhon wiley and son, 1977
- Supardi, Agus, Toni Irawan, “*Karakteristik hambatan jenis tanah pada gedung psikologi UMS*” , Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Wikipedia, “*soil profile*” diakses tanggal 18 juni 2008 dari wikipedia.org http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_profile

LAMPIRAN

Data tahanan tanah murni terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	1512	1263	1192	1083	1052
50	1280	1005	953	909	1013
70	1172	953	838	920	896
90	818	822	915	845	954
100	692	683	714	697	743

Data tahanan tanah murni terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	1472	1185	1146	1076	942
50	1270	1086	944	1063	1155
70	919	822	883	950	965
90	649	613	726	660	675
100	638	535	539	564	563

Data tahanan tanah murni terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	1411	1220	1234	994	916
50	1143	947	950	1043	1165
70	1050	851	899	1048	1080
90	552	730	708	828	846
100	550	598	606	696	703

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	2000	2000	2000	2000	2000
50	1864	1831	1717	1760	1697
70	1763	1685	1653	1674	1633
90	1553	1421	1446	1408	1377
100	1432	1385	1306	1304	1212

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	2000	2000	2000	2000	2000
50	1873	1853	1838	1820	1806
70	1743	1688	1623	1576	1543
90	1443	1354	1332	1288	1212
100	1210	1176	1182	1139	1102

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

Kelembaban (%)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
25	2000	2000	2000	2000	2000
50	1882	1829	1792	1798	1765
70	1728	1688	1690	1568	1521
90	1541	1449	1406	1328	1311
100	1276	1196	1065	1021	1096

Data tahanan tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	622	563	583	562	571
23	314	327	350	348	355
18	200	200	212	210	218
13	118,7	110,9	122,6	119,5	126,5

Data tahanan tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	527	531	437	440	496
23	300	312	307	320	338
18	210	214	230	230	246
13	117,4	125,4	129	131,4	141,4

Data tahanan tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	469	472	514	482	466
23	284	315	418	386	408
18	196,2	209	213	216	242
13	113,3	117,7	119,3	124,6	133

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	1121	1049	975	956	967
23	998	963	978	986	978
18	906	912	889	887	798
13	911	878	776	767	772

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring ke kiri.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	1054	1063	977	938	898
23	989	953	889	804	781
18	941	812	803	767	756
13	812	767	782	703	667

Data tahanan tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring ke kanan.

Temperatur (°C)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
26	998	987	902	889	878
23	976	920	807	763	798
18	898	803	798	704	712
13	787	704	699	652	599

Data tahanan tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	51,9	69,1	82	93,8	101,7
300	13,2	17,97	31	36,6	53,4
600	13,75	14,09	18,65	26,3	32,8
1000	7,83	9,32	11,36	12,38	14,57

Data tahanan tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	82,9	98	106,1	110,9	120,9
300	38,2	53,1	61,3	69,9	69
600	14,6	18,47	29	33,1	35,2
1000	7,96	9,38	12,03	13,81	17,77

Data tahanan tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	77,2	95,3	102,3	109,7	115,4
300	42,6	56,8	63	76,9	73,9
600	16,16	25,1	31,1	29,7	33,9
1000	10,16	12,18	17,55	24,6	26,7

Data tahanan tanah tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	97	99	103	108	114
300	63	71	76	84	88
600	62	70	75	82	88
1000	58	67	72	73	76

Data tahanan tanah tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	77	80	84	88	96
300	69	82	84	84	91
600	55	70	71	77	80
1000	46	57	60	62	63

Data tahanan tanah tanah campuran pasir dan batu terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

Kadar Garam (gram)	Jarak Ukur Tahanan Tanah				
	15	20	25	30	35
100	72	83	89	96	96
300	66	75	83	85	88
600	51	64	68	76	72
1000	43	51	56	61	61