

**ANALISIS RESISTANSI TANAH BERDASARKAN
PENGARUH KELEMBABAN, TEMPERATUR, DAN
KADAR GARAM**

SKRIPSI

Oleh :

DENI RHAMDANI

04 04 03 027X



**DEPARTEMEN ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**ANALISIS RESISTANSI TANAH BERDASARKAN
PENGARUH KELEMBABAN, TEMPERATUR, DAN
KADAR GARAM**

SKRIPSI

Oleh :

DENI RHAMDANI

04 04 03 027X



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ANALISIS RESISTANSI TANAH BERDASARKAN PENGARUH KELEMBABAN, TEMPERATUR, DAN KADAR GARAM

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi 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, 11 Juli 2008

Deni Rhamdani

NPM 04 04 03 027X

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

ANALISIS RESISTANSI TANAH BERDASARKAN PENGARUH KELEMBABAN, TEMPERATUR, DAN KADAR GARAM

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal juni 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 11 Juli 2008

Dosen Pembimbing,

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

NIP 131 845 377

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, M.T

Selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, masukan, pengkoreksian, kritikan yang membangun, serta bimbingan selama masa proses pengujian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Deni Rhamdani
NPM 04 04 03 027X
Departemen Teknik Elektro

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

ANALISIS RESISTANSI TANAH BERDASARKAN PENGARUH KELEMBABAN, TEMPERATUR, DAN KADAR GARAM

ABSTRAK

Fenomena terjadinya petir merupakan hal yang alami dari sifat kelistrikan di bumi. Petir memiliki energi yang sangat besar hingga mencapai 5.10^{11} joule[1]. Sehingga sambaran petir yang mengenai sistem proteksi listrik dapat membuat tanah di sekitar lokasi menjadi konduktif. Oleh karena itu sebuah sistem instalasi proteksi petir haruslah memiliki tingkat keamanan yang tinggi sehingga tidak memberikan kerusakan besar terhadap bangunan atau peralatan yang dilindunginya dan lingkungan sekitar sambaran petir.

Tegangan langkah adalah kejadian yang dapat timbul di tanah jika ada petir yang menyambar ke bumi. Hal ini adalah efek kerja sistem proteksi petir terhadap objek yang dilindunginya. Besarnya tegangan langkah yang terjadi dapat berubah sesuai dengan besarnya resistansi tanah. Kompleksnya struktur tanah mengakibatkan banyaknya faktor yang mempengaruhi resistansi tanah. Dimana resistansi tanah tergantung pada nilai kelembaban, temperatur dan kadar garam tanah tersebut..

Pada skripsi ini, dibuat sistem pengujian resistansi tanah dengan menguji sebidang tanah lempung $1m^2$ dengan kedalaman 1 m. Pengujian ini melakukan proses perubahan kondisi tanah seperti perubahan kelembaban, temperatur dan kadar garam. Dimana perubahan kelembaban tanah menggunakan air, untuk temperatur menggunakan air es, dan untuk kadar garam menggunakan larutan air garam.

Hasil yang didapat dalam proses perhitungan nilai resistansi tanah adalah bahwasanya pengaruh kelembaban dan kadar garam terhadap resistansi tanah adalah berbanding terbalik secara eksponensial dimana setiap peningkatan kelembaban terjadi penurunan nilai resistansi tanah. Sedangkan untuk pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah adalah sebanding secara eksponensial dimana setiap penurunan temperatur terjadi penurunan nilai resistansi tanah. Nilai resistansi tanah tertinggi adalah 1512 ohm, nilai ini didapat saat kelembaban tanah mencapai 25% dengan jarak pengukuran sebesar 15 cm dan posisi pengukuran lurus. Dan nilai resistansi tanah terendah adalah 7,83 ohm, nilai ini didapat saat 1 kilogram NaCl dicampur dengan 2 liter air diberikan ke tanah dengan jarak pengukuran sebesar 15 cm dan posisi pengukuran lurus.

Kata kunci: Petir, Resistansi tanah, Kelembaban, Temperatur, Kadar garam

Deni Rhamdani
NPM 04 04 03 027X
Departemen Teknik Elektro

Counsellor
Dr. Ir. Iwa Garniwa MK MT,

ANALYSIS OF SOIL RESISTANCE BASED ON EFFECT OF HUMIDITY, TEMPERATURE, AND SALINITY

ABSTRACT

Lightning phenomena is an electrical process that always happen in earth. It has a huge energy about 5.10^{11} joule[1]. If lightning strikes lightning protection system, soil around that location will be conductive. Because of that reason, the lightning protection system must have a high security in order to prevent massive damage to buildings or equipments and the environment that protected by the system.

Step voltage is event that occured in earth whenever there is lightning that strike to the earth. This is an effect of lightning protection system process to protect the object. The step voltage value that occured because the lighting strike depends on the amount of soil resistance. The complexity of soil structure cause a lot of factor that can have effect to resistance of the soil. Such as humidity, temperature, and salinity level of the soil.

In this research, soil resistance testing done in 1 meter square box filled with clay. The tests that applied in the clay such as the humidity change test, temperature change test, and salinity change test. Humidity change test using water, for temperature test using ice, and for salinity test using salty water.

The results achieved in calculated process of soil resistance has showed that effect of humidity and salinity toward of soil resistance exponentially opposite each other. Where each increasing in humidity will result in decreasing of soil resistance. Meanwhile the temperature exponentially equal with the soil resistance, where every temperature decrease will result in the soil resistance decrease and vice versa. The highest soil resistance in the test is 1512 ohm, this value appeared when humidity level is 25 % for 15 cm measurement distance. And the lowest soil resistance in the test is 7,83 ohm, this value appeared when 1kgs salt solved in 2 litres of water give to the soil for 15 cm measurement distance.

Keywords : Lightning, Soil resistance, Humidity, Temperature, Salinity

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iii |
| PENGESAHAN | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH | v |
| ABSTRAK | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2. TUJUAN | 1 |
| 1.3. PEMBatasan MASALAH | 2 |
| 1.4. SISTEMATIKA PENULISAN | 2 |
| BAB II PERAN SISTEM PENTANAHAN TERHADAP SISTEM PROTEKSI PETIR | 4 |
| 2.1. PETIR | 4 |
| 2.2. SISTEM PENTANAHAN | 4 |
| 2.3. SISTEM PROTEKSI PETIR | 8 |
| 2.1.1. Sistem Proteksi Petir Eksternal | 9 |
| 2.2.1.1. <i>Metode Franklin Rod [2], [5]</i> | 9 |
| 2.2.1.2. <i>Metode Sangkar Faraday [5]</i> | 10 |
| 2.2.1.3. <i>Metode Radioaktif (Early Streamer Emission Enhanced Ionizing Air Terminal) [5]</i> | 10 |
| 2.1.2. Sistem Proteksi Petir Internal [2] | 11 |
| 2.2.2.1. <i>Bonding (one point earthing system)</i> | 12 |
| 2.2.2.2. <i>Divais Pengaman (SPD)</i> | 12 |
| 2.2.2.3. <i>Shielding</i> | 12 |
| 2.2.2.4. <i>Jarak Aman</i> | 13 |
| 2.4. EFEK KERJA SISTEM PROTEKSI PETIR TERHADAP OBJEK YANG DILINDUNGI [2] | 13 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.4.1. | Beban Tegangan Lebih | 13 |
| 2.4.2. | Beban Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh | 15 |
| BAB III TANAH | | 19 |
| 3.1. | SIFAT ALAMIAH TANAH [4] | 19 |
| 3.2. | PROSES PEMBENTUKAN TANAH [8] | 20 |
| 3.3. | TEMPERATUR TANAH | 20 |
| 3.3.1. | Keseimbangan Panas Tanah | 20 |
| 3.3.2. | Kapasitas Panas dan Konduktivitas Panas | 21 |
| 3.3.3. | Fluktuasi Temperatur Tanah | 21 |
| 3.4. | KELEMBABAN TANAH | 22 |
| 3.5. | LARUTAN TANAH [7] | 22 |
| 3.6. | PROSES PERHITUNGAN RESISTANSI TANAH | 23 |
| BAB IV METODOLOGI PENGUJIAN | | 25 |
| 4.1. | OBJEK PENGUJIAN | 25 |
| 4.2. | PERALATAN dan RANGKAIAN PENGUJIAN | 28 |
| 4.2.1. | Peralatan Pengujian | 28 |
| 4.2.2. | Rangkaian Pengujian | 29 |
| 4.3. | PENGUJIAN PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP RESISTANSI TANAH | 31 |
| 4.3.1. | Persiapan Awal Pengujian | 32 |
| 4.3.2. | Proses Pengujian | 32 |
| 4.4. | PENGUJIAN PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESISTANSI TANAH | 33 |
| 4.4.1. | Persiapan Awal Pengujian | 33 |
| 4.4.2. | Proses Pengujian | 33 |
| 4.5. | PENGUJIAN PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP RESISTANSI TANAH | 34 |
| 4.5.1. | Persiapan Awal Pengujian | 34 |
| 4.5.2. | Proses Pengujian | 34 |
| BAB V HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS | | 36 |
| 5.1. | KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH KELEMBABAN | 36 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1.1. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus | 36 |
| 5.1.2. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri | 38 |
| 5.1.3. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan | 39 |
| 5.2. | KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH TEMPERATUR | 41 |
| 5.2.1. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus | 41 |
| 5.2.2. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri | 43 |
| 5.2.3. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan | 45 |
| 5.3. | KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH KADAR GARAM | 46 |
| 5.3.1. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus | 47 |
| 5.3.2. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri | 49 |
| 5.3.3. | Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan | 50 |
| | BAB VI KESIMPULAN | 53 |
| | DAFTAR ACUAN | 54 |
| | LAMPIRAN | 55 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Konstruksi TRIAX <i>down conductor</i> [5] | 11 |
| Gambar 2.2 (a). Induksi terhadap sekitarnya (b). Induksi terhadap penghantar yang sejajar dengannya (c). Induksi terhadap penghantar sejajar yang berbentuk loop. | 14 |
| Gambar 2.3 Fenomena tegangan langkah dan tegangan sentuh | 16 |
| Gambar 2.4 Ilustrasi tegangan langkah dan tegangan sentuh | 16 |
| Gambar 2.5 Analisa secara kelistrikan mengenai fenomena tegangan langkah (Vs) dan tegangan sentuh (Vt) | 17 |
| Gambar 3.1 Penampang vertikal horison tanah | 19 |
| Gambar 3.2 Pola rambat arus listrik di tanah | 23 |
| Gambar 4.1 Diagram alir pengujian pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah | 25 |
| tidak | 26 |
| ya | 26 |
| Gambar 4.2 Diagram alir pengujian pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah | 26 |
| Gambar 4.3 Diagram alir pengujian pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah | 27 |
| Gambar 4.4 Ground Earth Resistance Meter | 28 |
| Gambar 4.5 E.M System Soil Tester | 28 |
| Gambar 4.6 Termometer | 28 |
| Gambar 4.7 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kelembaban | 29 |
| Gambar 4.8 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Temperatur | 30 |
| Gambar 4.9 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kadar Garam | 31 |
| Gambar 5.1. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah | 36 |
| Gambar 5.2. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 37 |
| Gambar 5.3. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah | 38 |
| Gambar 5.4. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 39 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.5. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah | 40 |
| Gambar 5.6. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 40 |
| Gambar 5.7. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah | 41 |
| Gambar 5.8. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 43 |
| Gambar 5.9. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah | 43 |
| Gambar 5.10. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 44 |
| Gambar 5.11. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah | 45 |
| Gambar 5.12. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 46 |
| Gambar 5.13. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah | 47 |
| Gambar 5.14. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 48 |
| Gambar 5.15. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah | 49 |
| Gambar 5.16. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 50 |
| Gambar 5.17. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah | 51 |
| Gambar 5.18. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah | 52 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Tahanan spesifik tanah berdasarkan jenis tanah [2] | 5 |
| Tabel 2.2 Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah [2] | 7 |
| Tabel 2.3 Pengaruh air terhadap tahanan jenis tanah [2] | 7 |
| Tabel 5.1 Persamaan pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah | 42 |
| Tabel 5.2 Persamaan pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah | 48 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus. | 55 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri. | 55 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan. | 55 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus. | 56 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri. | 56 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan. | 56 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus. | 57 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri. | 57 |
| Data resistansi tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan. | 57 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Fenomena terjadinya petir merupakan hal yang alami dari sifat kelistrikan di bumi. Petir merupakan proses perpindahan muatan yang dapat terjadi antara awan dengan bumi, awan dengan udara, atau antar awan itu sendiri. Petir memiliki energi yang sangat besar hingga mencapai $5 \cdot 10^{11}$ joule[1]. Sehingga sambaran petir yang mengenai sistem proteksi listrik dapat membuat tanah di sekitar lokasi menjadi konduktif. Oleh karena itu sebuah sistem instalasi proteksi petir haruslah memiliki tingkat keamanan yang tinggi sehingga tidak memberikan kerusakan besar terhadap bangunan atau peralatan yang dilindunginya dan lingkungan sekitar sambaran petir.

Sistem instalasi proteksi petir terdiri dari instalasi proteksi petir dan tahanan tanah. Media utama penyaluran arus petir dalam sistem proteksi petir adalah tanah. Dimana tanah memiliki potensial bernilai nol. Dan tanahpun adalah tempat yang paling aman untuk membuang arus petir tersebut.

Tegangan langkah adalah kejadian yang dapat timbul di tanah jika ada petir yang menyambar ke bumi. Hal ini adalah efek kerja sistem proteksi petir terhadap objek yang dilindunginya. Besarnya tegangan langkah yang terjadi dapat berubah sesuai dengan besarnya resistansi tanah. Kompleksnya struktur tanah mengakibatkan banyaknya faktor yang mempengaruhi resistansi tanah. Dimana resistansi tanah tergantung pada nilai kelembaban, temperatur dan kadar garam tanah tersebut. Pola distribusi resistansi tanah diamati sebagai cara untuk mengetahui pola distribusi tegangan di tanah ketika sistem proteksi petir teraliri arus petir.

1.2. TUJUAN

1. Meneliti lebih lanjut tentang tanah khususnya besar hambatan tanah.
2. Memperkirakan distribusi hambatan di tanah jika kelembaban, temperatur, dan kadar garam mengalami perubahan dari keadaan normalnya.

1.3. PEMBATASAN MASALAH

Batasan masalah pada skripsi ini, yaitu menganalisis pengaruh kelembaban, temperatur, dan kadar garam terhadap pola distribusi hambatan tanah. Selain itu kurva karakteristik hambatan tanah yang terpengaruh oleh kelembaban, temperatur dan kadar garam akan dapat ditampilkan. Sampel pengujian yang dipakai adalah tanah lempung seluas 1m^2 yang akan diberi tambahan air untuk peningkatan kelembaban, air es untuk penurunan temperatur, dan tambahan garam untuk peningkatan kadar garamnya.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini terdiri dari 6 bab dimana sistematika penulisan yang diterapkan dalam skripsi ini menggunakan urutan sebagai berikut :

Bab Pertama berisikan latar belakang pemilihan tema, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab Kedua berisikan teori dasar terjadinya petir dan juga sistem instalasi proteksi petir serta efek kerja sistem proteksi petir terhadap objek yang dilindunginya.

Bab Ketiga berisikan teori dasar tanah seperti sifat alamiah tanah, proses pembentukan tanah secara fisika, kimiawi, akibat pergeseran, dan pembentukan lempung. Dibahas pula kelembaban, temperatur dan kimia tanah. Selain itu proses pengambilan data dari alat ukur resistansi tanah juga dibahas.

Bab Keempat memaparkan pengujian hubungan hambatan tanah dengan distribusi tegangan tanah. Selain itu mengubah kelembaban tanah untuk melihat hubungan antara hambatan tanah dengan distribusi tegangan tanah tersebut. Kemudian mengubah temperatur tanah untuk melihat hubungan antara hambatan tanah dengan distribusi tegangan tanah tersebut serta mengubah kadar garam tanah untuk melihat hubungan antara hambatan tanah dengan distribusi tegangan tanah.

Bab Kelima memaparkan analisis dan pengolahan dari data yang didapat saat pengujian.

Bab Keenam berisikan kesimpulan dari semua pembahasan bab-bab sebelumnya.



BAB II

PERAN SISTEM PENTANAHAN TERHADAP SISTEM PROTEKSI PETIR

2.1. PETIR

Petir adalah merupakan peristiwa alamiah yang berupa pelepasan muatan antara awan yang satu dengan awan yang lain, antara pusat muatan pada awan yang sama atau antara awan dengan bumi. Terjadinya petir merupakan hasil dari proses pemuatan listrik partikel-partikel awan dan pemisahan muatan listrik di awan.

Beberapa teori yang telah ada untuk menerangkan terjadinya potensial yang diperlukan agar terjadinya petir. Tidak satupun teori yang disetujui oleh para ahli. Hal ini disebabkan kompleksnya persoalan, ketidaklengkapan data tentang muatan dan distribusi medan listrik pada awan, sulitnya menentukan faktor yang paling dominan dalam pembentukan muatan listrik di awan, penafsiran yang berbeda atas hasil pengamatan di bumi dan lain sebagainya.

Secara garis besar dapat dinyatakan bahwa terjadinya petir merupakan hasil dari proses pada atmosfer sehingga muatan terkumpul pada awan. Muatan pada awan ini menginduksikan muatan lain di bumi, dan petir terjadi jika potensial antara bumi dengan awan lebih besar dari tegangan tembus kritis udara.

2.2. SISTEM PENTANAHAN

Sistem pentanahan adalah sistem yang sengaja dibuat untuk menghubungkan bagian peralatan yang diamankan dengan penghantar netral yang ditanahkan (hantaran nol), untuk mencegah bertahannya tegangan sentuh yang terlalu tinggi [2]. Pentanahan sistem eksternal selain menyalurkan arus petir bersama penghantar penyalur, juga berfungsi untuk mendistribusikan arus petir tersebut ke dalam tanah hingga kondisi netral. Nilai tahanan pentanahan sistem eksternal sangat tergantung dengan tahanan tanah di area gedung berdiri. Sistem pentanahan biasanya terdapat komponen elektroda pentanahan untuk mencapai lapisan tanah yang besar tahanannya sekecil mungkin.

Tujuan sistem-sistem tenaga listrik diketanahkan adalah mengurangi bahaya shock pada manusia dan hewan serta memberikan suatu jalan ke tanah untuk arus-arus gangguan, seperti arus-arus yang diinduksikan pada sistem oleh sambaran petir. Dengan demikian sangatlah penting mengetahui bahwa hubungan-hubungan ke tanah mempunyai resistansi yang rendah.

Idealnya, tahanan sistem pentanahan harus 0 ohm untuk mengurangi setiap tegangan atau gradien tegangan yang disebabkan arus-arus kesalahan menjadi nol. Tetapi ini tidak mungkin, karena keadaan demikian memerlukan nilai konduktivitas tanah yang besarnya tak terbatas. *National Electrical Code* mencantumkan bahwa tahanan sistem pentanahan harus tidak melebihi 25 ohm. Ini merupakan batas atas dan petunjuk bahwa semakin kecil tahanannya adalah baik dalam setiap hal.

Tahanan tanah memegang peranan yang besar dalam perencanaan pentanahan yang baik. Besarnya tahanan pentanahan sangat bergantung pada besar tahanan spesifik tanah tempat elektroda pentanahan itu ditanam. Tahanan spesifik tanah merupakan representasi dari sifat material tanah, faktor kadar air, temperatur dan kelembaban tanah. Besaran-besaran ini mempengaruhi tahanan sistem pentanahan secara langsung. Bila nilai ini terlalu kecil untuk melewatkan arus-arus gangguan yang amat besar, maka susunan logam dari perumahan atau bagian-bagian yang dihubungkan ke tanah akan berbahaya untuk disentuh dan akan ada gradien tegangan yang berbahaya pada permukaannya.

Tabel 2.1 Tahanan spesifik tanah berdasarkan jenis tanah [2]

| Jenis Tanah | Tahanan Tanah (Ω m) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Sawah, Rawa (Tanah Liat) | 0 – 150 |
| Tanah Garapan (Tanah Liat) | 10 – 200 |
| Sawah, Tanah Garapan (Kerikil) | 100 – 1000 |
| Pegunungan (Biasa) | 200 – 2000 |
| Pegunungan (Batu) | 2000 – 5000 |
| Pinggir Sungai (Berbatu) | 1000 – 5000 |

Umumnya tahanan jenis tanah dianggap seragam, karena untuk tahanan jenis yang tidak seragam sulit diperoleh perhitungan matematisnya. Tahanan jenis tanah juga tergantung pada beberapa faktor yang mempengaruhi, diantaranya [6] :

- Kadar asam pH; semakin tinggi kadar asam pH pada lapisan tanah permukaan, maka tahanan jenisnya semakin rendah.
- Kelembaban tanah; semakin lembab maka kadar air pada lapisan tanah tersebut semakin tinggi dan tahanan jenisnya akan semakin rendah.
- Temperatur tanah; temperatur dibawah titik beku menyebabkan ion-ionnya sulit bergerak jika dibandingkan pada keadaan cair, dan ini menyebabkan konduktivitasnya menurun serta tahanan jenisnya akan semakin tinggi.
- Kadar garam; semakin tinggi kadar garamnya, misal tanah-tanah di pinggir pantai, maka tahanan jenisnya semakin rendah.
- Kepadatan tanah; semakin padat lapisan tanahnya, semakin kecil kemampuan tanah tersebut untuk menyimpan air, maka tahanan jenisnya semakin tinggi.
- Butiran tanah; semakin kecil butiran-butiran tanah akan semakin sedikit kemampuan tanah menyimpan air, sehingga kadar airnya turun dan tahanan jenisnya semakin tinggi.
- Cuaca; pada waktu musim hujan tahanan jenis tanahnya semakin rendah dibandingkan pada musim panas.
- Macam tanah; tanah liat, tanah berlumpur, tanah berpasir, tanah berbatu dan lain-lainnya mempunyai tahanan jenis tanah yang berbeda.

Dari berbagai faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah, maka faktor yang paling mempengaruhi perubahan nilai tahanan jenis tanah adalah kadar garam, kadar air dan temperatur dari lapisan tanah yang bersangkutan.

Penggunaan data-data dari tabel 2.1 sulit dilakukan karena tanah biasanya terdiri dari kombinasi 2 atau lebih lapisan-lapisan dari bermacam tanah. Temperatur tanah disekeliling elektroda-elektroda pentanahan juga mempengaruhi besarnya tahanan jenis tanah, terutama bila temperaturnya sampai dibawah titik beku.

Suatu percobaan telah dilakukan oleh United States Bureau of Standards dengan mengambil contoh tanah liat berpasir. Contoh tersebut ditempatkan didalam silinder gelas dengan penutup logam pada kedua ujungnya.

Tabel 2.2 Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah [2]

| Temperatur (°C) | Tahanan Tanah (Ω m) |
|-----------------|-----------------------------|
| 20 | 75 |
| 10 | 99 |
| 0 (air) | 138 |
| 0 (es) | 300 |
| -5 | 790 |
| -15 | 3300 |

Dari tabel diatas bisa dilihat bahwa pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis adalah sedikit, kecuali pada temperatur-temperatur disekitar titik beku. Dimana besarnya tahanan jenis sangat berubah. Dari tabel diatas, ternyata bahwa elektroda-elektroda pentanahan harus ditempatkan dibawah batas beku. Untuk daerah-daerah bermusim dingin, biasanya 2 kaki dibawah permukaan tanah.

Tahanan jenis tanah juga dapat dipengaruhi oleh konsentrasi kelembaban. Pada tabel dibawah ini diberikan perubahan tahanan jenis tanah dengan bertambahnya jumlah air.

Tabel 2.3 Pengaruh air terhadap tahanan jenis tanah [2]

| Persentase air | Tahanan lapisan atas (Ω / cm^3) | Tahanan tanah liat berpasir (Ω / cm^3) |
|----------------|---|--|
| 0 | 10×10^6 | 10×10^6 |
| 2,5 | 2500 | 1500 |
| 2 | 1650 | 430 |
| 10 | 530 | 185 |
| 15 | 190 | 10 |
| 20 | 120 | 63 |
| 30 | 64 | 42 |

Dari tabel diatas, ternyata bahwa sedikit perubahan dari jumlah air didalam tanah akan mempengaruhi besarnya tahanan jenis tanah. Dengan demikian adalah penting untuk menempatkan elektroda-elektroda pentanahan pada tempat-tempat yang berhubungan langsung dengan air tanah. Untuk melakukan ini elektroda-elektroda pentanahan ditanamkan pada tempat-tempat yang cukup dalam dibawah permukaan lapisan air.

Dengan jalan ini, juga dapat dicegah pengaruh perubahan-perubahan musim terhadap tahanan jenis tanah, yang lebih terasa pada elektroda-elektroda yang ditanam lebih dekat dengan permukaan.

2.3. SISTEM PROTEKSI PETIR

Kekuatan petir yang sangat luar biasa dan karakteristiknya yang dapat menimbulkan efek-efek kerugian yang sangat besar maka untuk itu dibutuhkan suatu cara sistem perlindungan yang tepat untuk melindungi bangunan yang akan dilindungi beserta isi dan keadaan sekelilingnya.

Adapun tujuan sistem proteksi yang harus dilakukan yaitu untuk melindungi bangunan dari sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung, maka dengan konsep perlindungan di atas sistem proteksi petir secara umum dibagi menjadi 2 yaitu antara lain :

1. Sistem Proteksi Eksternal

Sistem ini berfungsi untuk melindungi bangunan beserta isinya dari sambaran langsung petir yaitu menyalihkan kemudian menangkap sambaran petir tersebut ke daerah yang lebih aman dan menyalurkan arus petir ke tanah.

2. Sistem Proteksi Internal

Sistem ini berfungsi untuk melindungi bangunan dari sambaran tidak langsung petir yaitu induksi medan magnetik yang ditimbulkan arus petir yang akan di tanahkan.

Dengan semakin berkembang teknologi yang digunakan dalam sistem proteksi petir ini maka berikut ini akan dijelaskan beberapa hal mengenai macam-macam sistem proteksi baik eksternal maupun internal baik yang sudah konvensional maupun yang sedang berkembang.

2.1.1. Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem Proteksi Eksternal yang akan dibahas dalam tulisan ini adalah sistem proteksi petir yang sudah umum di kenal sampai dengan sistem proteksi yang sedang berkembang. Berikut ini metode-metode yang akan di bahas dalam tulisan ini antara lain sebagai berikut :

2.2.1.1. Metode Franklin Rod [2], [5]

Konsep dari metode ini adalah mengalihkan sambaran petir ke bangunan kemudian menangkap sambaran tersebut ke sistem yang ada dan menyalurkan arus petir tersebut untuk ditanahkan. Pada metode ini dibagi menjadi tiga bagian utama antara lain yaitu:

1. Terminal udara

Terminal udara berfungsi untuk menangkap sambaran petir yang mengarah ke bangunan karena muatan yang terkonsentrasi pada terminal udara ini membuat petir menyambar terminal udara tersebut dari pada bagian bangunan yang harus dilindungi seperti puncak atap.

2. *Down Conductor* (Penghantar penyalur)

Penghantar penyalur berfungsi untuk menyalurkan arus petir dari terminal udara ke tanah agar tidak membahayakan bangunan beserta isinya. Penghantar penyalur yang umumnya digunakan berupa penghantar terbuka (*bare conductor*) karena pertimbangan faktor temperatur kerja yang tinggi akibat adanya arus yang sangat besar sehingga sulit dimungkinkan adanya kemasan isolator pada penghantarnya.

3. Elektroda Pentanahan

Setelah terjadi penyaluran arus petir bersama dengan penghantar penyalur maka selanjutnya dilakukan pendistribusian arus petir tersebut ke dalam tanah hingga kondisi netral. Nilai tahanan dari elektroda pentanahan ini sangat tergantung dari nilai tahanan tanah di area bangunan tersebut. Sistem pentanahan biasanya terdapat komponen elektroda pentanahan untuk mencapai lapisan tanah yang besar tahanannya sekecil mungkin. Elektroda pentanahan dapat berupa batang (*rod*), strip, plat dan berupa pondasi sehingga sistem pentanahan sangat tergantung dari jenis dan bentuk dari elektroda pentanahan yang digunakan.

Besar tahanan pentanahan sangat tergantung pada besar tahanan spesifik tanah tempat elektroda pentanahan itu di tanam. Tahanan spesifik tanah merupakan representasi dari sifat material tanah, faktor kadar air, temperatur dan kelembaban tanah. Elektroda pentanahan adalah material yang bertujuan untuk mendapatkan lapisan tanah yang mempunyai tahanan spesifik yang tepat (relatif kecil) sehingga dengan dimensi elektroda pentanahan yang tepat akan didapatkan nilai tahanan pentanahan yang diinginkan. Nilai tahanan tanah yang diinginkan yang sekecil mungkin agar tidak nilai tegangan pentanahan yang besar ketika dialiri arus yang sangat besar.

2.2.1.2. Metode Sangkar Faraday [5]

Pada tahun 1876, James Cleck Maxwell menyarankan agar *fraklin rod* dilengkapi dengan logam yang melingkupi bangunan membentuk sangkar faraday. Sehingga ketika petir menyambar, arus tidak akan mengalir pada struktur bangunan tapi dipaksa menuju ke luar struktur bangunan. Petir biasanya menyambar bagian-bagian yang runcing dari bangunan karena pada bagian ini terdapat rapat muatan listrik statis yang lebih besar daripada bagian lain.

2.2.1.3. Metode Radioaktif (*Early Streamer Emission Enhanced Ionizing Air Terminal*) [5]

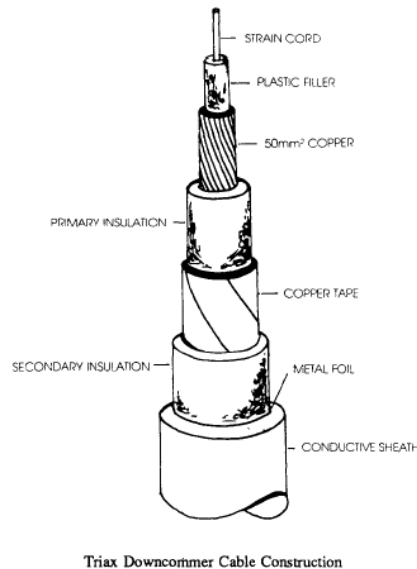
Metode ini pertama kali di patenkan oleh Gusta P Carpart pada tahun 1931. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, Szillard pada taun 1914 pernah melontarkan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada *fraklin rod* untuk meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Metode ini terdiri atas *fraklin rod* dengan bahan radioaktif radium atau sumber thorium sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui penghantar khusus.

1. Terminal udara

Ada beberapa bentuk yang tersedia sebagai terminal udara. Ada terminal yang berbentuk bulat atau ellipsoidal, berdiameter sekitar 300 mm, mengandung bahan radioaktif. Desain lainnya ditambah piringan dibawahnya sebagai tempat bahan radioaktif.

2. Penghantar Penyalur

Penghantar penyalur ini berupa konduktor khusus yang diberi nama TRIAX *down conductor*. Konduktor ini dilapisi bahan dielektrik pilihan yang mampu menghasilkan keseimbangan kapasitif dan menjamin kemampuan isolasi terhadap impuls yang tinggi.



Gambar 2.1 Konstruksi TRIAX *down conductor* [5]

2.1.2. Sistem Proteksi Petir Internal [2]

Sistem proteksi internal merupakan sistem proteksi yang bertujuan untuk mengeliminasi tegangan lebih yang ditimbulkan akibat adanya pengaruh induksi medan listrik dan medan magnetik pada bahan-bahan metal yang terdapat sistim listrik elektronik akibat dari mengalirnya arus petir tersebut yaitu dari penghantar penyalur dan jatuh tegangan pentanahan.

Tegangan lebih ini dapat menimbulkan gangguan kerja maupun kerusakan peralatan pada sistem elektronik, perangkat telekomunikasi, komputer dan peralatan elektronik lainnya. Gangguan lainnya yaitu terjadinya spark over ketika tegangan lebih tersebut dapat menembus kekuatan dielektrik udara yang akan menimbulkan sambaran didalam bangunan sehingga dapat menimbulkan bahaya kebakaran bahkan dapat terjadi ledakan.

Berikut ini akan dijelaskan beberapa cara untuk mencegah terjadi adanya tegangan lebih dan juga efeknya yaitu induksi medan listrik dan medan magnetik tersebut antara lain :

2.2.2.1. *Bonding (one point earthing system)*

Bonding (one point earthing system) atau juga dikenal dengan equipotential earthing atau penyamaan tegangan merupakan suatu instalasi grounding yang menyatukan semua titik grounding sistem atau peralatan dalam bangunan pada satu ikatan (*bonding*) atau simpul sistem grounding yang bertujuan untuk menghilangkan beda tegangan antara sistem-sistem ini terhadap sistem proteksi eksternal ketika terjadi sambaran petir ke sistem eksternal.

2.2.2.2. *Divais Pengaman (SPD)*

SPD (Surge Protection Devices) atau divais pengaman berfungsi untuk melindungi peralatan sistem-sistem yang berada di dalam bangunan dengan cara mencegah adanya arus lebih akibat adanya tegangan lebih dengan cara pengalihan atau pemblokian.

2.2.2.3. *Shielding*

Shielding merupakan perencanaan perancangan konstruksi dinding, lantai atau langit-langit bangunan hingga konstruksi hantaran logam sistem-sistem dalam bangunan tersebut yang bertujuan menghindari adanya induksi medan magnetik atau medan listrik di dalam bangunan dari efek induksi penghantar penyalur sistem eksternal yang mengalirkan arus petir dan atau mencegah timbulnya induksi elektromagnetik. Perancangan yang dapat dilakukan antara lain yaitu :

1. Perlindungan dalam bangunan atau ruangan terhadap induksi dengan membuat bangunan atau ruangan dengan konstruksi konduktif (*eksternal shielding*).
2. Isolasi atau penyelubungan pada penghantar logam (*cable shielding*).
3. Pengroutean penghantar logam yang tepat (*suitable routing*)

2.2.2.4. Jarak Aman

Safety Distance atau penerapan jarak aman untuk instalasi logam yaitu pengaturan posisi benda-benda logam di dalam bangunan dekat penghantar penyalur (*down conductor*) dengan aturan jarak aman ($s \geq d$) untuk menghindari terjadinya *spark over*.

2.4. EFEK KERJA SISTEM PROTEKSI PETIR TERHADAP OBJEK YANG DILINDUNGI [2]

2.4.1. Beban Tegangan Lebih

Beban tegangan lebih (*over voltage*) karena adanya induksi dan pergeseran potensial yang terjadi pada sistem proteksi petir ketika tersambar petir. Beban tegangan lebih ini dirasakan oleh bagian-bagian dari objek yang dilindungi sistem proteksi petir tersebut.

Induksi ditimbulkan karena adanya medan magnet yang timbul di sepanjang penghantar yang teraliri arus petir. Besar intensitas induksi dipengaruhi dengan besar kecuraman maksimum arus petir atau $(di/dt)_{max}$. Dengan adanya medan magnet ini di sekitar penghantar arus petir tersebut menimbulkan tegangan induksi pada titik-titik medan magnet tersebut dirasakan. Kuat medan magnet yang ditimbulkan arus petir pada penghantar penyalur dirasakan pada jarak r dinyatakan :

Dengan :

$$H = \frac{i}{2\pi r} \dots\dots\dots(2.1)$$

- H = kuat medan magnet [kA / m]
- i = arus petir [kA]
- r = jarak antara penghantar logam dengan penghantar penyalur [m].

Medan magnet yang terjadi pada titik r tersebut :

$$B = \frac{\mu_o \cdot i}{2\pi r} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$$\mu_o = \text{permeabilitas bahan (di ruang hampa)} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

Sedangkan tegangan induksi yang dirasakan oleh penghantar yang terinduksi dinyatakan dengan :

$$\varepsilon = -\frac{d\psi}{dt} = -\frac{\mu_o \ell}{2\pi} \ln \frac{r2}{r1} \left(\frac{di}{dt}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

- ε = tegangan induksi atau gaya gerak listrik induksi [kV]
- μ_o = $4 \pi \times 10^{-7}$ H/m
- ℓ = panjang penghantar penyalur yang menginduksi [m]
- $r1$ = jarak antara penghantar penyalur dan titik induksi terdekat [m]
- $r2$ = jarak antara penghantar penyalur dan titik induksi terjauh [m]
- di/dt = kecuraman arus petir maksimum [kA/ μ s].

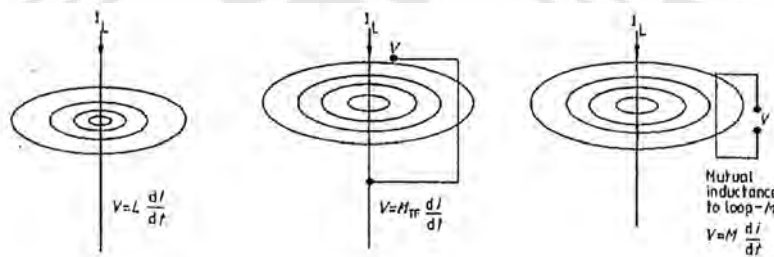
ini merupakan penurunan dari Hukum Ampere dan Hukum Faraday.

Faktor jarak terhadap penghantar penyalur dapat dinyatakan sebagai nilai induktansi (L),

$$\varepsilon = (-) L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dan berdasarkan peristiwa induksi dan posisi penghantar yang terinduksi maka nilai induktansi ditentukan sebagai berikut:

$$L = M_{Tf} = M = \frac{\mu_o \ell}{2\pi} \ln \frac{r2}{r1} \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.2 (a). Induksi terhadap sekitarnya (b). Induksi terhadap penghantar yang sejajar dengannya (c). Induksi terhadap penghantar sejajar yang berbentuk loop.

Variabel ℓ , $r1$ dan $r2$ diartikan masing-masing berdasarkan peristiwa induksinya sebagai berikut :

(1). $L =$ induktansi diri [Henry = H], Lihat Gambar 2.2 (a). maka :

$\ell =$ panjang penghantar penyalur [m]

$r_1 =$ jari-jari penghantar penyalur [m]

$r_2 =$ jarak titik induksi dirasakan dari titik penghantar penyalur [m]

(2). $M_{Tf} =$ induktansi terhadap penghantar tunggal sejajar [H], Lihat Gambar 2.2 (b). maka :

$\ell =$ panjang penghantar tunggal sejajar [m]

$r_1 =$ jari-jari penghantar penyalur [m]

$r_2 =$ jarak penghantar penyalur dengan penghantar sejajar [m]

(3). $M =$ induktansi terhadap penghantar loop yang sejajar [H], Lihat Gambar 2.2 (c). maka :

$\ell =$ panjang loop sejajar [m]

$r_1 =$ jarak penghantar penyalur dengan sisi loop terdekat [m]

$r_2 =$ jarak penghantar penyalur dengan sisi loop terjauh [m]

Fenomena pergeseran potensial di dalam gedung terjadi karena jatuh tegangan atau beda tegangan pada pentanahan. Beda tegangan ini terjadi karena injeksi arus petir yang sangat besar terhadap sistem proteksi petir sebesar :

$$V_e = I \cdot R_e \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan : $V_e =$ beda tegangan [kV]

$I =$ arus petir yang mengalir pada sistem proteksi petir[kA]

$R_e =$ tahanan pentanahan [Ω]

Beban tegangan lebih (V_{ov}) secara keseluruhan dinyatakan :

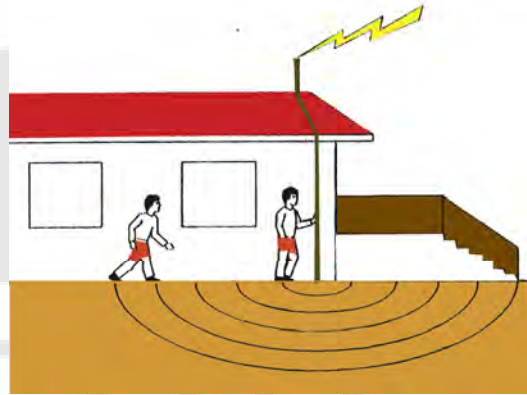
$$V_{ov} = \varepsilon + V_e \dots\dots\dots(2.7)$$

Beban tegangan lebih merupakan efek elektris yang dapat mengganggu operasional sistem-sistem seperti sistem listrik, telekomunikasi, jaringan komputer atau peralatan elektronika.

2.4.2. Beban Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh

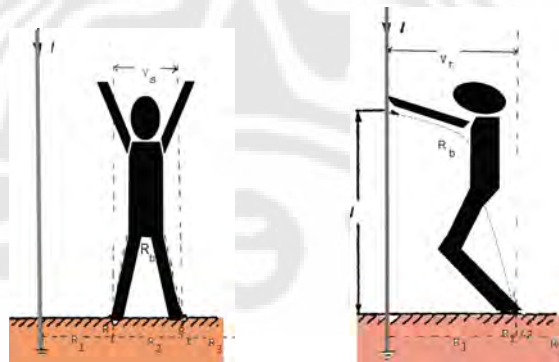
Manusia merupakan bagian objek yang juga harus dilindungi, dalam hal ini selain gedung yang dilindungi, karyawan yang bekerja di gedung tersebut juga harus terlindungi baik dari sambaran langsung maupun tidak langsung. Efek dari

penyaluran arus petir yang harus diperhatikan adalah manusia tanpa sengaja juga terkena efeknya yaitu terkena “ kejutan listrik “ ketika berada di sekitar instalasi penyaluran arus petir saat sistem proteksi petir ini sedang bekerja, bahkan tanpa disadari dalam keadaan menyentuh salah satu komponennya (biasanya penghantar penyalur). Peristiwa pertama dinamakan efek tegangan langkah sedangkan kedua dinamakan efek tegangan sentuh.

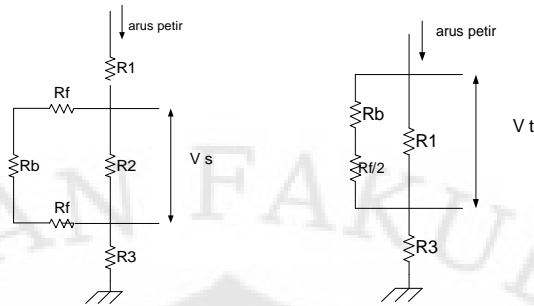


Gambar 2.3 Fenomena tegangan langkah dan tegangan sentuh

Fenomena tegangan langkah V_s dan tegangan sentuh V_t adalah akibat dari peristiwa jatuh tegangan ketika arus petir mengalir ke pentanahan dimana manusia (tubuh manusia) menjadi bagian dari komponen tahanan pada peristiwa jatuh tegangan pentanahan pada saat itu. Lihat Gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 Ilustrasi tegangan langkah dan tegangan sentuh



Gambar 2.5 Analisa secara kelistrikan mengenai fenomena tegangan langkah (V_s) dan tegangan sentuh (V_t)

Secara analisa rangkaian listrik biasa, maka tegangan langkah V_s dan tegangan sentuh V_t dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$V_s = I \left[\frac{R_2 (R_b + 2R_f)}{R_2 + R_b + 2R_f} \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

$$V_t = I \left[\frac{R_2 (R_b + (R_f / 2))}{R_2 + R_b + (R_f / 2)} \right] \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

V_s = tegangan langkah [kV]

V_t = tegangan sentuh [kV]

I = arus petir [kA]

$R_1 + R_2 + R_3$ = tahanan pentanahan total

R_1 = tahanan antara titik manusia berdiri dengan penghantar penyalur [Ω]

R_2 = tahanan antara kedua kaki [Ω]

R_3 = tahanan antara kaki dengan tempat terjauh [Ω]

R_b = tahanan tubuh manusia [Ω]

R_f = tahanan tanah di bawah tiap kaki [Ω]

Arus yang melewati tubuh manusia sebesar I_s untuk tegangan langkah dan I_t untuk tegangan sentuh, arus kejutan ini dapat mengganggu metabolisme tubuh manusia.

$$I_s = I \left(\frac{R_2}{R_2 + R_b + (2R_f)} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$I_t = I \left(\frac{R_1}{R_1 + R_b + (R_f / 2)} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

I_s = arus yang melewati tubuh manusia akibat efek tegangan langkah [kA]

I_t = arus yang melewati tubuh manusia akibat efek tegangan sentuh [kA]

BAB III

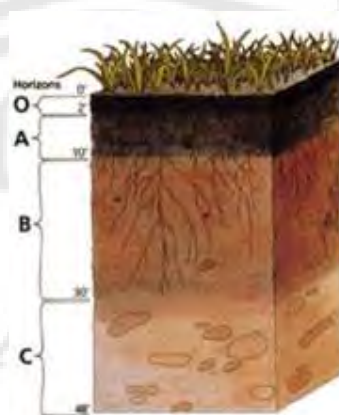
TANAH

3.1. SIFAT ALAMIAH TANAH [4]

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antarpartikelnya yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan.

Partikel-partikel tanah terdapat dalam rentang ukuran yang cukup lebar, mulai dari berangkal sampai serbuk batu halus yang berbentuk akibat penggerusan oleh gletsyer. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan atau udara.

Proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid ($< 0,002$ mm) yang dikenal sebagai mineral lempung. Hampir semua mineral lempung berbentuk lempengan yang mempunyai permukaan spesifik (perbandingan antara luas permukaan dengan massa) yang tinggi. Akibatnya sifat-sifat partikel ini sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan.



Gambar 3.1 Penampang vertikal horison tanah

3.2. PROSES PEMBENTUKAN TANAH [8]

Tanah merupakan hasil evolusi dan mempunyai susunan teratur yang unik yang terdiri dari lapisan-lapisan atau horison-horison yang berkembang secara genetik. Proses-proses pembentukan tanah atau perkembangan horison dapat dilihat sebagai penambahan, pengurangan, perubahan atau translokasi. Bahan organik merupakan bahan yang digunakan untuk translokasi dari satu tempat ke tempat yang lain dalam tanah dengan perantara air dan aktivitas hewan.

Bahan penyusun mineral mengalami perubahan yang dapat dipertimbangkan kesamaannya. Dalam semua jenis tanah mineral-mineral menahan mineral-mineral sekunder dan campuran lainnya dengan pembentukan serentak dan dengan berbagai macam daya larutnya yang padat dipindahkan dari satu horison ke horison lainnya.

3.3. TEMPERATUR TANAH

Temperatur merupakan sifat penting tanah karena pembekuan dan pencucian berperan dalam pelapukan batuan atau pembentukan struktur dan mengangkat akar-akar tanaman. Proses-proses kimia dan aktivitas-aktivitas mikroorganisme yang mengubah menjadi bentuk yang tersedia juga dipengaruhi oleh temperatur.

3.3.1. Keseimbangan Panas Tanah

Keseimbangan panas tanah terdiri dari perolehan dan hilangnya energi panas. Radiasi matahari diterima di permukaan tanah, sebagian direfleksikan kembali ke dalam atmosfer dan sebagian lagi diabsorpsi oleh permukaan tanah. Dari total radiasi matahari yang sampai ke bumi kira-kira 34 persen yang direfleksikan kembali ke ruang angkasa, 19 persen diabsorpsi oleh atmosfer dan 47 persen diabsorpsi oleh bumi.

Panas yang diabsorpsi hilang dari tanah karena:

1. Evaporasi air
2. Radiasi kembali ke dalam atmosfer sebagai radiasi gelombang panjang
3. Pemanasan udara di atas tanah
4. Pemanasan tanah

dalam waktu yang lama, perolehan dan hilangnya seimbang bergantian. Untuk waktu yang pendek, dipertimbangkan pada siang hari atau musim panas, perolehan panas melebihi hilangnya panas dan temperatur tanah meningkat. Sepanjang malam dan musim dingin terjadi sebaliknya.

3.3.2. Kapasitas Panas dan Konduktivitas Panas

Panas spesifik merupakan jumlah kalori yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram bahan sebanyak 1 °C. Panas spesifik dari mineral-mineral tanah dan air, berturut-turut adalah 0,2 dan 0,1. Kapasitas panas tanah adalah jumlah dari panas spesifik masing-masing komponen yang dilipat-gandakan dengan massanya masing-masing. Kapasitas panas dari komponen udara begitu kecil yang dapat diabaikan. Kapasitas panas dari tanah yang berisi 25 persen air (setiap 100 gram tanah kering mantap terdapat 25 gram air) dapat diperkirakan:

$$\frac{(100 \text{ gram})(0,2) + (25 \text{ gram})(0,1)}{100 \text{ gram} + 25 \text{ gram}} = \frac{20 \text{ kalori} + 25 \text{ kalori}}{125 \text{ kalori}} = 0,36 \frac{\text{kalori}}{\text{gram}} \dots\dots (3.1)$$

Kalkulasi ini menggambarkan perhatian terhadap pernyataan bahwa kandungan air berperan terutama dalam menentukan kapasitas panas tanah. Umumnya tanah-tanah yang basah lebih lambat panasnya di musim semi dan lebih lambat menjadi dingin di musim gugur di tanah-tanah kering.

Kandungan air tanah juga mempengaruhi suhu tanah melalui pengaruh pada konduktivitas panas dan kecepatan pemindahan panas. Pemindahan panas dengan konduksi lebih cepat melalui padatan-padatan tanah daripada melalui udara tanah. Sering naiknya kandungan air tanah, potensial untuk memindahkan panas bertambah pula karena air menempati ruang udara dan air mengkonduksikan panas lebih cepat dari pada udara.

3.3.3. Fluktuasi Temperatur Tanah

Temperatur tanah beragam dalam suatu pola yang khas yang didasari harian atau dasar musim. Kedua fluktuasi terbesar pada permukaan tanah dan menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah. Suatu definisi yang baik dari perubahan musim terjadi karena adanya perubahan yang lambat dari temperatur tanah musiman. Di bawah kedalaman sekitar 3 meter temperatur sedikit tetap. Fluktuasi

temperatur terbesar di antara udara dan tanah daripada udara di atas atau di bawah tanah.

3.4. KELEMBABAN TANAH

Kelembaban absolut adalah banyaknya jumlah air pada partikel udara[9]. Dimana di dalam tanah terdapat komposisi udara dan air yang dapat berubah-ubah apabila terjadi proses penambahan atau pengurangan air di tanah tersebut.

Potensi penambahan air tersedia untuk tanaman oleh iklim. Misalnya tanah-tanah basah terdapat di gurun pasir jika tanah mempunyai lapisan-lapisan yang impermeabel dan menerima aliran air atau sumber-sumber dari dataran tinggi di sekelilingnya. Tanah-tanah berbatu di daerah basah mungkin kering, karena sedikit air ditahan. Sifat tanah yang menunjukkan perubahan kelembaban ordo-ordo tanah pada jangka waktu tertentu merupakan regim kelembaban tanah.

Adanya penambahan air untuk peningkatan kelembaban menyebabkan perhitungan resistansi tanah menjadi sebuah perhitungan resistansi air ,yang semakin banyak memenuhi tanah tersebut, dimana nilai resistansi ini akan semakin menurun seiring peningkatan kadar air dalam tanah.

3.5. LARUTAN TANAH [7]

Sistem tanah memiliki tiga fasa penyusun yaitu padat, cairan dan gas. Fase padat merupakan campuran mineral dan bahan organik sehingga membentuk jaringan kerangka tanah. Dalam jaringan ini terbungkus sistem ruang pori, yang ditempati bersama oleh fase cairan dan gas. Komposisi dan perilaku kimia fase cairan dan gas ditentukan oleh interaksinya dengan fase padat. Fase gas atau udara merupakan campuran dari berbagai gas. Fase cairan, yang juga disebut larutan tanah terdiri atas air dan zat-zat terlarut. Air bisa saja bebas bergerak tergantung pada gaya-gaya yang ada, tetapi zat-zat terlarut bisa lebih atau kurang terbatas gerakannya, atau dapat juga menimbulkan suatu hambatan terhadap gerakan air.

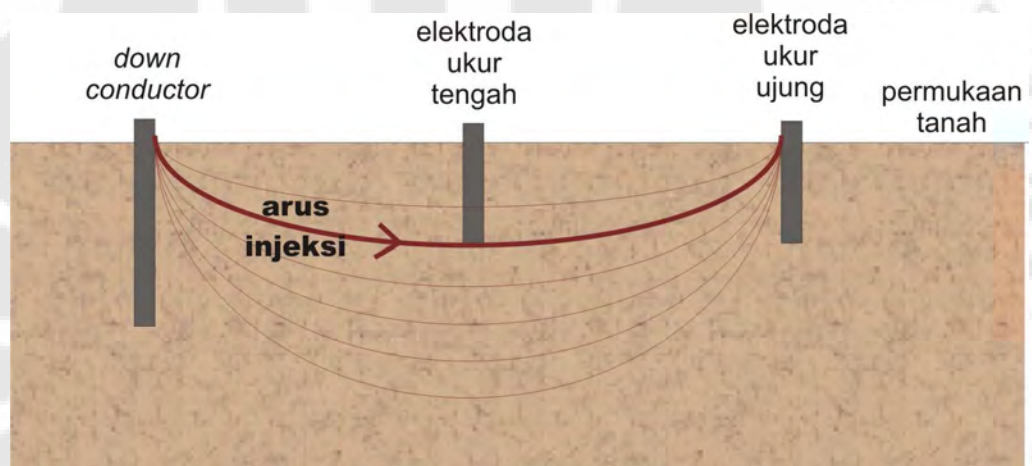
Larutan tanah yang seperti diuraikan di atas merupakan medium dari sebagian besar reaksi kimia dalam tanah. Reaksi di tanah juga dapat menyebabkan perubahan nilai resistansi tanah. Dimana air yang ada di tanah memiliki konduktivitas yang kecil, tetapi ketika bereaksi dengan larutan elektrolit maka nilai

konduktivitasnya menjadi tinggi sehingga nilai resistansi tanah tersebut menjadi rendah[10].

Kadar NaCl yang ada di tanah cukup tinggi. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan atau bentuk cair. Sedangkan dalam bentuk solid atau padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit.

3.6. PROSES PERHITUNGAN RESISTANSI TANAH

Aliran arus yang mengalir pada media homogen resistif memiliki pola seperti gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Pola rambat arus listrik di tanah

Tegangan listrik yang diberikan pada *down conductor* dan elektroda ukur ujung dengan tegangan di *down conductor* lebih besar daripada di elektroda ukur ujung. Pada posisi diantara *down conductor* dan elektroda ukur ujung, sebagian besar arus listrik mengalir pada kedalaman tertentu. Arus listrik ini biasa dikenal sebagai arus injeksi. Posisi elektroda ukur tengah terletak tepat di tengah dari jarak maksimum antara *down conductor* dan elektroda ukur ujung. Hal ini dilakukan untuk mengamati tegangan pada kedalaman tertentu dengan hanya mengukur tegangan di permukaan tanah. Karena sesuai dengan garis equipotensial. Selanjutnya dengan mengetahui nilai arus injeksi dan tegangan di elektroda ukur tengah maka kita mendapatkan nilai resistansi tanah pada kedalaman tertentu.

Perumusan nilai resistansi tanah didapat dengan mengolah nilai dari parameter-parameter perhitungan yang diberikan oleh alat ukur tersebut.

Parameter-parameter yang didapat adalah tegangan tanah, beda tegangan antara *down conductor* dan elektroda ukur tengah, dan arus injeksi yang diberikan oleh alat ukur resistansi tanah. Berikut rumus perhitungannya:

$$R_{tanah} = \frac{V}{I_{injeksi}} \dots\dots\dots(3.1)$$

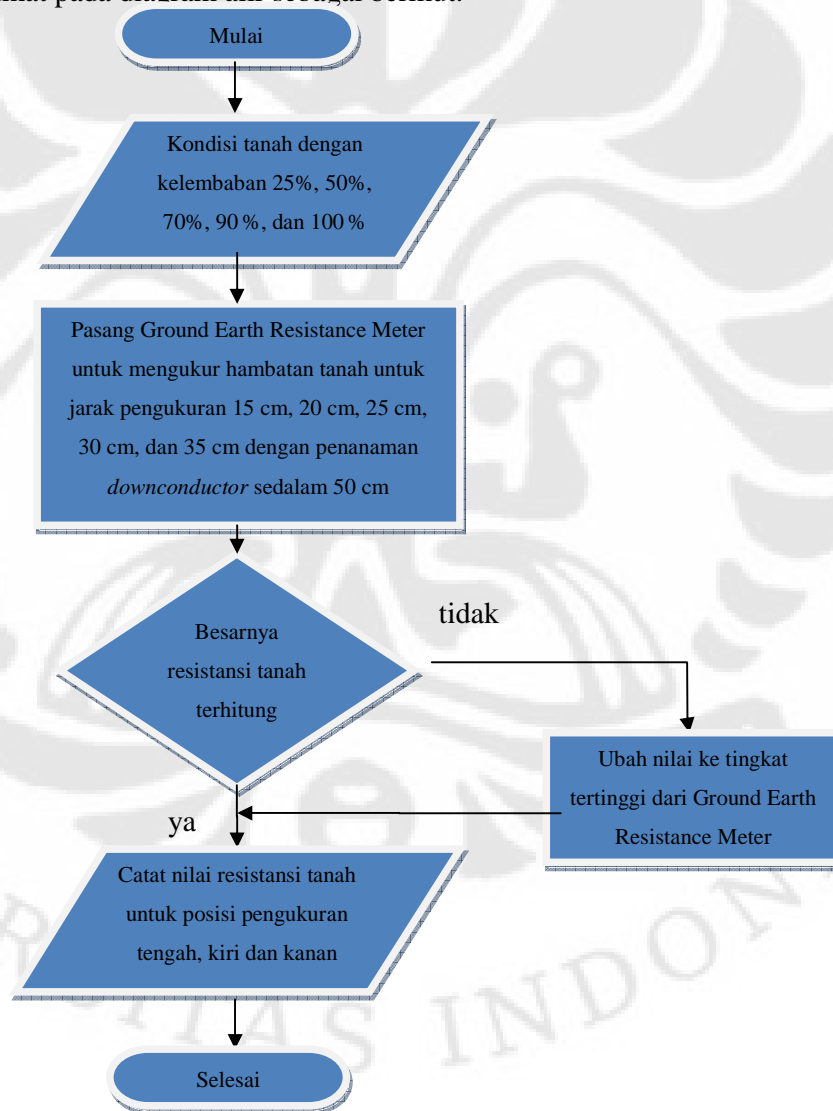


BAB IV

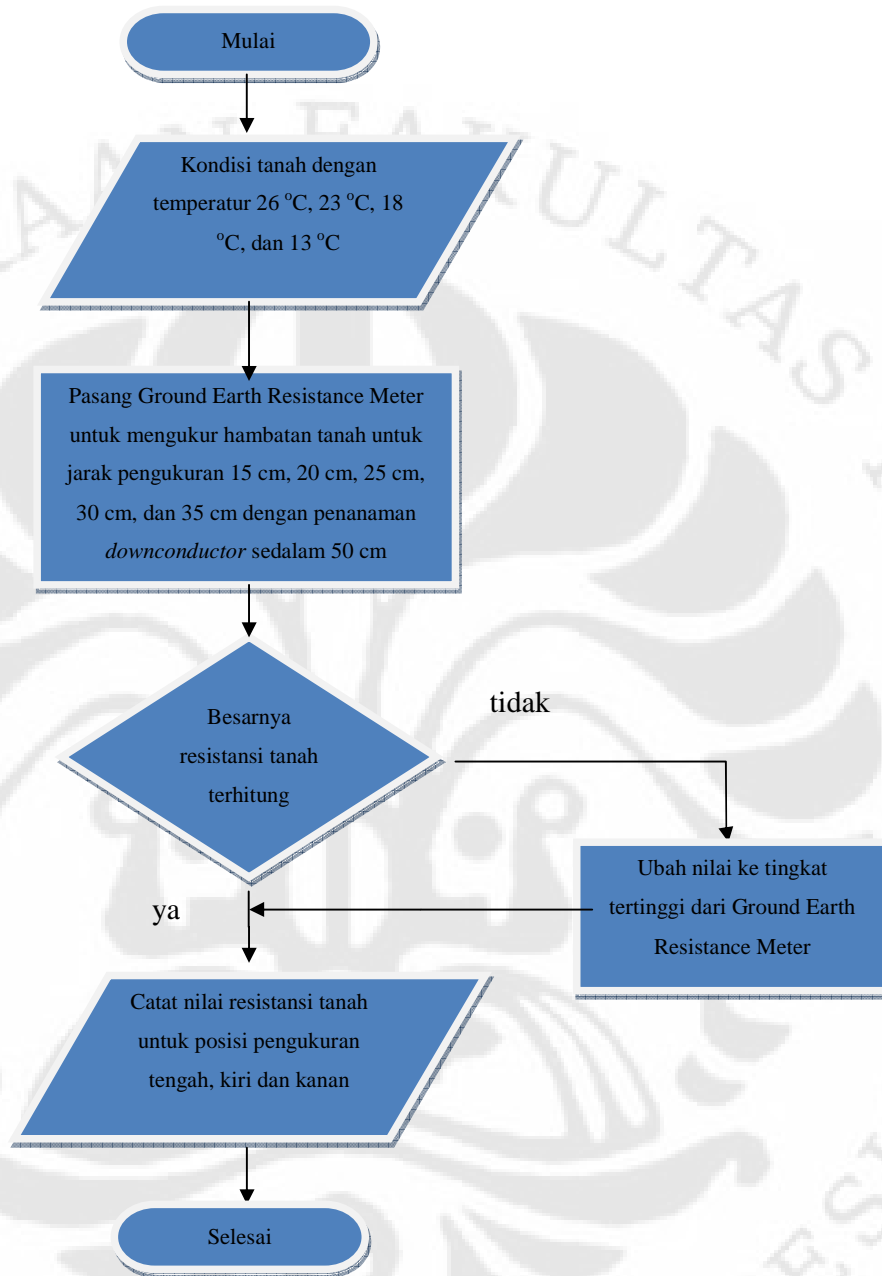
METODOLOGI PENGUJIAN

4.1. OBJEK PENGUJIAN

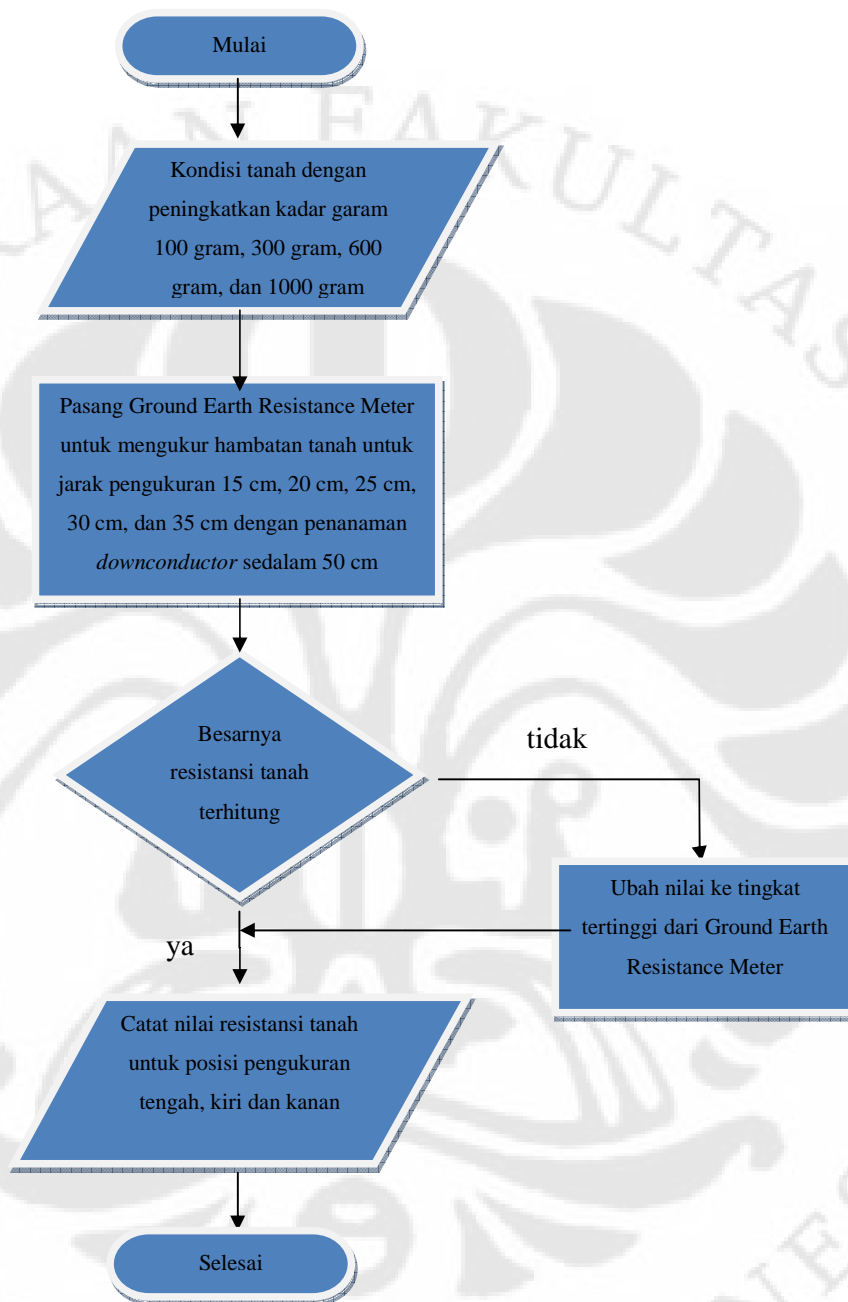
Objek pengujian yang dilakukan pada skripsi ini yaitu sebidang tanah lempung dengan luas 1 m² dan kedalaman satu meter. Dasar pengujian ini yaitu melihat pola distribusi hambatan pada tanah dengan variasi besarnya kelembaban, temperatur dan kadar garam. Untuk mengetahui langkah-langkah pengujian ini dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram alir pengujian pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah



Gambar 4.2 Diagram alir pengujian pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah



Gambar 4.3 Diagram alir pengujian pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah

4.2. PERALATAN dan RANGKAIAN PENGUJIAN

Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (LTTPL), Lantai 1, Departemen Teknik Elektro FTUI.

4.2.1. Peralatan Pengujian

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

1. Ground Earth Resistance Meter, sebagai alat ukur resistansi tanah



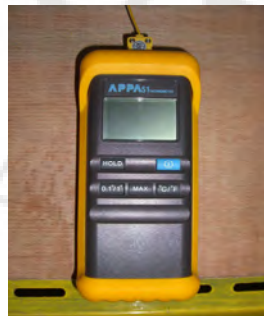
Gambar 4.4 Ground Earth Resistance Meter

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



Gambar 4.5 E.M System Soil Tester

3. Termometer, sebagai alat ukur suhu tanah



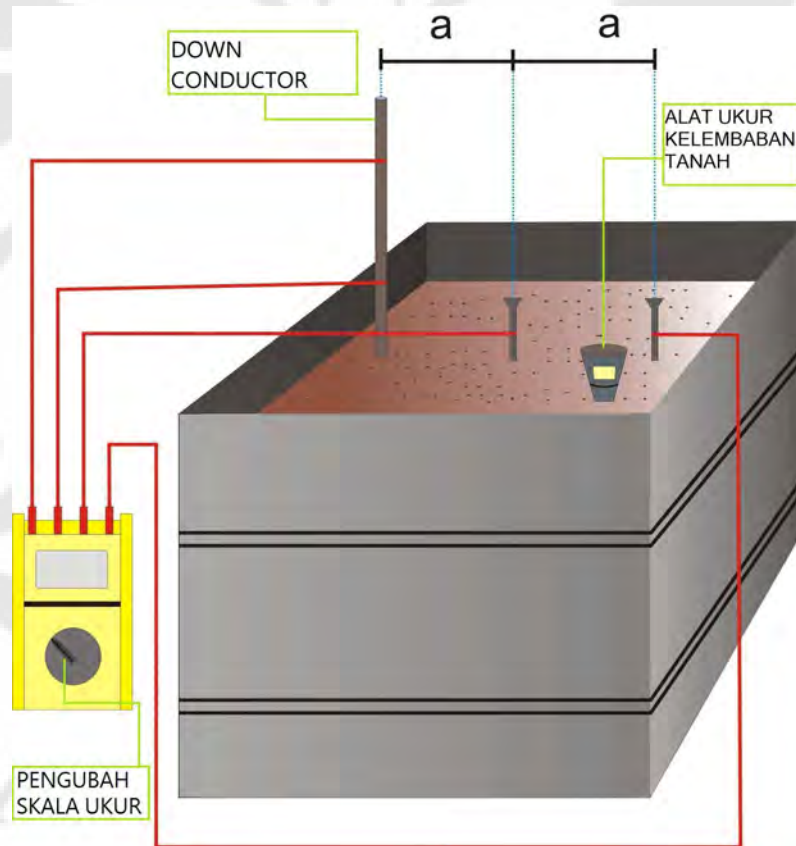
Gambar 4.6 Termometer

4. Meteran
5. Gelas ukur, sebagai alat ukur
6. Besi, sebagai *down conductor*
7. Ruang untuk tanah dengan volume 1 m^3
8. Tanah lempung sebanyak 1 m^3
9. Garam (NaCl) sebanyak 1 kg

4.2.2. Rangkaian Pengujian

Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kelembaban

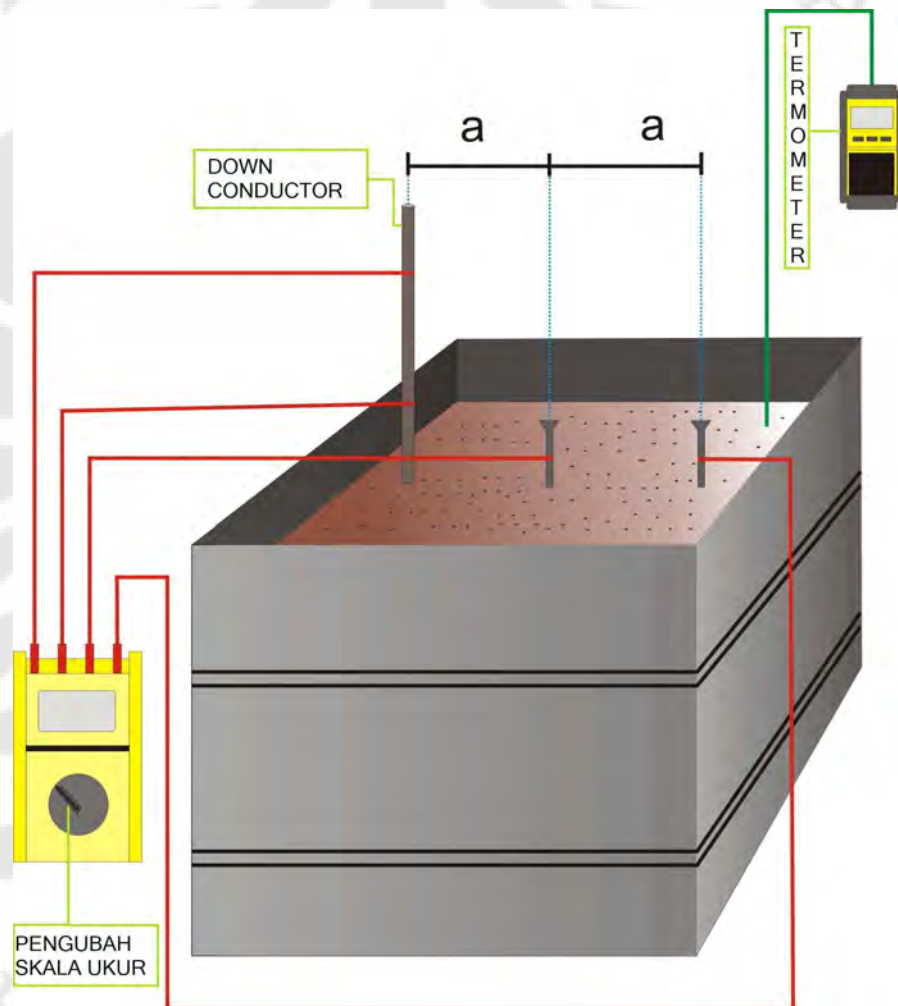
Pengujian ini dilakukan untuk mengukur besarnya resistansi tanah akibat peningkatan kelembaban tanah. Pengukuran resistansi tanah dilakukan dengan menggunakan *Ground Resistance Meter*. Sedangkan untuk membuat variasi kelembaban sebidang tanah yang diinginkan kita gunakan beberapa liter air.



Gambar 4.7 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kelembaban

Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Temperatur

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur besarnya resistansi tanah akibat penurunan temperatur tanah. Pola distribusi tegangan diperoleh dengan memberikan injeksi arus petir. Pengukuran resistansi tanah dilakukan dengan menggunakan *Ground Resistance Meter*. Sedangkan untuk membuat variasi temperatur sebidang tanah yang diinginkan kita gunakan beberapa liter air es.

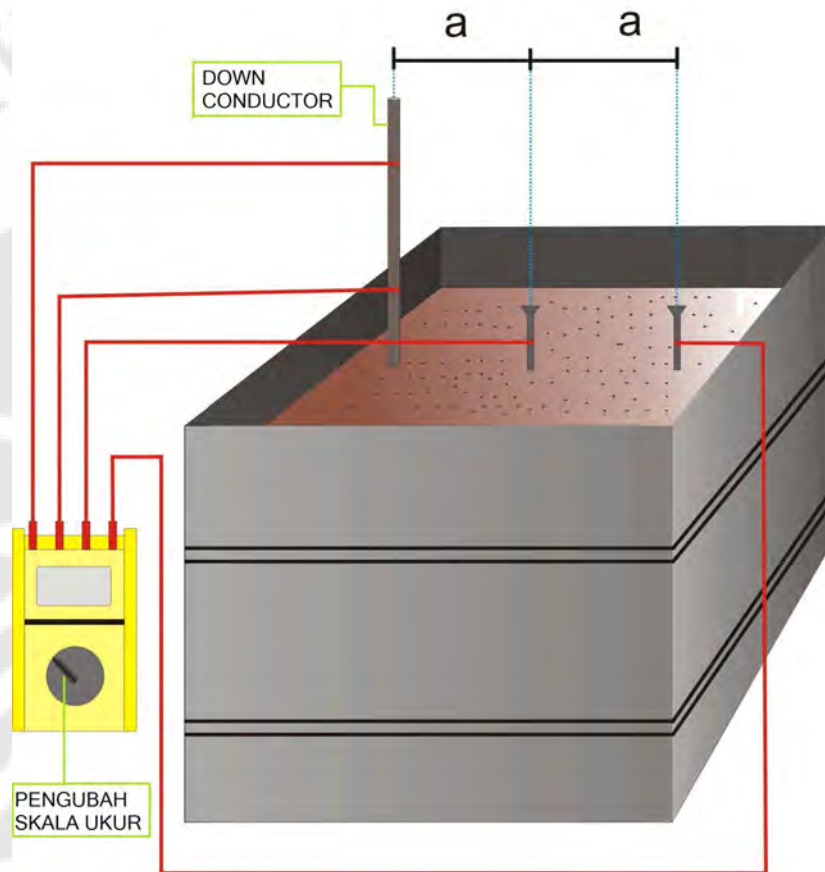


Gambar 4.8 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Temperatur

Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kadar Garam

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur besarnya resistansi tanah akibat peningkatan kadar garam tanah. Pola distribusi tegangan diperoleh dengan memberikan injeksi arus petir. Pengukuran resistansi tanah dilakukan dengan

menggunakan *Ground Resistance Meter*. Sedangkan untuk membuat variasi kadar garam sebidang tanah yang diinginkan kita gunakan beberapa gram garam (NaCl) yang dicampurkan ke dalam 2 liter air.



Gambar 4.9 Rangkaian Pengujian Resistansi Tanah Akibat Pengaruh Kadar Garam

4.3. PENGUJIAN PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP RESISTANSI TANAH

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik hambatan tanah terhadap perubahan kelembaban tanah yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

4.3.1. Persiapan Awal Pengujian

Sebelum memulai pengujian dilakukan persiapan awal terlebih dahulu yang meliputi:

1. Menyiapkan ruang dengan volume 1 m^3 untuk diisikan dengan tanah sebanyak 1 m^3 .
2. Meletakkan tanah di dalam ruangan pengujian. Keadaan tanah dibiarkan dalam kelembaban dan temperatur normal yaitu 25% dan 28°C .

4.3.2. Proses Pengujian

Tahap berikutnya adalah melakukan proses pengujian. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 4.7 dengan besarnya a (jarak ukur hambatan tanah) awal sebesar 15 cm.
2. Membuat kelembaban tanah sesuai dengan yang diinginkan dengan memberikan air ke tanah.
3. Mengukur kelembaban tanah dengan E.M System Soil Tester. Jika pada proses pengukuran ini sudah tercapai kelembaban tanah yang diinginkan untuk diuji, maka tidak perlu menambahkan air. Jika tidak tercapai keadaan tanah yang diinginkan maka ulangi langkah no.2.
4. Menyalakan *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.
5. Ubah jarak ukur hambatan tanah menjadi 20, 25, 30, 35 cm.
6. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian langkah no.2 hingga no.5 terus diulang.
7. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian langkah no.2 hingga no.5 terus diulang.
8. Langkah no.2 hingga no. 7 terus diulang untuk kelembaban 50, 70, 90, dan 100 %.

4.4. PENGUJIAN PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESISTANSI TANAH

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik hambatan tanah terhadap perubahan temperatur tanah yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

4.4.1. Persiapan Awal Pengujian

Sebelum memulai pengujian dilakukan persiapan awal terlebih dahulu yang meliputi:

1. Menyiapkan ruang dengan volume 1 m^3 untuk diisikan dengan tanah sebanyak 1 m^3 .
2. Meletakkan tanah di dalam ruangan pengujian. Keadaan tanah dibiarkan dalam kelembaban dan temperatur normal yaitu 25% dan $26 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.4.2. Proses Pengujian

Tahap berikutnya adalah melakukan proses pengujian. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 4.8 dengan besarnya a (jarak ukur hambatan tanah) awal sebesar 15 cm.
2. Membuat temperatur tanah sesuai dengan yang diinginkan dengan memberikan air es ke tanah.
3. Mengukur temperatur tanah dengan Termometer. Jika pada proses pengukuran ini sudah tercapai temperatur tanah yang diinginkan untuk diuji, maka tidak perlu menambahkan air es. Jika tidak tercapai keadaan tanah yang diinginkan maka ulangi langkah no.2.
4. Menyalakan *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.
5. Ubah jarak ukur hambatan tanah menjadi 20, 25, 30, 35 cm.
6. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian langkah no.2 hingga no.5 terus diulang.

7. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian langkah no.2 hingga no.5 terus diulang.
8. Langkah no.2 hingga no. 7 terus diulang untuk temperatur 23, 18, dan 13 °C.

4.5. PENGUJIAN PENGARUH KADAR GARAM TERHADAP RESISTANSI TANAH

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengujian karakteristik hambatan tanah terhadap perubahan kadar garam tanah yang dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Persiapan awal pengujian
2. Proses pengujian

4.5.1. Persiapan Awal Pengujian

Sebelum memulai pengujian dilakukan persiapan awal terlebih dahulu yang meliputi:

1. Menyiapkan ruang dengan volume 1 m³ untuk diisikan dengan tanah sebanyak 1 m³.
2. Meletakkan tanah di dalam ruangan pengujian. Keadaan tanah dibiarkan dalam kelembaban dan temperatur normal yaitu 25% dan 26 °C.

4.5.2. Proses Pengujian

Tahap berikutnya adalah melakukan proses pengujian. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Merangkai sesuai dengan gambar 4.9 dengan besarnya a (jarak ukur hambatan tanah) awal sebesar 15 cm.
2. Memberi air garam dengan komposisi awal 2 liter air dengan 100 gram NaCl ke dalam tanah.
3. Menyalakan *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. Langkah no.3 terus diulang untuk jarak ukur hambatan tanah 20, 25, 30, 35 cm.

5. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kiri dari posisi lurus kemudian langkah no.3 hingga no.4 terus diulang.
6. Ubah keadaan pengukuran hambatan tanah menjadi miring ke arah kanan dari posisi lurus kemudian langkah no.3 hingga no.4 terus diulang.
7. Langkah no.2 hingga no.6 diulangi untuk perubahan komposisi 2 liter air dengan 200, 300, 400 gram NaCl.

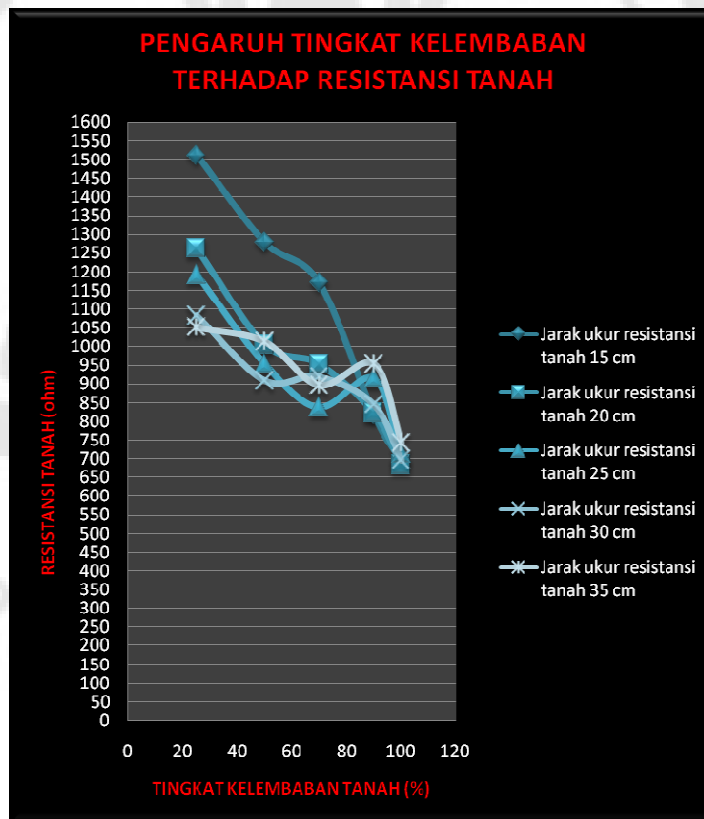
BAB V

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1. KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH KELEMBABAN

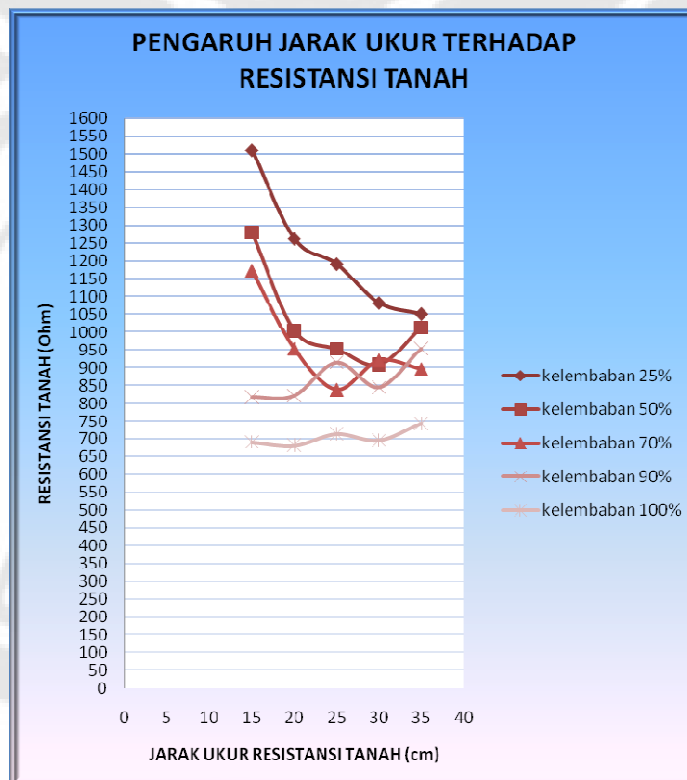
Dari pengujian pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah didapat beberapa data untuk beberapa keadaan posisi pengukuran resistansi tanah, yaitu posisi lurus (sesuai gambar 4.7) , posisi miring kiri (sesuai gambar 4.7 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kiri *down conductor*) , dan posisi miring kanan (sesuai gambar 4.7 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kanan *down conductor*). Sampel pengujian yaitu tanah yang memiliki beberapa perubahan tingkat kelembaban, yaitu 25%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Dari hasil pengujian, tanah ini adalah tanah lempung. Pengujian awal dilakukan pada temperatur 28°C dan kelembaban 25%.

5.1.1. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus



Gambar 5.1. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah

Gambar 5.1 menunjukkan kurva karakteristik pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada kelembaban 25%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Kurva pengaruh tingkat kelembaban terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring peningkatan kelembaban tanah dari 25% sampai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kelembaban tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dalam proses peningkatan kelembaban tanah, tanah diberikan peningkatan air pula. Sehingga dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah. Hal ini sesuai teori dasar, sebagaimana telah dijelaskan 3.4 bahwa nilai hambat jenis air lebih rendah dibandingkan hambat jenis udara.

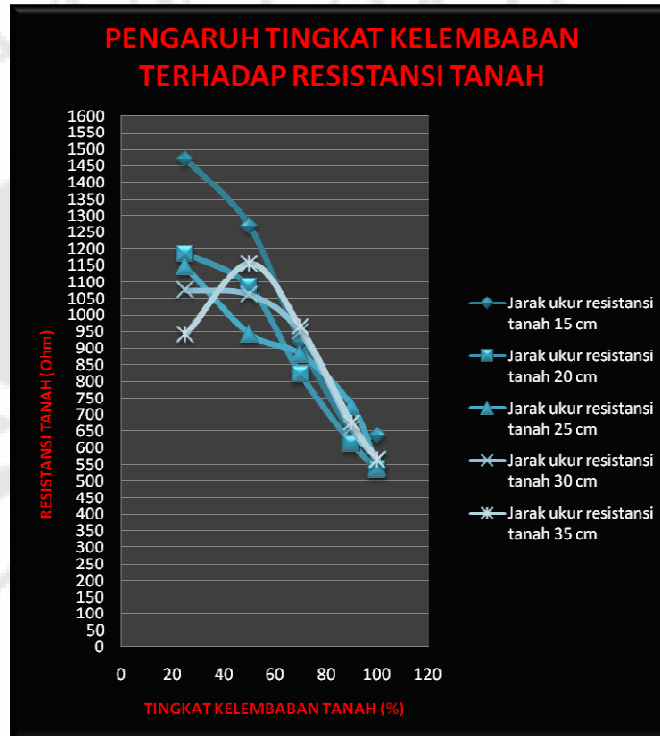


Gambar 5.2. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

Pada kurva pengaruh jarak ukur terhadap resistansi tanah terdapat nilai resistansi tanah yang tetap, yaitu pada kondisi kelembaban 100 %. Hal ini terjadi karena kadar air di tanah sudah melampaui batas kemampuan daya tampung tanah tersebut yang berakibat bahwa komposisi maksimum tanah dipenuhi oleh air yang

berlebih. Sehingga pengukuran resistansi tanah di setiap titik memiliki nilai resistansi yang hampir sama.

5.1.2. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri

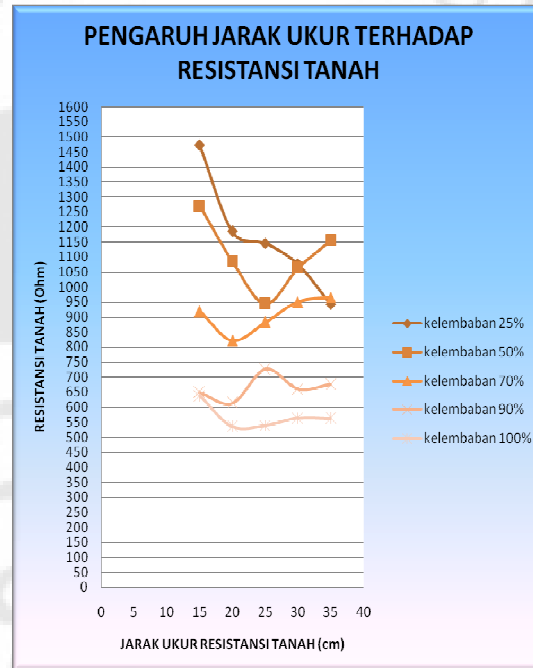


Gambar 5.3. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah

Gambar 5.3 merupakan kurva dari pengukuran dengan posisi miring kekiri yang menunjukkan karakteristik pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada kelembaban 25%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Kurva ini memiliki bentuk yang hampir sama dengan kurva pengukuran posisi lurus. Kurva pengaruh tingkat kelembaban terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring peningkatan kelembaban tanah dari 25% sampai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kelembaban tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dimana dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah. Pada kelembaban 50% terjadi perubahan bentuk kurva menjadi kurva kuadratik terbalik. Seperti penjelasan bab-bab sebelumnya bahwa resistansi tanah tidak selalu menurun pada kondisi perubahan jarak ukur resistansi, karena

perubahan nilai resistansi hanya tergantung pada perubahan komposisi tanah yang diukur.

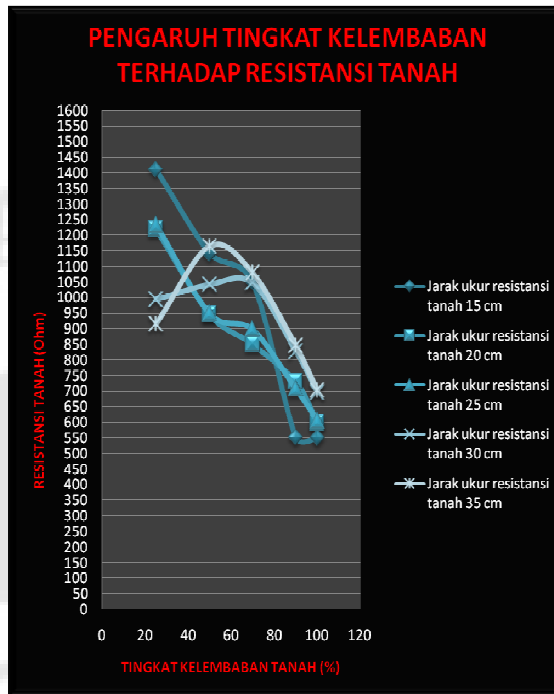
Pada gambar kurva di bawah ini terlihat kembali bahwa pada keadaan tanah yang memiliki kelembaban 100% terdapat nilai resistansi yang cenderung tetap sama seperti pengukuran resistansi tanah dengan posisi lurus.



Gambar 5.4. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

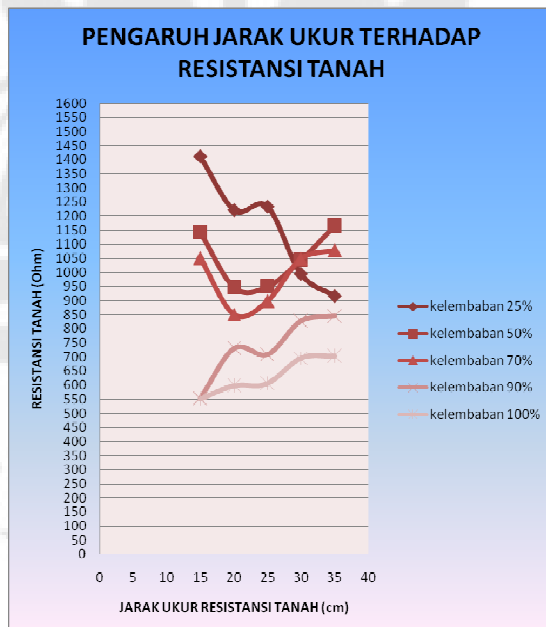
5.1.3. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan

Gambar di bawah ini merupakan kurva dari pengukuran dengan posisi miring kekanan yang menunjukkan karakteristik pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada kelembaban 25%, 50%, 70%, 90%, dan 100%. Kurva ini memiliki bentuk yang hampir sama dengan kurva pengukuran posisi lurus. Kurva pengaruh tingkat kelembaban terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring peningkatan kelembaban tanah dari 25% sampai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kelembaban tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dimana dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah.



Gambar 5.5. Grafik Kurva Pengaruh Kelembaban Terhadap Resistansi Tanah

Pada kelembaban 70% terjadi perubahan bentuk kurva. Bahwasanya bahwa resistansi tanah tidak selalu menurun pada kondisi perubahan jarak ukur resistansi, karena perubahan nilai resistansi hanya tergantung pada perubahan komposisi tanah yang diukur.



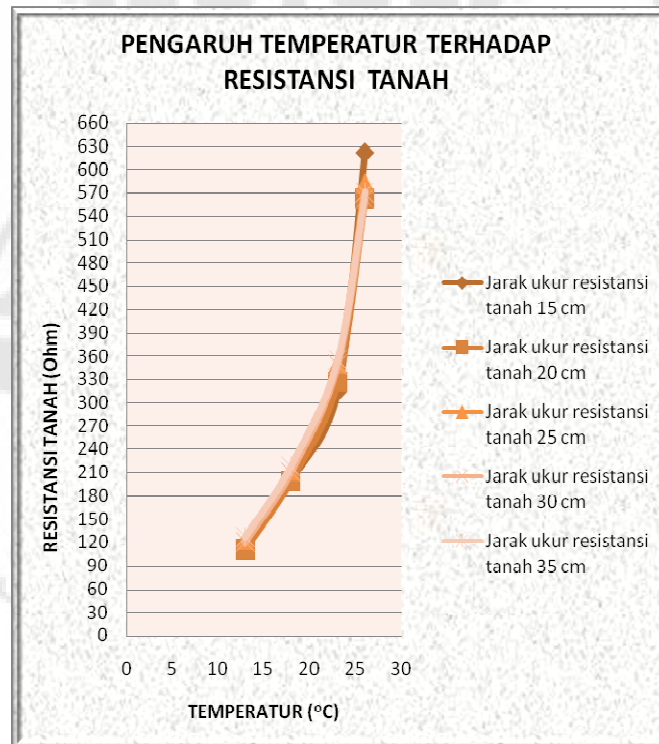
Gambar 5.6. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

Dari beberapa posisi pengujian pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah didapat pola distribusi resistansi yang hampir sama. Perbedaan nilai resistansi hanya berdasarkan pada keadaan tanah, yaitu komposisi tanah baik kandungan udara maupun airnya.

5.2. KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH TEMPERATUR

Dari pengujian pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah didapat beberapa data untuk beberapa keadaan posisi pengukuran resistansi tanah, yaitu posisi lurus (sesuai gambar 4.8) , posisi miring kiri (sesuai gambar 4.8 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kiri *down conductor*) , dan posisi miring kanan (sesuai gambar 4.8 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kanan *down conductor*). Sampel pengujian yaitu tanah yang memiliki beberapa perubahan temperatur, yaitu 26°C , 23°C , 18°C , dan 13°C . Dari hasil pengujian, tanah ini adalah tanah lempung. Pengujian awal dilakukan pada temperatur 26°C dan kelembaban 25%.

5.2.1. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus



Gambar 5.7. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah

Gambar 5.7 merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada temperatur 26 °C, 23 °C, 18 °C, dan 13 °C. Kurva pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring dengan penurunan temperatur tanah dari 26 °C sampai 13 °C. Hal ini menunjukkan bahwa setiap penurunan temperatur tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dalam proses penurunan temperatur tanah, tanah diberikan peningkatan air es pula. Hubungan temperatur terhadap resistansi tanah di atas, dapat direpresentasikan dengan persamaan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Office Excel*.

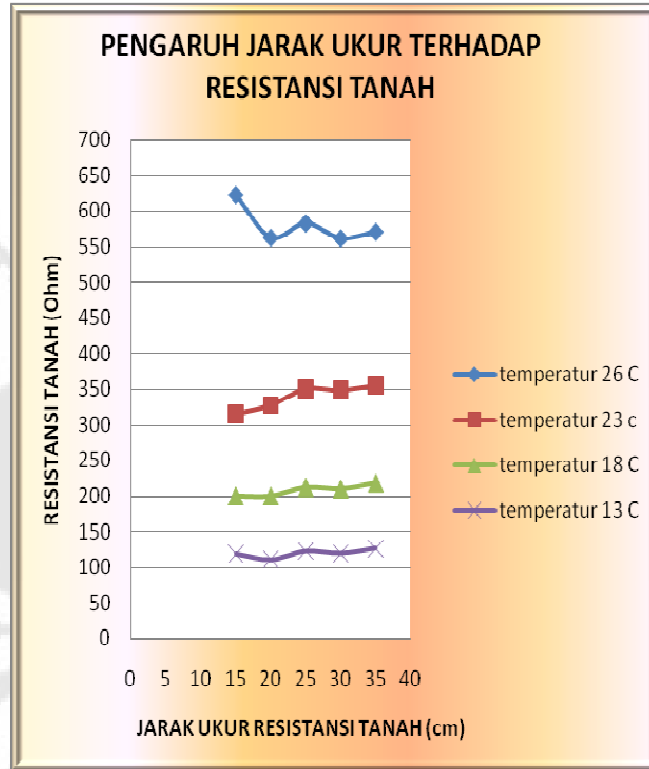
Persamaannya ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 5.1 Persamaan pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah

| | |
|--|-----------------------|
| Ketika jarak ukur 15 cm, memenuhi persamaan: | $y = 23,41e^{0,12x}$ |
| Ketika jarak ukur 20 cm, memenuhi persamaan: | $y = 22,68e^{0,12x}$ |
| Ketika jarak ukur 25 cm, memenuhi persamaan: | $y = 26,3e^{0,116x}$ |
| Ketika jarak ukur 30 cm, memenuhi persamaan: | $y = 26,01e^{0,116x}$ |
| Ketika jarak ukur 35 cm, memenuhi persamaan: | $y = 28,67e^{0,112x}$ |

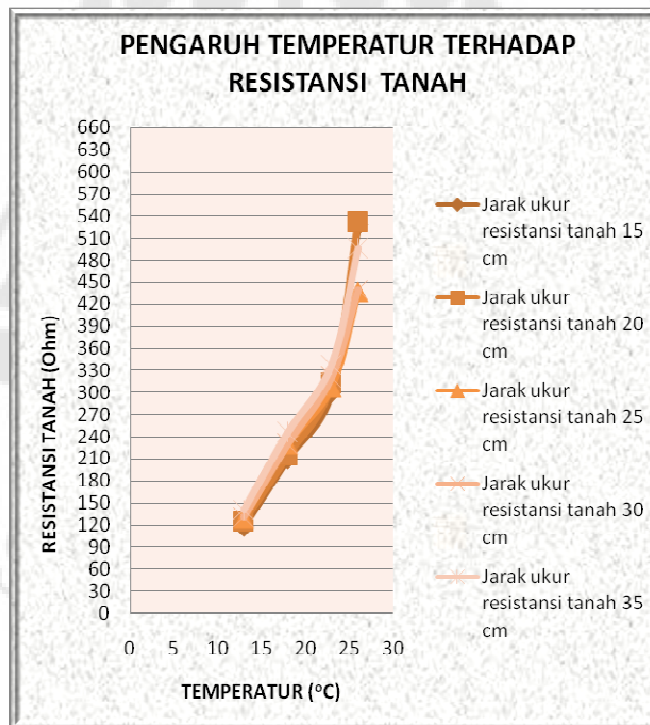
Sehingga dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah. Pada temperatur 26 °C masih terdapat penurunan nilai resistansi tanah karena tidak ada penambahan air es sehingga komposisi tanah belum berubah dari kondisi awal. Sedangkan untuk semua bahwa resistansi tanah cenderung tetap seiring kondisi perubahan jarak ukur resistansi, karena perubahan nilai resistansi hanya tergantung pada perubahan komposisi tanah yang diukur. Hal ini tergambar jelas pada gambar kurva di bawah ini.

Bahwasanya tidak ada pengaruh perubahan jarak ukur terhadap resistansi tanah. Sebab proses penurunan temperatur tanah dilakukan dengan cara menambahkan air es bersuhu antara 19 °C sampai 5 °C sebanyak mungkin. Sehingga secara komposisi, tanah yang diuji sebagian besar telah terpenuhi oleh air. Jadi setiap titik pengukuran tidak terdapat perubahan nilai resistansi yang signifikan.



Gambar 5.8. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

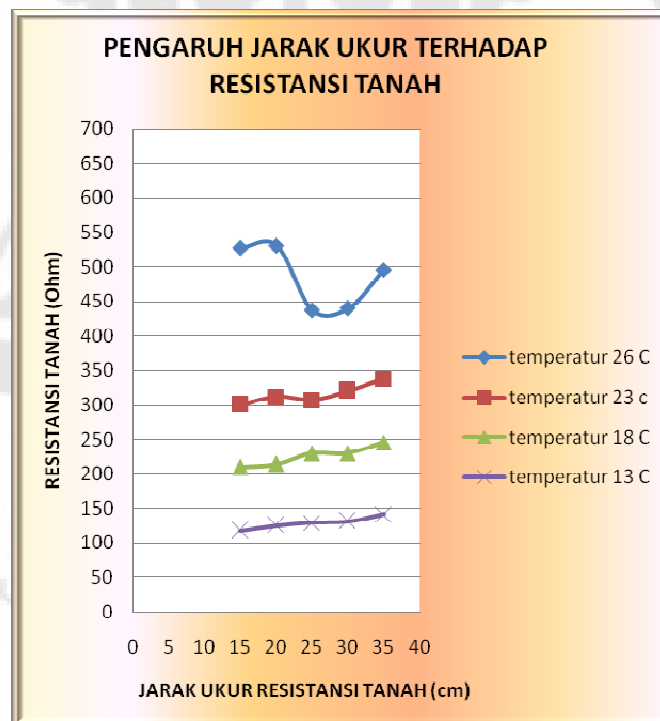
5.2.2. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri



Gambar 5.9. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah

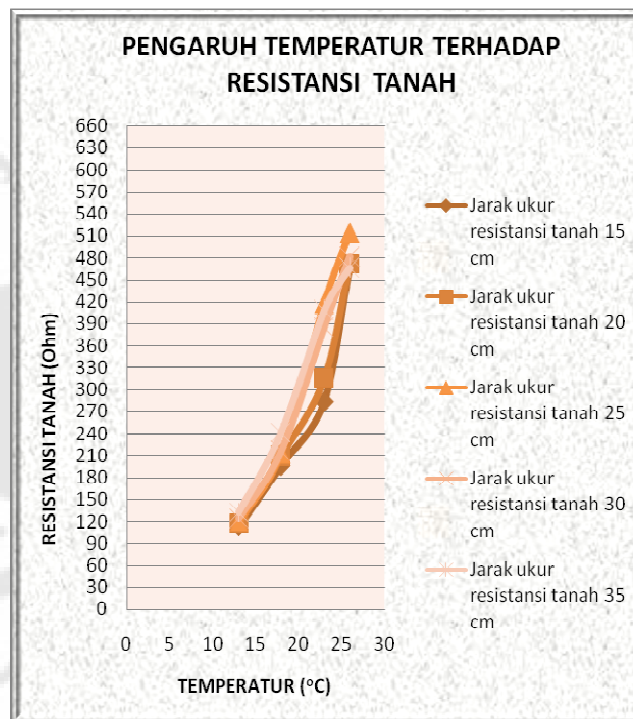
Gambar 5.9 merupakan kurva pengukuran dengan posisi miring kekiri menunjukkan karakteristik pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada temperatur 26 °C, 23 °C, 18 °C, dan 13 °C. Kurva di atas memiliki bentuk yang hampir sama dengan kurva dari pengukuran dengan posisi lurus. Kurva pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring dengan penurunan temperatur tanah dari 26 °C sampai 13 °C. Hal ini menunjukkan bahwa setiap penurunan temperatur tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dalam proses penurunan temperatur tanah, tanah diberikan peningkatan air es pula. Sehingga dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah.

Pada temperatur 26 °C terdapat penurunan nilai resistansi tanah hal ini terjadi karena tidak ada penambahan air es sehingga komposisi tanah belum berubah dari kondisi awal. Sedangkan untuk semua, bahwa resistansi tanah cenderung tetap seiring perubahan jarak ukur resistansi, karena perubahan nilai resistansi hanya tergantung pada perubahan komposisi tanah yang diukur. Hal ini tergambar jelas pada gambar kurva di bawah ini.



Gambar 5.10. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

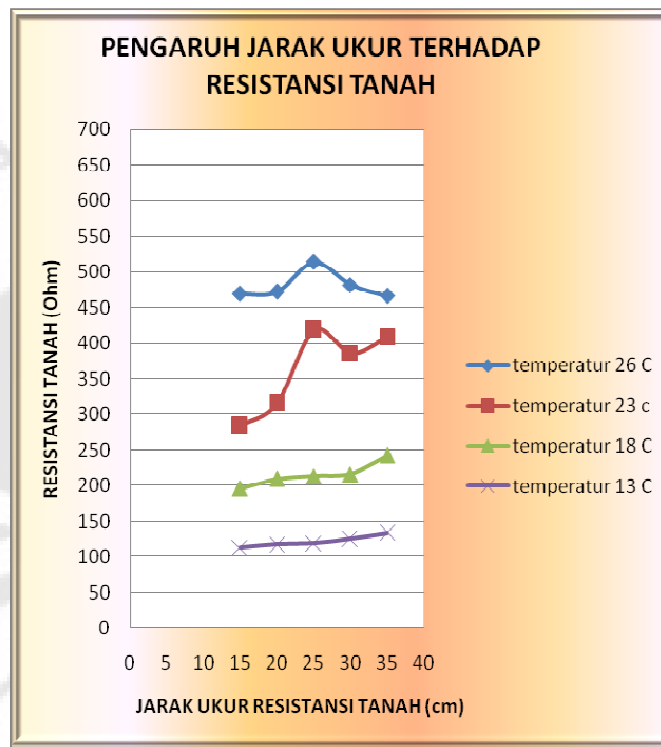
5.2.3. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan



Gambar 5.11. Grafik Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Resistansi Tanah

Gambar kurva di atas merupakan kurva pengukuran dengan posisi miring kekanan menunjukkan karakteristik pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada temperatur 26 °C, 23 °C, 18 °C, dan 13 °C. Kurva di atas memiliki bentuk yang hampir sama dengan kurva dari pengukuran dengan posisi lurus. Kurva pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring dengan penurunan temperatur tanah dari 26 °C sampai 13 °C. Hal ini menunjukkan bahwa setiap penurunan temperatur tanah terjadi perubahan komposisi udara dan air di dalam tanah tersebut. Dalam proses penurunan temperatur tanah, tanah diberikan peningkatan air es pula. Sehingga dengan adanya perubahan kadar air dalam tanah dapat menurunkan resistansi tanah. Pada temperatur 23 °C terdapat peningkatan nilai resistansi tanah hal ini terjadi karena tidak ada penambahan air es sehingga komposisi tanah belum berubah dari kondisi awal. Sedangkan untuk semua, bahwa resistansi tanah cenderung tetap seiring perubahan jarak ukur resistansi, karena

perubahan nilai resistansi hanya tergantung pada perubahan komposisi tanah yang diukur. Hal ini tergambar jelas pada gambar kurva di bawah ini.



Gambar 5.12. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

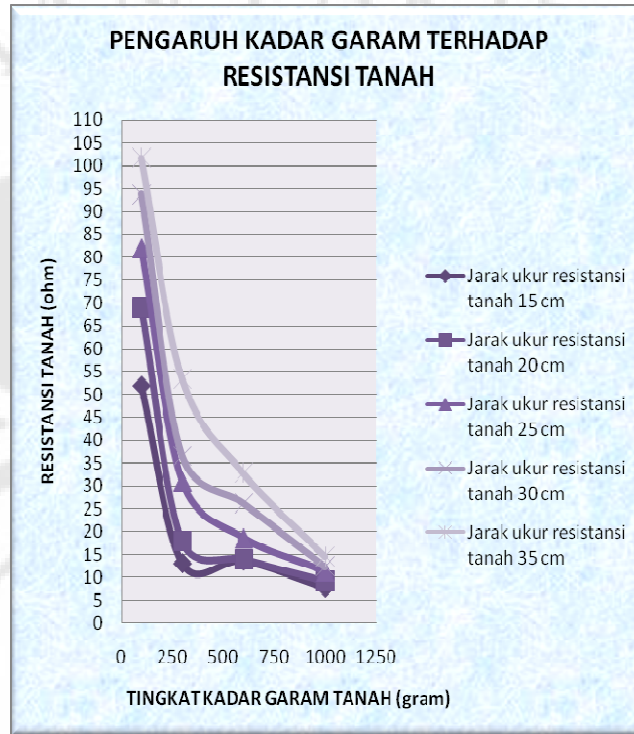
Dari beberapa posisi pengujian pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah didapat pola distribusi resistansi yang hampir sama. Perbedaan nilai resistansi hanya berdasarkan pada keadaan tanah, yaitu komposisi tanah baik kandungan udara maupun airnya.

5.3. KARAKTERISTIK RESISTANSI TANAH TERHADAP PENGARUH KADAR GARAM

Dari pengujian pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah didapat beberapa data untuk beberapa keadaan posisi pengukuran resistansi tanah, yaitu posisi lurus (sesuai gambar 4.9) , posisi miring kiri (sesuai gambar 4.9 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kiri *down conductor*) , dan posisi miring kanan (sesuai gambar 4.9 dengan mengubah elektroda pengukuran 45° ke arah kanan *down conductor*). Sampel pengujian yaitu tanah yang memiliki beberapa perubahan penambahan air garam dengan kandungan garam tanah, yaitu 100 gram, 300 gram, 600 gram, dan 1000 gram. Dari hasil pengujian, tanah ini

adalah tanah lempung. Pengujian awal dilakukan pada temperatur 26 °C dan kelembaban 25%.

5.3.1. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Lurus



Gambar 5.13. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah

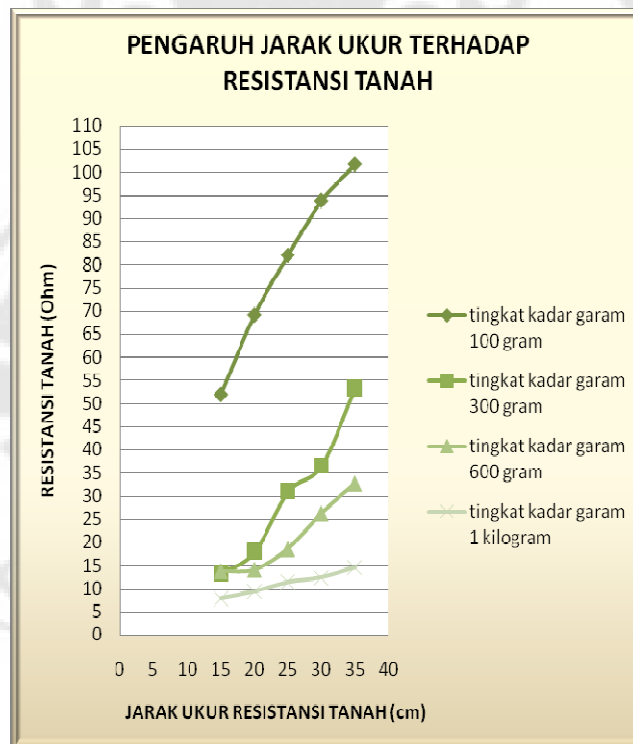
Gambar 5.13 merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada peningkatan kadar garam di tanah yaitu, 100 gram, 300 gram, 600 gram, dan 1000 gram dicampur dengan 2 liter air. Kurva pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar garam tanah dari 100 gram sampai 1000 gram. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar garam tanah terjadi perubahan komposisi kimia tanah di dalam tanah tersebut. Adanya perubahan kimia tanah, dalam hal ini peningkatan NaCl, menyebabkan kekuatan daya ikat muatan di tanah semakin meningkat. Sehingga tanah menjadi mudah padat. Sesuai teori dasar yang dijelaskan 3.5 bahwasanya nilai resistansinya menjadi semakin kecil. Hubungan kadar garam terhadap resistansi tanah di atas, dapat direpresentasikan dengan persamaan dengan menggunakan bantuan program *Microsoft Office Excel*.

Persamaannya ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 5.2 Persamaan pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah

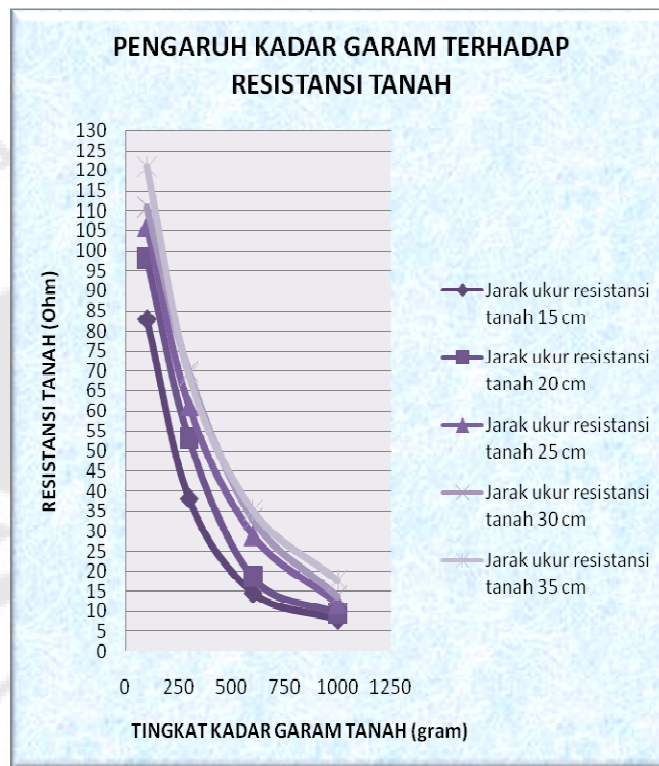
| | |
|--|-----------------------|
| Ketika jarak ukur 15 cm, memenuhi persamaan: | $y = 39,51e^{-0,00x}$ |
| Ketika jarak ukur 20 cm, memenuhi persamaan: | $y = 52,94e^{-0,00x}$ |
| Ketika jarak ukur 25 cm, memenuhi persamaan: | $y = 75,4e^{-0,00x}$ |
| Ketika jarak ukur 30 cm, memenuhi persamaan: | $y = 91,46e^{-0,00x}$ |
| Ketika jarak ukur 35 cm, memenuhi persamaan: | $y = 113,4e^{-0,00x}$ |

Pengaruh perubahan jarak ukur terhadap resistansi tanah terjadi peningkatan nilai resistansi tanah. Dimana hal ini sesuai teori 3.5 bahwa nilai konduktivitas air garam lebih tinggi dibanding garam padat. Perhitungan ini terjadi karena dalam pengujian, air digunakan sebagai pembantu garam untuk proses elektrolisis. Sementara laju aliran air di tanah tidak diperhitungkan sehingga dalam jangka waktu yang lama garam cukup untuk berubah kembali menjadi padatan. Jadi setiap titik pengukuran terdapat perubahan nilai resistansi yang signifikan, yaitu nilai yang semakin meningkat. Hal ini terlihat jelas pada gambar di bawah ini.



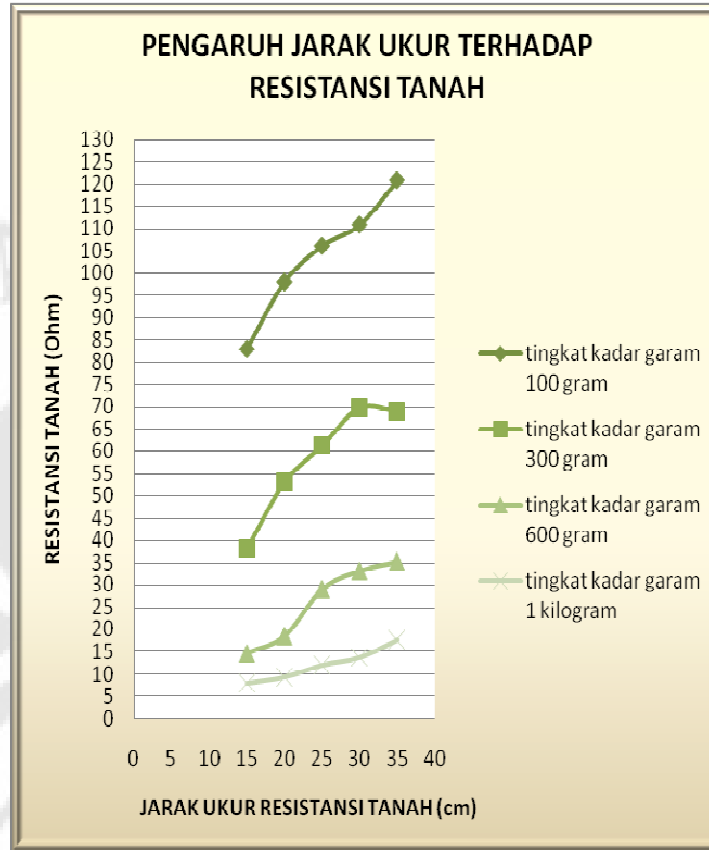
Gambar 5.14. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

5.3.2. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kiri



Gambar 5.15. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah

Gambar 5.15 merupakan kurva untuk pengukuran dengan posisi miring kekiri menunjukkan karakteristik pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada peningkatan kadar garam di tanah yaitu, 100 gram, 300 gram, 600 gram, dan 1000 gram dicampur dengan 2 liter air. Kurva ini mirip dengan kurva pada pengukuran lurus. Kurva pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin menurun seiring dengan peningkatan kadar garam tanah dari 100 gram sampai 1000 gram. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar garam tanah terjadi perubahan komposisi kimia tanah di dalam tanah tersebut. Adanya perubahan kimia tanah, dalam hal ini peningkatan NaCl, menyebabkan kekuatan daya ikat muatan di tanah semakin meningkat. Sehingga tanah menjadi mudah padat. Sesuai teori dasar yang dijelaskan 3.5 bahwasanya nilai resistansinya menjadi semakin kecil.



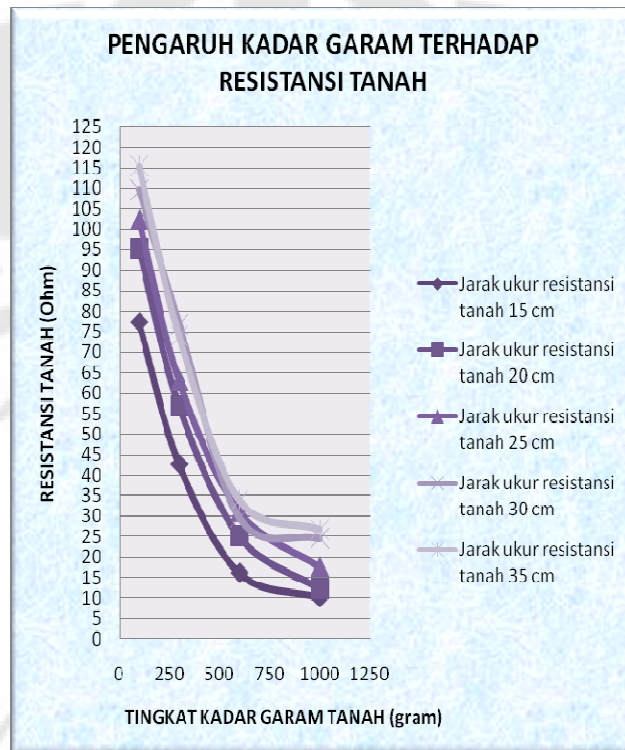
Gambar 5.16. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

Pengaruh perubahan jarak ukur terhadap resistansi tanah terjadi peningkatan nilai resistansi tanah. Dimana hal ini sesuai teori 3.5 bahwa nilai konduktivitas air garam lebih tinggi dibanding garam padat. Perhitungan ini terjadi karena dalam pengujian, air digunakan sebagai pembantu garam untuk proses elektrolisis. Sementara laju aliran air di tanah tidak diperhitungkan sehingga dalam jangka waktu yang lama garam cukup untuk berubah kembali menjadi padatan. Jadi setiap titik pengukuran terdapat perubahan nilai resistansi yang signifikan, yaitu nilai yang semakin meningkat. Hal ini terlihat jelas pada gambar di atas.

5.3.3. Pengukuran Resistansi Tanah Pada Posisi Miring Kanan

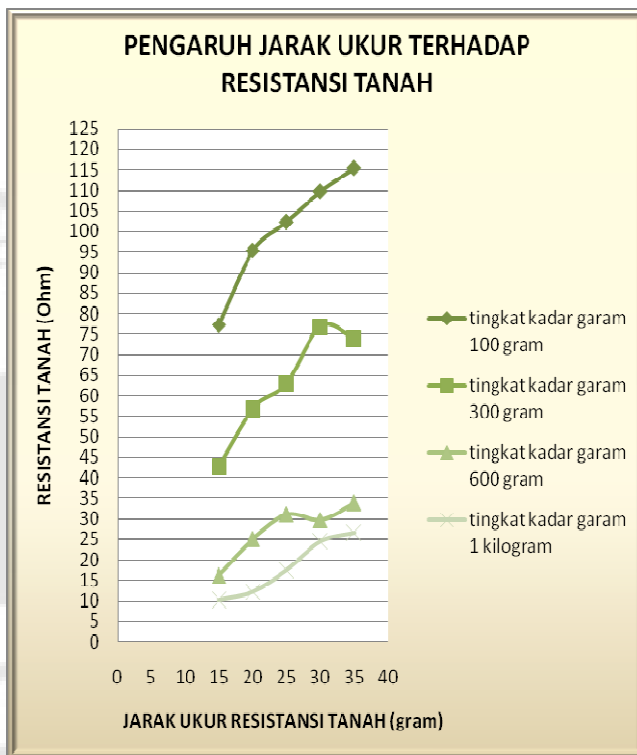
Gambar di bawah ini merupakan kurva untuk pengukuran dengan posisi miring kekanan menunjukkan karakteristik pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah yang dikondisikan pada peningkatan kadar garam di tanah yaitu, 100 gram, 300 gram, 600 gram, dan 1000 gram dicampur dengan 2 liter air. Kurva ini mirip dengan kurva pada pengukuran lurus. Kurva pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah tersebut menunjukkan nilai resistansi tanah yang semakin

menurun seiring dengan peningkatan kadar garam tanah dari 100 gram sampai 1000 gram. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan kadar garam tanah terjadi perubahan komposisi kimia tanah di dalam tanah tersebut. Adanya perubahan kimia tanah, dalam hal ini peningkatan NaCl, menyebabkan kekuatan daya ikat muatan di tanah semakin meningkat. Sehingga tanah menjadi mudah padat. Sesuai teori dasar yang dijelaskan 3.5 bahwasanya nilai resistansinya menjadi semakin kecil.



Gambar 5.17. Grafik Kurva Pengaruh Kadar Garam Terhadap Resistansi Tanah

Pengaruh perubahan jarak ukur terhadap resistansi tanah terjadi peningkatan nilai resistansi tanah. Dimana hal ini sesuai teori 3.5 bahwa nilai konduktivitas air garam lebih tinggi dibanding garam padat. Perhitungan ini terjadi karena dalam pengujian, air digunakan sebagai pembantu garam untuk proses elektrolisis. Sementara laju aliran air di tanah tidak diperhitungkan sehingga dalam jangka waktu yang lama garam cukup untuk berubah kembali menjadi padatan. Jadi setiap titik pengukuran terdapat perubahan nilai resistansi yang signifikan, yaitu nilai yang semakin meningkat. Hal ini terlihat jelas pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.18. Grafik Kurva Pengaruh Jarak Ukur Terhadap Resistansi Tanah

BAB VI

KESIMPULAN

1. Pengaruh kelembaban terhadap resistansi tanah adalah berbanding terbalik secara eksponensial dimana setiap peningkatan kelembaban terjadi penurunan nilai resistansi tanah dengan nilai resistansi tertinggi 1512 ohm dan nilai resistansi terendah 535 ohm.
2. Pengaruh temperatur terhadap resistansi tanah adalah sebanding secara eksponensial dimana setiap penurunan temperatur terjadi penurunan nilai resistansi tanah dengan nilai resistansi tertinggi 622 ohm dan nilai resistansi terendah 110,9 ohm.
3. Pengaruh kadar garam terhadap resistansi tanah adalah berbanding terbalik secara eksponensial dimana setiap peningkatan kadar garam terjadi penurunan nilai resistansi tanah dengan nilai resistansi tertinggi 120,9 ohm dan nilai resistansi terendah 7,83 ohm.
4. Nilai resistansi tanah tertinggi adalah 1512 ohm, nilai ini didapat saat kelembaban tanah mencapai 25% dengan jarak pengukuran sebesar 15 cm dan posisi pengukuran lurus.
5. Nilai resistansi tanah terendah adalah 7,83 ohm, nilai ini didapat saat 1 kilogram NaCl dicampur dengan 2 liter air diberikan ke tanah dengan jarak pengukuran sebesar 15 cm dan posisi pengukuran lurus.

DAFTAR ACUAN

- [1] *Lightning*. Di akses 14 April 2008 dari Wikipedia.
<http://www.wikipedia.com/lightning.html>
- [2] Iwa Garniwa MK. *Sistem Penangkal Petir dan Pentanahan*, Jakarta
- [3] Martin A Uman. *Natural Lightning*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 30 No 3, May / June 1994
- [4] Elizabeth Sulzman. *Introduction to Soils* (Edisi kelima, New Jersey, Prentice Hall, 2002)
- [5] Donald W Zipse. *Lightning Protection System : Advantages and Disadvantages*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 30 No 5, September / October 1994
- [6] Adib Chumaidy. *Analisis Penentuan Luas Minimum Elektroda Jaring Pada Pembumian Gardu Sebagai Fungsi Dari Tahanan Jenis Tanah Dan Besar Arus Gangguan*, Tesis , 2000
- [7] Kim H Tan. *Dasar-Dasar Kimia Tanah* (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1991)
- [8] Henry D Foth. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah* (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1988)
- [9] *Humidity*. Di akses 29 Februari 2008 dari Wikipedia
<http://www.wikipedia.com/humidity.html>
- [10] *Elektrolit*. Di akses 13 Juni 2008 dari Wikipedia
<http://www.wikipedia.co.id/elektrolit.html>

LAMPIRAN

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

| Kelembaban (%) | Jarak Ukur Resistansi 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 resistansi tanah terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

| Kelembaban (%) | Jarak Ukur Resistansi 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 resistansi tanah terhadap pengaruh kelembaban dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

| Kelembaban (%) | Jarak Ukur Resistansi 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 resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

| Jarak Ukur Resistansi Tanah | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatur (°C) | 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 resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekiri.

| Jarak Ukur Resistansi Tanah | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-----|-------|-------|
| Temperatur (°C) | 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 resistansi tanah terhadap pengaruh temperatur dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran miring kekanan.

| Jarak Ukur Resistansi Tanah | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Temperatur (°C) | 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 resistansi tanah terhadap pengaruh kadar garam dengan jarak ukur 15, 20, 25, 30, dan 35 cm untuk posisi pengukuran lurus.

| Kadar Garam (gram) | Jarak Ukur Resistansi 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 resistansi 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 Resistansi 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 resistansi 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 Resistansi 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 |