

ABSTRAK

ANDI MENCEN ASHAR, *Analisis Resistivitas dan Permittivitas Tanah pada Daerah Makassar terhadap Injeksi Arus Variabel Frekuensi*. (dibimbing oleh, **H.Muh.Arief** dan **H. Nadjamuddin Harun**).

Penelitian ini bertujuan (1) menganalisis resistivitas tanah dan permitivitas tanah terhadap perubahan variabel frekuensi ; (2) mengukur dan menghitung resistivitas dan permitivitas berbagai macam sampel tanah ; (3) menentukan kandungan mineral organik dalam tanah yang meliputi sifat fisik dan sifat kimia tanah.

Penelitian ini dilakukan di beberapa titik lokasi di Makassar dengan pengambilan berbagai sampel tanah kemudian di-uji dan di-analisis di Laboratorium Kimia Tanah Unhas. Untuk pengukuran resistivitas tanah dan permitivitas dilakukan di Laboratorium BLPT Makassar, pengukuran sampel tanah ini diuji dengan frekuensi yang divariasikan mulai dari 100 Hz sampai dengan 10 Khz , kemudian sampel tanah diuji dengan penambahan berbagai macam kandungan mineral air dan garam mulai dari kering ,+5% sampai dengan +25% air .

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya korelasi yang cukup besar antara kenaikan frekuensi yang diinjeksikan pada tanah dengan harga resistivitas dan permitivitas tanah . Untuk harga resistivitas dan permitivitas tanah pada frekuensi 100 Hz sampel tanah rawa dalam keadaan kering ? =262 Ohm.m $\epsilon_r = 266$ dan pada saat basah ? =2 Ohm.m, $\epsilon_r = 289$ untuk tanah liat keadaan kering ? =299 Ohm.m $\epsilon_r = 282$ dan basah ? = 1.6 Ohm.m , $\epsilon_r = 314$, tanah pasir ? =247 Ohm.m , $\epsilon_r = 224$ dan basah ? = 4 Ohm.m $\epsilon_r = 262$ dan tanah lempung liat kering ? = 83 Ohm.m , $\epsilon_r = 218$ pada saat basah sebesar ? =1.5 Ohm.m. dan $\epsilon_r = 228$. Harga resistivitas dan permitivitas sampel tanah cenderung menurun terhadap kenaikan frekuensi, fungsi penurunannya tergantung kandungan mineral organik dalam tanah seperti :C-organik,Ca, Mg, K, Na dan N.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-----------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| DAFTAR ISI..... | ii |
| A. JUDUL PENELITIAN | 1 |
| B. BIDANG ILMU | 1 |
| C. PENDAHULUAN | 1 |
| D. RUMUSAN MASALAH | 2 |
| E. TINJAUAN PUSTAKA..... | 3 |
| Teori Belt Konveyor | 3 |
| Macam Belt Konveyor | 3 |
| Komponen Pendukung Belt Konveyor | 4 |
| Motor | 4 |
| Karakteristik Motor | 4 |
| Menentukan Daya Untuk Beban Konstan..... | 6 |
| Sensor Pencacah..... | 9 |
| F. TUJUAN PENELITIAN..... | 11 |
| G. KONTRIBUSI PENELITIAN..... | 11 |
| H. METODE PENELITIAN | 11 |
| I. JADWAL PENELITIAN | 13 |
| J. PERSONALIA PENELITIAN | 14 |
| K. BIAYA PENELITIAN | 15 |
| DAFTAR PUSTAKA | |

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Sistem pentanahan merupakan bagian penting dari suatu instalasi kelistrikan baik instalasi daya, penangkal petir, maupun untuk peralatan elektronik – telekomunikasi. Ditinjau dari frekuensi yang akan “diinjeksikan” ke instalasi tersebut sangatlah berbeda satu terhadap yang lain. Untuk itu tidak baik bila suatu sistem pentanahan disatukan untuk ke semua instalasi tersebut. Selama ini tinjauan frekuensi terhadap suatu sistem pentanahan diabaikan seakan akan semua instalasi dapat dipasang dengan sistem pentanahannya tanpa melihat faktor resistivitas dan permitivitasnya. Penelitian terhadap suatu sistem pengetanahan yang berfluktuasi terhadap frekuensi jarang dilakukan. Untuk menjawab masalah di atas perlu dilakukan penelitian dalam hal karakteristik resistivitas dan permitivitas terhadap perubahan frekuensi sistem pengetanahan.

Suatu sistem pentanahan selama ini dilihat sebagai bagian sistem tenaga listrik yang dalam kondisi normal tidak dialiri arus, akan tetapi dalam kondisi “terganggu” akan dialiri arus yang sesuai macam gangguan yang terjadi. Arus yang mengalir tersebut dapat berupa arus dengan frekuensi rendah atau frekuensi tinggi. Frekuensi rendah terjadi bila sistem pentanahan dari suatu netral sistem terjadi gangguan sehingga dialiri oleh arus dengan

frekuensi 50 Hz dalam kondisi *steady state* atau berfrekuensi lebih tinggi dalam kondisi *transien*. Frekuensi tinggi terjadi bila sistem penyetaraan tersebut dialiri oleh arus petir (**Anggoro, 2002**)

Frekuensi alamiah suatu petir dapat mencapai 1 MHz, akan tetapi bila diuraikan dalam frekuensi harmonisanya sekitar puluhan ribu – ratusan ribu Hertz dan bila dianggap suatu gelombang sinus yang teredam, arus impuls petir akan berfrekuensi orde ratusan ribu Hertz. Dari fenomena di atas terlihat bahwa sistem penyetaraan untuk penangkal petir dan untuk netral sistem tidak boleh disatukan karena akan memberi response tegangan yang berbeda saat diinjeksi berbagai macam frekuensi arus (**Anggoro, 2002**)

Salah satu faktor penting dalam sistem penyetaraan adalah masalah kandungan mineral tanah, mineral tanah akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu menyangkut nilai resistivitas dan permitivitas, sedang permeabilitas tanah relatif konstan dan sama dengan satu (1). Faktor luar tanah yang ikut menentukan harga resistivitas (ρ) dan permitivitas (ϵ) adalah campuran bahan lain seperti air, garam, larutan kimia, arang dan lain-lain. Khusus untuk sistem penyetaraan yang akan mendapatkan injeksi arus berfrekuensi tinggi seperti arus petir, analisa perubahan sifat listrik tersebut terhadap frekuensi harus diketahui lebih dulu. Dengan diketahui fungsi resistivitas dan permitivitas terhadap frekuensi maka simulasi besar impedansi yang akan terjadi pada sistem penyetaraan tersebut dapat diketahui.

Dipilihnya daerah Makassar sebagai obyek penelitian didasarkan pada keadaan struktur tanah yang beragam serta pengaruh tingkat pencemaran tanah oleh limbah industri akan merubah komposisi dan kandungan mineral tanah daerah Makassar yang sangat tinggi sehingga memungkinkan pengambilan sampel tanah yang bervariasi dalam mendukung obyek penelitian karakteristik pentanahan tanah .

Dengan dasar pemikiran di atas itulah, yang melatar belakangi munculnya inisiatif penulis melakukan penelitian tentang karakteristik resistivitas dan permitivitas tanah terhadap perubahan frekuensi sistem. Sampel yang digunakan adalah tanah dari daerah Makassar , Sulawesi-Selatan.

B. PERUMUSAN MASALAH

Untuk dapat mengetahui , apakah resistivitas dan permitivitas tanah pada daerah Makassar terhadap perubahan frekuensi mempunyai sifat-sifat kelistrikan tanah yang baik maka , perlu diketahui karakteristiknya , baik itu karakteristik resistivitas maupun karakteristik permitivitasnya. Dengan demikian , masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan, sebagai berikut :

1. Apakah resistivitas dan permitivitas tanah berpengaruh terhadap perubahan frekuensi ?
2. Berapa besar resistivitas dan permitivitas tanah terhadap sistem pentanahan pada obyek penelitian ?

3. Apakah kandungan mineral tanah dapat berpengaruh pada resistivitas dan permittivitas tanah ?.

C. TUJUAN PENELITIAN

Dari rumusan masalah di atas, ada beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai antara lain :

1. Untuk menentukan karakteristik resistivitas dan permitivitas tanah daerah Makassar terhadap perubahan frekuensi arus.
2. Untuk menghitung besarnya resistivitas dan permitivitas tanah.
3. Untuk menentukan kandungan mineral organik dalam tanah pada daerah Makassar, Sulawesi-Selatan

D. RUANG LINGKUP PENELITIAN.

Adapun ruang lingkup penelitian ini, dibatasi oleh beberapa hal, sebagai berikut :

1. Sasaran penelitian ini adalah menentukan karakteristik resistivitas dan permitivitas tanah daerah Makassar terhadap perubahan frekuensi arus.
2. Analisis pembahasan lebih ditekankan pada sifat-sifat kelistrikan tanah serta komposisi kandungan mineral sampel tanah terhadap berbagai macam perubahan injeksi frekuensi arus.
3. Sampel tanah yang diuji meliputi tanah rawa, tanah liat, tanah pasir dan tanah berlempung berliat.

E. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan sains dan teknologi, khususnya pengembangan teknologi pentanahan yang baik.
2. Memberikan masukan pada PT.PLN dan perusahaan listrik swasta dalam penerapan sistem pentanahan ideal pada semua instalasi listrik, terutama masalah permitivitas tanah yang harus diperhatikan.
3. Memberikan informasi pada produsen listrik dan peneliti lainnya yang akan melakukan penelitian tentang karakteristik dan sifat-sifat kelistrikan tanah di daerah lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. TEORI PENTANAHAN

Sistem pentanahan baik untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk peralatan khususnya telekomunikasi perlu mendapatkan perhatian serius, karena pada dasarnya pentanahan tersebut merupakan dasar perhitungan suatu proteksi. Tidak jarang baik orang awam maupun teknisi bahkan seorang insinyur listrik, masih kurang tepat dalam menginterpretasikan hambatan pentanahan. Besaran yang sangat dominan untuk diperhatikan dari suatu sistem pentanahan adalah hambatan sistem pentanahan tersebut. Sampai saat ini orang mengukur hambatan pentanahan hanya dengan menggunakan alat *earth tester* yang prinsipnya mengalirkan arus searah ke dalam sistem pentanahan. Sedangkan kenyataannya yang terjadi suatu sistem pentanahan tersebut tidak pernah dialiri arus searah, karena biasanya berupa sinusoidal atau bahkan berupa impuls (petir) dengan frekuensi tingginya atau berbentuk arus berubah waktu yang sangat tidak menentu bentuknya.

Permasalahan yang penting dalam suatu pentanahan baik untuk penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah berapa besar resistivitas sistem pentanahan dan bagaimana pengaruh permitivitas tanah

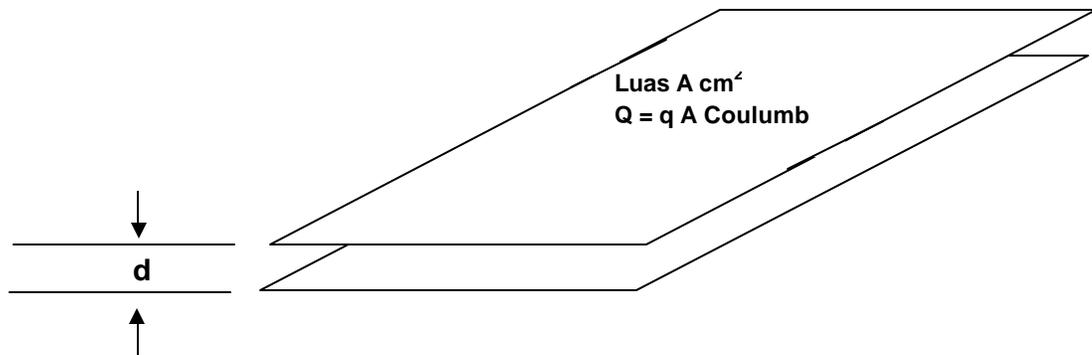
pada daerah tersebut. Besar resistivitas pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor baik faktor internal maupun faktor eksternal. Yang dimaksud dengan faktor internal meliputi dimensi konduktor pentanahan (diameter dan panjangnya), resistivitas relatif tanah, dan konfigurasi sistem pentanahan. Sedangkan yang dimaksud dengan faktor eksternal meliputi bentuk arus (pulsa, sinusoidal, searah) dan frekuensi arus yang mengalir. Arus yang mengalir pada sistem pentanahan dapat diketahui spektrum frekuensinya. Menurut **Anggoro** (2002) perilaku tahanan sistem pentanahan sangat bergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisnya) dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut.

Tujuan utama dari berbagai sistem pentanahan tersebut adalah untuk mendapatkan tahanan kontak ke tanah yang cukup kecil. Untuk mengetahui sejauh mana tahanan kontak ke tanah dapat diperkecil, perlu mengetahui rumus-rumus tahanan kontak ke tanah dari masing-masing sistem pentanahan. Dasar perhitungan adalah perhitungan dari susunan batang-batang elektroda pentanahan dengan anggapan bahwa distribusi arus atau muatan uniform sepanjang batang elektroda. Hubungan tahanan dan kapasitansi dapat dijelaskan dengan suatu analogi. Analogi ini merupakan dasar perhitungan karena aliran arus masuk ke dalam tanah dari elektroda pentanahan mempunyai kesamaan dengan fluks listrik dari konfigurasi yang sama dari konduktor yang mempunyai muatan yang terisolir.

1. Dasar Perhitungan Pentanahan

Dasar perhitungan tahanan pengetanahan adalah perhitungan kapasitas dari susunan batang-batang elektroda pengetanahan dengan anggapan bahwa distribusi arus atau muatan uniform sepanjang elektroda. Hubungan tahanan dan kapasitas dapat dijelaskan dengan suatu analogi. Analogi ini merupakan dasar perhitungan karena aliran arus masuk kedalam tanah dari elektroda pengetanahan mempunyai kesamaan dengan emisi fluks listrik dari konfigurasi yang sama dari konduktor yang mempunyai muatan terisolir.

Misalkan dua pelat konduktor dengan luas masing-masing $A \text{ cm}^2$ dengan rapat muatan pelat masing-masing q/cm^2 , dan $-q/\text{cm}^2$, jarak antara pelat adalah $d \text{ cm}$,



Gambar 1. Konduktor pelat

Jumlah garis fluks yang melalui dielektrik di antara kedua pelat adalah $4\pi qA$ dan kuat medannya adalah $4\pi q$. Maka tegangan antara kedua plat $V = 4\pi qd$ Volt, jumlah muatan Q adalah qA Coulomb.

Dari hubungan :

$$C = \frac{Q}{V}$$

Diperoleh :

$$\frac{1}{C} = \frac{4 \rho q d}{q A}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{4 \rho d}{A} \quad (1)$$

Jika di antara kedua pelat diletakkan tanah dengan tahanan jenis ρ Ohm-cm maka tahanan antara pelat adalah :

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

Dari persamaan (1) diperoleh :

$$\frac{d}{A} = \frac{1}{4 \rho C}$$

Sehingga tahanan :

$$R = \frac{\rho}{4 \rho C} \quad (2)$$

Dimana :

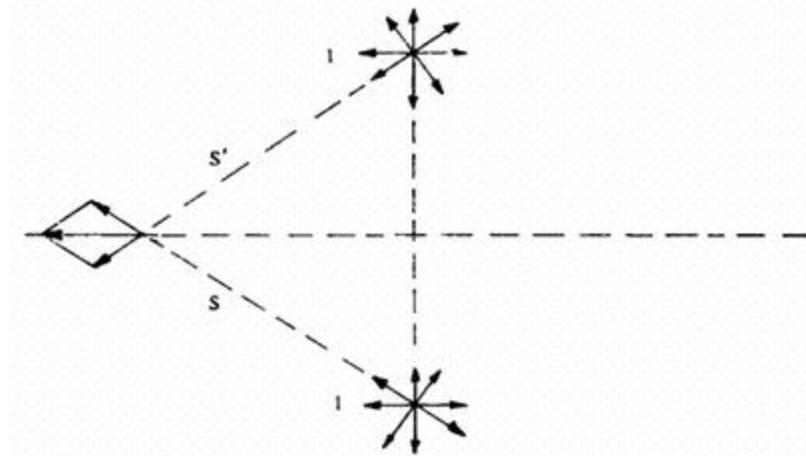
R = tahanan (Ohm)

C = kapasitansi (statfarad)

ρ = tahanan jenis tanah (Ohm-cm)

Dalam hal ini tahanan elektrodanya sendiri tidak diperhitungkan karena tahanan jenis konduktor kecil sekali dibandingkan dengan tahanan jenis tanah. Kalau kita perhatikan persamaan 2, maka persoalannya adalah penentuan kapasitansi dari sistem pengetanahan untuk menentukan tahanan pengetanahannya. Penentuan besar kapasitansi suatu sistem pengetanahan adalah dengan prinsip bayangan.

Prinsip bayangan serta sederhana dapat diterangkan sebagai berikut, misalkan dua elektroda titik 1 dan 1 bermuatan yang sama besarnya di dalam media yang tak terbatas, dan juga dimisalkan arus I mengalir pada kedua titik tersebut, gambar 2.



Gambar 2. prinsip bayangan pentanahan

Arus I akan mengalir keluar dari kedua elektroda secara radial. Suatu bidang bayangan terletak di tengah-tengah kedua elektroda dan tegak lurus terhadap garis hubung kedua elektroda. Karena kedua elektroda tersebut simetris terhadap bidang bayangan, maka tidak ada arus yang mengalir

dalam arah tegak lurus bidang bayangan. Apabila media dan elektroda pada suatu sisi dihilangkan tanpa mengubah distribusi arus dan tegangan maka bidang bayangan PP' dapat disamakan dengan permukaan tanah. Apabila bidang bayangan dianggap sebagai permukaan tanah maka potensial disebabkan oleh elektroda di bawah permukaan tanah adalah :

$$V = \frac{I \rho}{4\pi S} + \frac{I \rho'}{4\pi S'} \quad (3)$$

Dimana :

V = potensial pada permukaan tanah

I = arus yang masuk tanah dari elektroda

ρ = tahanan jenis tanah

S = jarak elektroda terhadap permukaan tanah

S' = jarak bayangan elektroda terhadap permukaan tanah

2. Rangkaian Ekuivalen Pentanahan

Rangkaian ekuivalen satu elektrode batang dibuat dengan elemen rangkaian terkonsentrasi (Gonos, et al., 1998, 1999) seperti gambar 3. Model tersebut didasarkan kenyataan bahwa impedansi pentanahan tidak bersifat sebagai tahanan murni tetapi juga berperilaku sebagai induktansi (L) dan kapasitansi (C). Tahanan murni (R) lebih banyak disebabkan karena adanya sifat resistivitas tanah dimana sistem pentanahan tersebut ditanam. Induktansi (L) lebih dipengaruhi oleh panjang konduktor yang ditanam dan

sifat permeabilitas tanah. Seperti halnya sifat induktansi yang lain, maka makin panjang konduktor yang ditanam maka makin besar induktansi sistem pentanahannya. Komponen kapasitor dari sistem pentanahan dapat diterangkan dari konduktor yang saat ini diinjeksi arus berarti konduktor tersebut bertegangan. Beda tegangan antara konduktor dengan titik nol referensi menyebabkan sifat kapasitansi dari sistem tersebut dengan media tanah yang mempunyai permitivitas ϵ . Dengan demikian, impedansi pentanahan dapat dibuat rangkaian ekuivalennya seperti gambar 3. Untuk satu batang elektrode pentanahan yang mempunyai panjang l dan radius r ditanam tegak lurus pada tanah yang mempunyai resistivitas tanah ρ homogen, maka elektrode bersama tanah akan mempunyai tahanan, induktansi dan kapasitansi yang besarnya adalah :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{r} \quad (4)$$

$$L = 2l \ln \frac{2l}{r} \cdot 10^{-7} \quad (5)$$

$$C = \frac{\epsilon \cdot l}{18 \ln \frac{4l}{r}} \cdot 10^{29} \quad (6)$$

Dengan,

R = tahanan pengetanahan (Ohm)

ρ = resistivitas jenis tanah (Ohm. m)

l = panjang elektroda pentanahan (m)

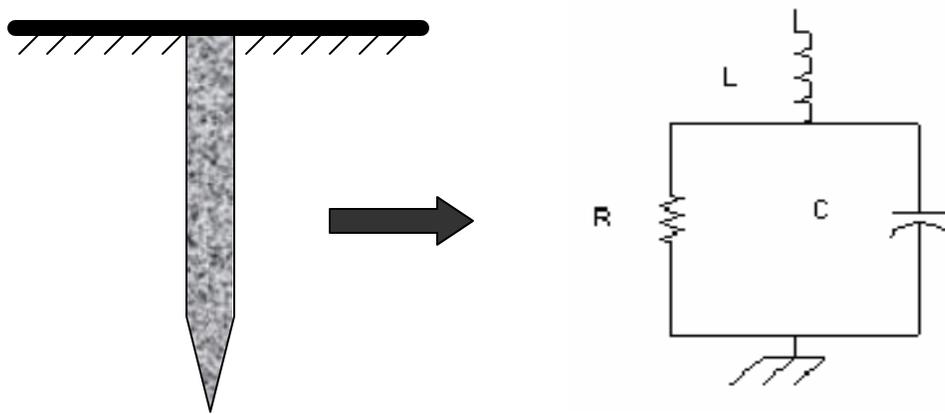
r = radius elektroda pentanahan (m)

ϵ_r = permitivitas relatif tanah

L = induktansi pentanahan (H)

C = Kapasitansi dalam tanah (Farad)

Untuk pengukuran resistivitas tanah dan permitivitas maka perlu dibuat rangkaian ekuivalent yang mencerminkan kondisi benda / tanah yang diuji. resistansi, induktansi, dan kapasitansi objek tanah yang diuji dengan hubungan rangkaian seri dan paralel. Seperti pada gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Rangkaian pengganti Objek tanah

Dari rangkaian di atas didapat harga $Z = j\omega L + R / \frac{1}{j\omega C}$

$$Z = j\omega L + \frac{R / j\omega C}{R + 1 / j\omega C}$$

$$Z = j\omega L \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

$$Z = j\omega L \frac{R + j\omega R^2 C}{1 + (\omega RC)^2} \quad (7)$$

$$Z \cdot \cos \phi = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2} \quad (8)$$

$$Z \cdot \sin \phi = j \frac{\omega L}{1 + (\omega RC)^2} \frac{R^2 C}{R} \quad (9)$$

Dengan menggunakan rumus dasar

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

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (10)$$

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (11)$$

Dimana :

R = tahanan pengetanahan (Ohm)

ρ = resistivitas tanah (Ohm-m)

l = panjang elektrode pentanahan (m)

ϵ_r = permitivitas relatif tanah

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa

C = kapasitansi (statFarad) dimana 1 StatFarad = $1,11265 \cdot 10^{-12}$ Farad

A = Luas penampang plat (m^2)

Z = impedansi pentanahan (Ohm)

d = jarak antara plat (meter)

B. Resistivitas Jenis Tanah (?)

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ? dalam persamaan 2. Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu :

- a. Keadaan struktur tanah antara lain ialah struktur geologinya, seperti tanah liat ,tanah rawa, tanah berlempung berliat, tanah berpasir, tanah gambut dan sebagainya.
- b. Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam, dan mineral-mineral lainnya.
- c. Keadaan iklim, basah atau kering.
- d. Temperatur tanah dan jenis tanah

1. Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per cm^3 . Kadang-kadang harga ini dinyatakan dalam Ohm-cm (lihat tabel 1. resistivitas berbagai jenis tanah). Pernyataan Ohm-cm mempresentasikan tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 cm^3 . Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan tujuan mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali.

Tabel 1. Resistivitas berbagai jenis tanah

| No | Deskripsi tanah | Tahanan jenis tanah Rerata(Ohm.cm) |
|----|--|-------------------------------------|
| 1 | Mengandung kerikil tinggi, campuran kerikil dan pasir, kerapatan rendah dan tidak halus. | 60.000 – 100.000 |
| 2 | Mengandung kerikil dan tandus, campuran kerikil dan pasir kerapatan rendah dan tidak halus | 100.000 – 250.000 |
| 3. | Berkerikil dan Liat (merah kuning), tandus, campuran tanah Liat dan pasir | 20.000 – 40.000 |
| 4 | Pasir berlumpur, campuran pasir dan lumpur | 10.000 – 50.000 |
| 5 | Pasir Liat berbatu campuran pasir dan tanah Liat tandus | 5.000 – 20.000 |
| 6 | Pasir halus berlumpur dan Liat berbatu mengandung plastik berkonsentrasi rendah | 3.000 – 8000 |
| 7 | Pasir halus atau tanah lumpur, lumpur elastis | 8.000 – 30.000 |
| 8 | Tanah Liat (merah kuning) berkerikil,Liat berbatu berpasir, Liat berlumpur, tidak Liat | 2.500 – 5.000 |
| 9 | Liat aborganik, dengan kandungan plastik tinggi | 1.000 – 5.500 |

(Sumber pengukuran langsung di lapangan).

Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu. Biasanya tahanan tanah juga tergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman di mana terdapat air tanah yang konstan. Setelah diperoleh harga tahanan jenis tanah, dan biasanya diambil harga yang tertinggi, berdasarkan harga tahanan jenis tanah tersebut dibuat perencanaan pentanahan. Jadi pada suatu perencanaan pentanahan, pengukuran tahanan jenis tanah dan karakteristik tanah pada tempat di mana akan di dirikan gardu induk harus dilakukan terlebih dahulu.

2. Pengaruh Unsur Kimia

Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembumian ditanam. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali.

Cara lain untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah dapat dilakukan dengan memberikan air atau membasahi tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung

dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan, maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu.

3. Pengaruh Iklim

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembumian dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembumian sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Kadangkala pembenaman elektroda pembumian memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

Proses mengalirnya arus listrik di dalam tanah sebagian besar akibat dari proses elektrolisa, oleh karena itu air di dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik dalam tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah, maka konduktivitas dari tanah akan semakin besar sehingga tahanan tanah semakin kecil.

4. Pengaruh Temperatur Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pembumian juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada

temperatur di bawah titik beku air (0°C) (tabel 2), dibawah harga ini penurunan temperatur yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

Tabel 2. Efek temperatur terhadap resistivitas tanah
Sumber : IEEE std 142-1991

| No. | Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) | Resistivitas (Ohm.cm) |
|-----|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 | -5 | 70.000 |
| 2 | 0 | 30.000 |
| 3 | 0 | 10.000 |
| 4 | 10 | 8.000 |
| 5 | 20 | 7.000 |
| 6 | 30 | 6.000 |
| 7 | 40 | 5.000 |
| 8 | 50 | 4.000 |

Gejala di atas dapat dijelaskan sebagai berikut ; pada temperatur di bawah titik beku air (0°C) , air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi rendah sekali. Bila temperatur tanah naik, air akan berubah menjadi fase cair, molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun. Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

dimana :

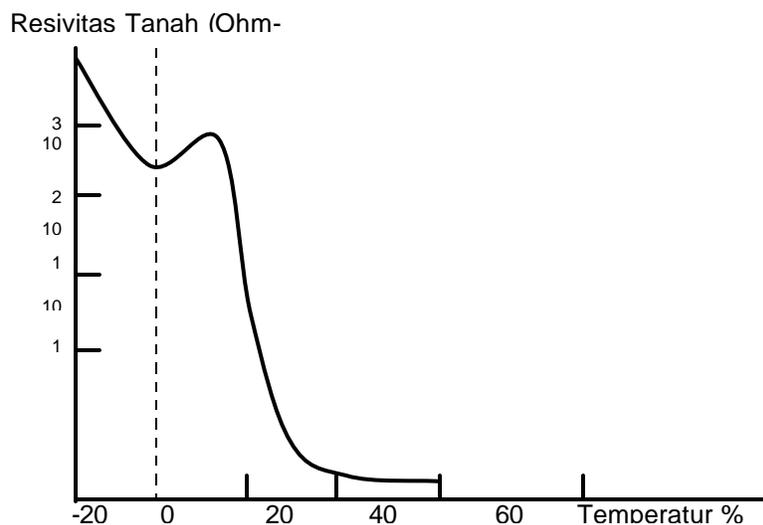
$$\rho_t = \text{tahanan jenis tanah pada } t^{\circ}\text{C.}$$

ρ_o = tahanan jenis tanah pada 0°C

α_o = koefisien temperatur tahanan per °C pada 0°C

t = temperatur yang timbul (°C)

Temperatur tanah disekitar elektroda pentanahan mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah. Hubungan antara temperatur tanah dan tahanan jenis tanah dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



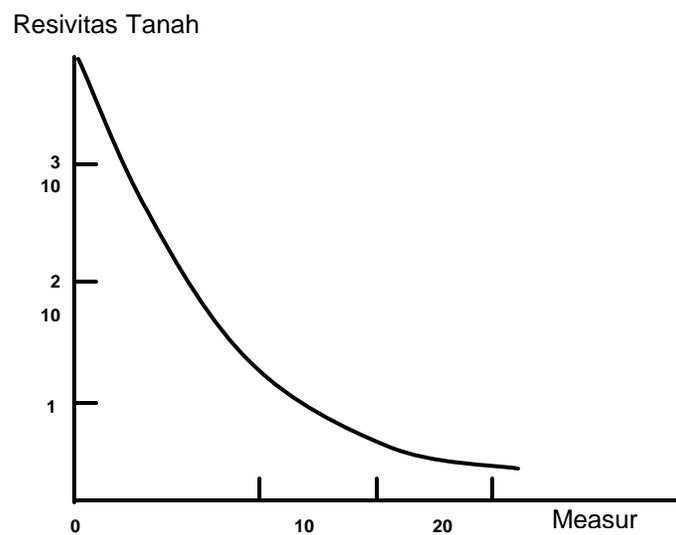
Gambar 4. Grafik Hubungan antara temperature dengan tahanan jenis tanah
Sumber:(Antonius, 1998).

Temperatur dibawah titik beku, air dalam tanah akan membeku menyebabkan molekul-molekul air sukar bergerak dalam tanah. Apabila temperature di atas titik beku, maka molekul-molekul air bebas bergerak,

sehingga proses elektrolisa berlangsung dengan baik. Dengan demikian konduktifitas tanah bertambah sehingga tahanan jenis tanah berkurang.

5. Kelembaban Tanah.

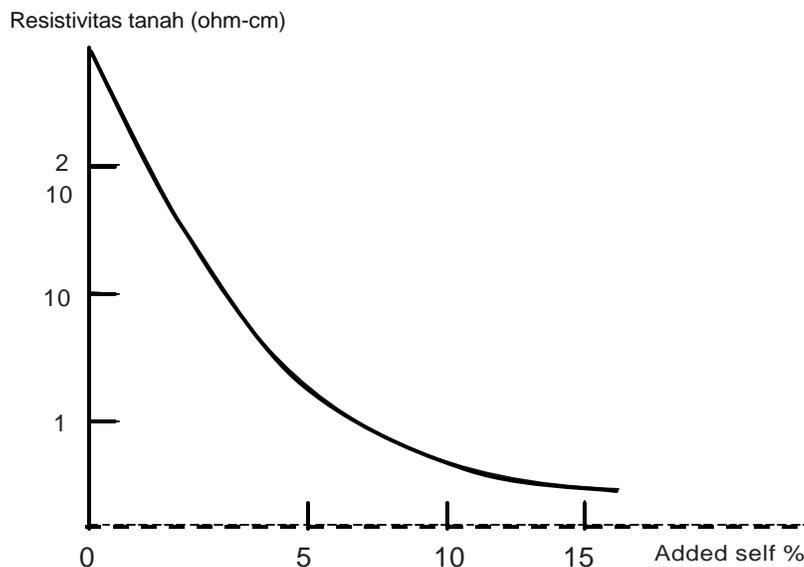
Pada nilai kelembaban tanah yang rendah diperoleh tahanan jenis tanah besar dan sebaliknya bila kelembaban tanah atau konsentrasi air dalam tanah tinggi, maka harga tahanan jenis tanah rendah. Hal ini disebabkan karena proses mengalirnya arus listrik didalam tanah sebagian besar adalah proses elektrolisa sehingga konsentrasi air dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas tanah. Semakin besar konduktivitas air dalam tanah, konduktivitas tanah semakin besar, dengan demikian tahanan jenis tanah semakin kecil.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara kelembaban dengan tahanan jenis tanah. Sumber:(Antonius, 1998)

6. Kadar garam Tanah.

Untuk memperkecil tahanan jenis tanah dan mengurangi pengaruh musim terhadap perubahan tahanan jenis tanah, dilakukan dengan cara memberikan sodium, calcium clorida dan sodium carbonat. (*Pabla, A.S.* 1994). Hubungan antara kadar garam dan tahanan jenis tanah dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini:



Gambar.6. Grafik Hubungan antara kadar garam dan tahanan jenis tanah.

Sumber:(*Antonius,1998*)

C. Permittivitas Relatif Tanah (ϵ_r)

Dalam studi mengenai sistem pengetanahan tidak dapat mengabaikan sifat-sifat tanah sebagai tempat pengetanahan tersebut dipasang. Pada umumnya dalam merencanakan sistem pengetanahan orang

hanya mencari / mengukur /menghitung resistivitas terlebih dahulu tanpa memperhitungkan permitivitas tanahnya. Hal ini tidak akan menghasilkan sistem pengetanahan yang baik khususnya bila sistem pengetanahan tersebut akan dipasang pada instalasi yang memungkinkan mendapat frekuensi yang tinggi. Permitivitas tanah (ϵ) pada tiap daerah sangat berbeda dengan daerah yang lainnya hal ini disebabkan karena struktur tanah dan mineral tanah berperan dalam proses pembentukan sifat fisik dan kimia tanah.

Sifat kelistrikan tanah yang meliputi resistivitas ρ , permitivitas listrik ϵ , dimana permitivitas listrik dapat dihitung dengan rumus dasar $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ dan sifat kemagnetan, yaitu permeabilitas magnetik μ ($\mu = \mu_r \mu_0$). Jadi Perbandingan antara permitivitas suatu bahan (ϵ) dengan permitivitas ruang hampa (ϵ_0) disebut **permitivitas relatif** atau konstanta dielektrik dinyatakan dengan yaitu :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (12)$$

dimana :

ϵ = permitivitas listrik

ϵ_r = permitivitas relative (tanpa satuan)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa (8.85×10^{-12}) $\frac{C^2}{N.m^2}$

Untuk kapasitor yang dapat diubah-ubah kapasitasnya atau kapasitor variabel yang mempunyai plat lebih dari dua, dapat ditulis bahwa luas pelat efektif dari n pelat adalah $(n-1)$ dikali luas penampang masing masing plat. Oleh karena itu dapat ditulis :

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (n-1)A}{d} \quad (13)$$

Dimana :

C = Kapasitansi (Farad)

n = banyaknya pelat paralel (bagian luar)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa

A = luas pelat (m^2)

d = jarak antara pelat-pelat (m).

D. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Sesuai dengan tujuan pentanahan bahwa arus gangguan harus secepatnya terdistribusi secara merata ke dalam tanah, maka penyelidikan tentang karakteristik tanah sehubungan dengan pengukuran tahanan dan tahanan jenis tanah merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi besarnya tahanan pentanahan. Pada kenyataannya

tahanan jenis tanah harganya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanahnya dan faktor faktor lain.

Untuk memperoleh harga tahanan jenis tanah yang akurat diperlukan pengukuran secara langsung pada lokasi pembangunan listrik karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan. Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berbeda-beda (non uniform). Pada pemasangan sistem pentanahan dalam suatu lokasi gardu induk, tidak jarang peralatan pentanahan tersebut ditanam pada dua atau lebih lapisan tanah yang berbeda yang berarti bahwa tahanan jenis tanah di tempat itu tidak sama. Apabila lapisan tanah pertama dari sistem pentanahan mempunyai tahanan jenis sebesar r_1 sedangkan lapisan bawahnya dengan tahanan jenisnya adalah r_2 , maka diperoleh faktor refleksi K seperti pada persamaan :

$$K = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \quad (14)$$

Dari persamaan di atas memungkinkan faktor refleksi K berharga positif atau negatif. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tahanan jenis tanah antara lain: Pengaruh temperatur, pengaruh gradien tegangan, pengaruh besarnya arus, pengaruh kandungan air dan pengaruh kandungan bahan kimia. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi

tahanan jenis tanah sangat besar. Kadangkala pada penanaman elektroda memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, untuk hal seperti ini harga tahanan jenis tanah harus diambil dari keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Berdasarkan harga inilah dibuat suatu perencanaan pengetanahan. 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. Tahanan jenis rata-rata dari dua lapis tanah menurut *IEEE standar 81* dimodelkan sebagai berikut :

$$\rho_{av} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{d} \left[\frac{2a}{\sqrt{1 + (2nH/a)^2}} - \frac{a}{\sqrt{1 + (2nH/2a)^2}} \right] \right\} \quad (15)$$

ρ_{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 : koefisien refleksi

d : diameter elektroda (meter)

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

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.

1. Nilai resistansi jenis tanah.

ρ_t sangat berbeda tergantung komposisi tanah seperti dapat dilihat dalam pasal 3.18.3 dalam PUIL 2000 atau yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Nilai rata-rata jenis tanah ρ_t

| Jenis Tanah | Resistans jenis tanah ρ_t dalam Ohm-m |
|-----------------------------|--|
| Tanah rawa | 30 |
| Tanah Liat dan tanah ladang | 100 |
| Pasir basah | 200 |
| Kerikil basah | 500 |
| Pasir/kerikil kering | 1000 |
| Tanah berbatu | 3000 |
| Air laut dan air tawar | 100 |

Nilai-nilai tersebut pada Tabel 1 seluruhnya berlaku untuk tanah lembab sampai basah. Pasir kering mutlak atau berbatu adalah suatu bahan isolasi yang bagus, sama seperti air destilasi. Maka elektrode bumi selalu harus ditanam sedalam mungkin dalam tanah, sehingga dalam musim kering selalu terletak dalam lapisan tanah yang baik

2. Nilai Resistansi Pembumian

Resistansi pembumian elektrode bumi ?t tergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektrode.

Tabel 4. Tabel *nilai* rata-rata dari resistans pembumian untuk elektrode bumi (lihat tabel 3.18.3.2 dalam PUIL 2000) .

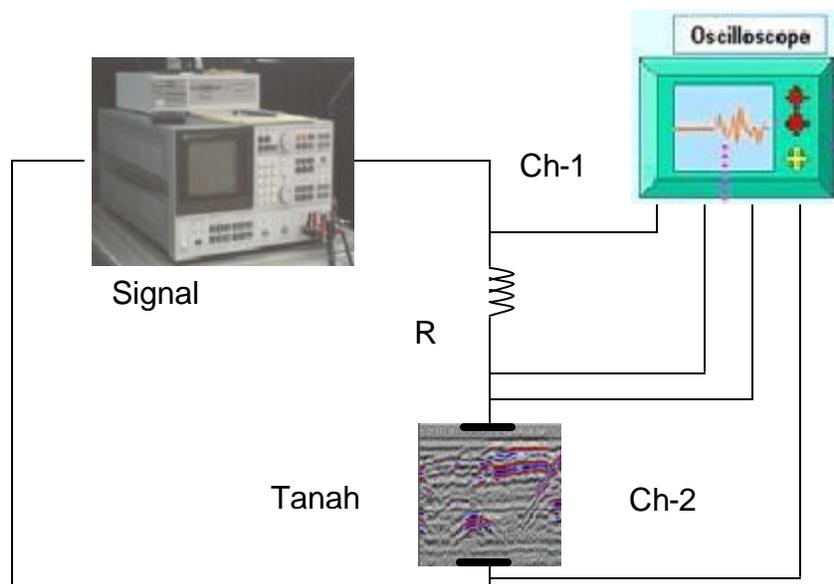
| Jenis elektrode | Pita atau penghantar pilin | | | | Batang atau pipa | | | | Plat vertikal dengan sisi atas + 1 m dalam tanah | |
|------------------|----------------------------|----|----|-----|------------------|----|----|----|--|-------|
| | Panjang | | | | Panjang | | | | Ukuran (m ²) | |
| | 10 | 25 | 50 | 100 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0.5 x 1 | 1 x 1 |
| Resistansi (O) | 20 | 10 | 5 | 3 | 70 | 40 | 30 | 20 | 35 | 25 |

E. PENGUKURAN SIFAT-SIFAT KELISTRIKAN TANAH

Pengukuran hambatan jenis tanah yang akan menentukan hambatan pentanahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi temperatur, gradien tegangan, besar arus, kandungan air dan bahan kimia, kelembaban serta cuaca. Untuk mengetahui harga hambatan jenis tanah yang akurat diperlukan pengukuran secara langsung pada lokasi, karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai hambatan jenis tanah yang tidak sama (*Hutauruk, 1991*). Dalam penelitian ini pengujian untuk

menentukan sifat-sifat kelistrikan tanah, diperlukan suatu sumber arus bolak-balik frekuensi variabel dari kecil sampai orde MHz.

Osiloskop yang berguna untuk mengukur serta melihat pergeseran sudut phasanya. Kotak dari fiber glass tebal ukuran 10 cm x 10 cm dengan 2 sisi atas dan bawah diberi plat konduktor yang akan diberi tegangan dari sumber daya bolak-balik. Seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 7. Rangkaian Pengukuran Eksprimen

1. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara :

- a. Metode tiga titik (*three-point method*).
- b. Metode empat titik (*four electrode method*)
- c. Metode Geolistrik

a. Metode Tiga Titik

Metode tiga titik (*three-point methode*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya, seperti pada gambar 8.

Bila tahanan diantara tiap – tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_{1?2} ? \frac{V_{1?2}}{I} ? R_{11} ? R_{22} ? 2R_{12}$$

$$R_{1?3} ? \frac{V_{1?3}}{I} ? R_{11} ? R_{33} ? 2R_{13}$$

$$R_{2?3} ? \frac{V_{2?3}}{I} ? R_{22} ? R_{33} ? 2R_{23}$$

$$\frac{V_{1?2} ? V_{1?3} ? V_{2?3}}{I} ? 2R_{11} ? 2R_{12} ? 2R_{13} ? 2R_{23}$$

Tetapi,

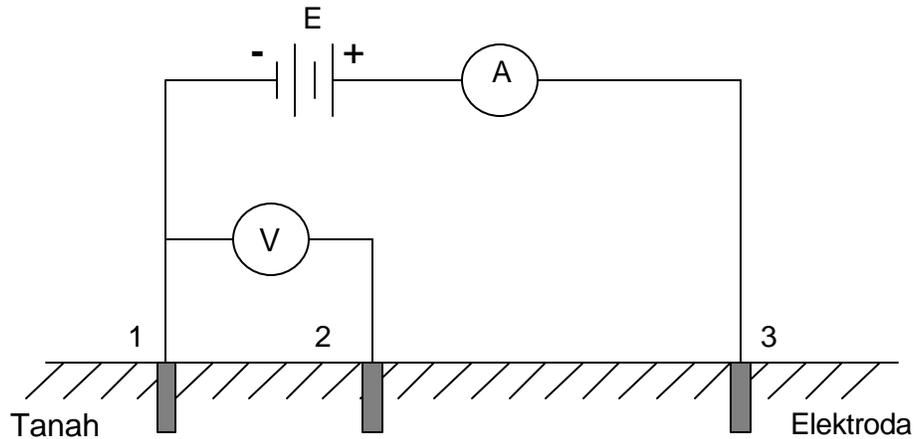
$$V_{1?3} ? V_{1?2} ? V_{2?3}$$

Jadi :

$$R ? \frac{V_{1?2}}{I} ? R_{11} ? R_{12} ? R_{13} ? R_{23}$$

Akhirnya :

$$R_{11} \neq R \neq R_{12} \neq R_{13} \neq R_{23} \quad (16)$$



Gambar 8. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan Metode tiga titik

Tahanan batang pengetanahan dari elektroda 1 dapat dibuat :

$$R_{12} \neq R_{13} \neq R_{23} \neq 0 \quad (17)$$

b. Metoda Empat Titik

Metoda pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti gambar 9. 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 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\pi r^2$, dan rapat arus adalah :

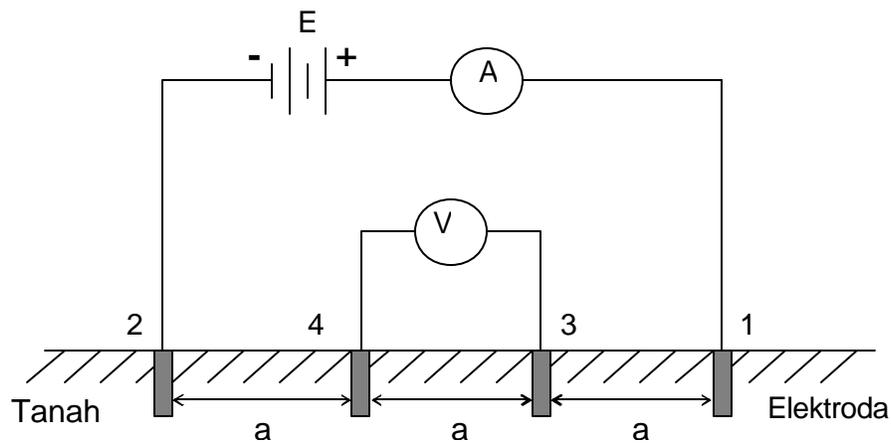
$$J = \frac{I}{2\pi r^2}$$

dimana :

J = kerapatan arus [A/m^2]

r = jari-jari [m]

I = arus yang mengalir dalam tanah [A]



Gambar 9. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metoda empat titik

Jika ρ adalah tahanan jenis tanah, maka medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak r adalah :

$$E_{(r)} = J \rho \quad [V/m]$$

Sehingga menjadi

$$E_{(r)} = \frac{I}{2\pi r^2} \quad [V/m]$$

Potensial pada jarak r dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak r ke titik tak berhingga :

$$V = \int_r^\infty E(r) \cdot dr$$

$$V_3 = \int_a^{2a} \frac{I}{2\pi r^2} dr$$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi} \int_a^{2a} \frac{1}{r^2} dr = \frac{I}{2\pi} \int_a^{2a} r^{-2} dr$$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi} \int_a^{2a} r^{-2} dr$$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi} \left[-\frac{1}{r} \right]_a^{2a}$$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi} \left[-\frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right]$$

$$V_3 = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right] = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{2}{2a} - \frac{1}{2a} \right]$$

$$V_4 = \int_{2a}^a \frac{I}{2\pi r^2} dr$$

$$V_4 = \frac{I}{2\pi} \int_{2a}^a \frac{1}{r^2} dr = \frac{I}{2\pi} \int_{2a}^a r^{-2} dr$$

$$V_4 = \frac{I}{2} r^2 \frac{1}{2a}$$

$$V_4 = \frac{I}{2} \frac{1}{r} \frac{1}{2a}$$

$$V_4 = \frac{I}{2} \frac{1}{a} \frac{1}{2a}$$

$$V_4 = \frac{I}{2} \frac{1}{a} \frac{1}{2a} = \frac{I}{2} \frac{1}{2a} \frac{1}{a}$$

Karena $V_{34} = V_3 - V_4$, maka

$$V_{34} = \frac{I}{2} \frac{1}{a} \frac{1}{2a} - \frac{I}{2} \frac{1}{2a} \frac{1}{a}$$

$$V_{34} = \frac{I}{2} \frac{1}{a} \frac{1}{2a} - \frac{I}{2} \frac{1}{2a} \frac{1}{a}$$

$$V_{34} = \frac{I}{2} \frac{2}{a} \frac{1}{a}$$

$$V_{34} = \frac{I}{2} \frac{1}{a}$$

$$V_{34} = I \frac{1}{2a}$$

Dan

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I} = \frac{1}{2a}$$

Sehingga:

$$\rho = R_{34} \left(\frac{2a}{\pi} \right) \quad (18)$$

dimana :

a = jarak antara elektroda [m]

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

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

Dengan alat ukur yang dibuat khusus untuk ini yang terdiri-dari generator yang diputar dengan tangan dan *Ohm-meter*, dapat dibaca langsung tahanan antara elektroda arus dan elektroda tegangan.

c. Metode Resistivitas (Geolistrik)

Metode resistivitas merupakan metode geolistrik yang mempelajari sifat tahanan jenis listrik dari lapisan tanah di dalam bumi. Berdasarkan tujuan penyelidikan metode resistivitas ini dibagi menjadi dua kelompok besar Yaitu : metode *resistivitas mapping* dan metode *resistivitas sounding*.

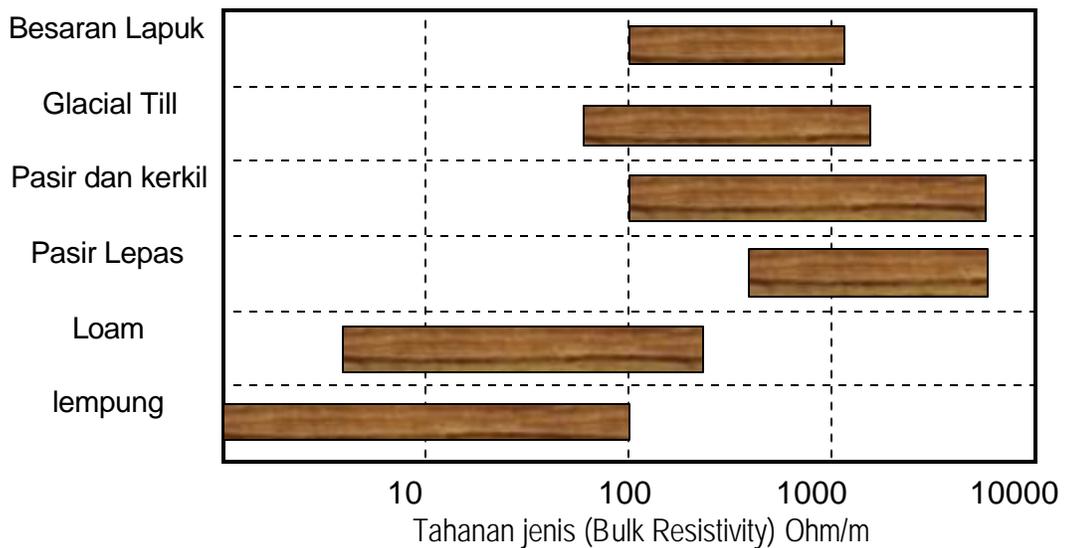
Metode ini dikenal berbagai macam konfigurasi. Diantaranya yang sering digunakan adalah :

- konfigurasi wenner
- konfigurasi schlumberger
- konfigurasi Bipol-dipol

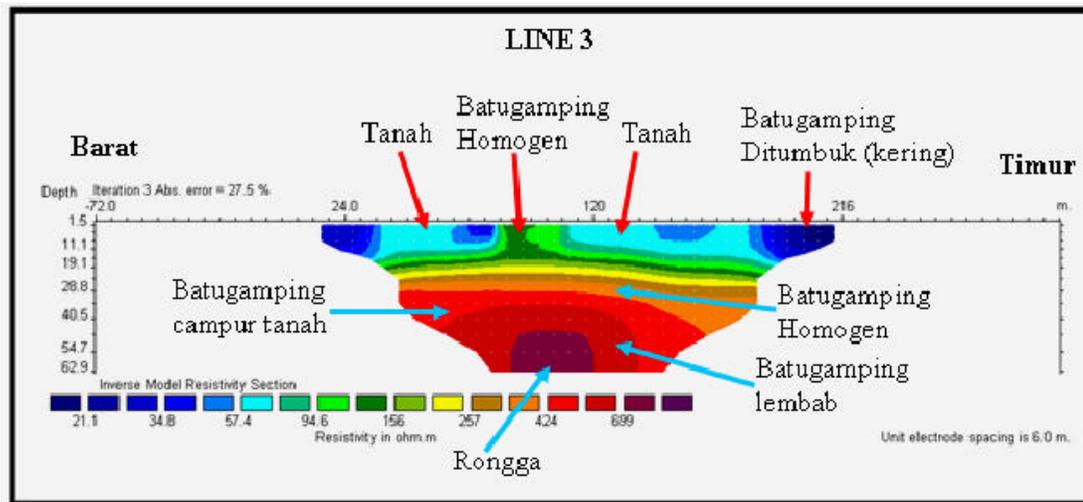
konfigurasi diatas memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu harus

dilakukan pemilihan terlebih dahulu jenis konfigurasi yang sesuai dengan kasus yang dihadapi.

Dengan menggunakan pasangan atau susunan elektroda yang tertanam dalam tanah, pengukuran resistivitas permukaan dapat dilakukan untuk mengukur perbedaan potensial arus listrik yang digunakan melintasi suatu tempat. Jarak elektroda dapat digunakan untuk menentukan kedalaman penetrasi dengan metode resistivitas, dan interpretasinya dipengaruhi oleh jenis susunan yang digunakan (*Wenner, dipole-dipole, Schlumberger*).



Gambar 10. Besaran Resistivitas (*Cone Tech & Geo Probe 1997*)



Gambar 11. Konstruksi bawah tanah Methode Wenner-Schlumberger,
Sumber : Deny Juanda P. Dan Imam P.,2006

2. Elektroda Pembeduan

Elektroda pembeduan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung tersebut diatas dengan tujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ke tanah.

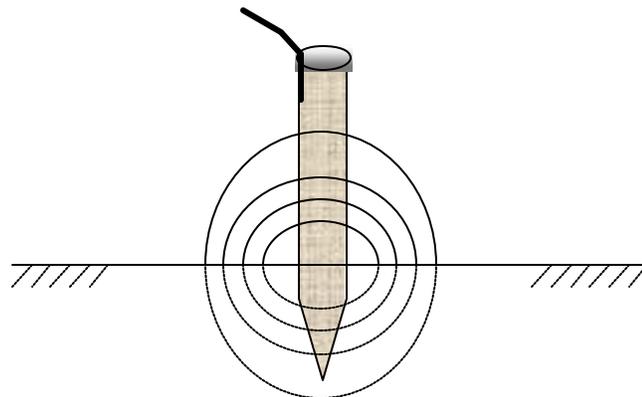
Adapun tujuan dari pengetanahan adalah :

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasional normal atau tidak normal.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ketanah.

Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah. Pada sistem pembumian terdapat beberapa komponen tahanan yang berpengaruh terhadap besar tahanan pembumian yaitu :

1. Tahanan elektroda pembumian beserta sambungan-sambungan padanya.
2. Tahanan kontak antara elektroda pembumian dengan tanah disekitarnya.
3. Tahanan tanah disekitarnya.

Ketiga komponen tahanan, tahanan pembumian merupakan besaran yang paling besar pengaruhnya pada tahanan pembumian dibandingkan tahanan elektroda dan tahanan kontak.



Gambar 12. Komponen Tahanan dari suatu Batang Elektroda Pembumian

Elektroda pembumian terbuat dari logam mempunyai tahanan cukup kecil jika ukurannya memadai. Demikian pula dengan tahanan kontak ke tanah dapat diabaikan apabila permukaan elektroda bebas dari lemak dan cat serta tempat kontak cukup padat, sehingga elektroda dapat dipasak dengan kuat.

Suatu batang elektroda pbumian yang terbuat dari bahan yang serba sama (gambar 12) arus gangguan akan mengalir di dalam tanah ke semua arah. Tanah yang mengelilingi elektroda pbumian tersebut dapat dianggap terdiri dari lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan sama. Anggaplah tanah tersebut serba sama pada setiap lapisan. Lapisan yang paling dekat dengan elektroda pbumian mempunyai luas penampang yang terkecil, sehingga tahananannya terbesar, sedangkan lapisan yang berikutnya mempunyai luas lebih besar dengan demikian tahananannya akan lebih rendah. Demikianlah seterusnya sampai pada suatu jarak tertentu dimana lapisan berikutnya tidak akan menambah tahanan secara berarti.

Untuk mendapatkan tahanan pbumian yang kecil, diperlukan elektroda pbumian. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pbumian yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin, Sesuai dengan rumus :

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

dimana

R = tahanan pbumian [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

L = panjang lintasan arus pada tanah [m]

A = luas penampang lintasan arus pada tanah [m^2]

Selain ditentukan oleh luas permukaan elektroda pembedaan dan tahanan jenis tanah, tahanan pembedaan yang diperoleh juga ditentukan pula oleh jenis dan bentuk elektroda pembedaannya.

Beberapa bentuk elektroda pembedaan yang dipergunakan antara lain :

- a. Elektroda bentuk batang
- b. Elektroda bentuk pita
- c. Elektroda bentuk plat.

a. Elektroda Bentuk Batang.

Elektroda bentuk batang ini adalah elektroda berbentuk pipa atau batang profil atau logam lain yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter.

Untuk menentukan besarnya tahanan pembedaan dengan elektroda batang dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2L} \ln \frac{4L}{d} \quad (19)$$

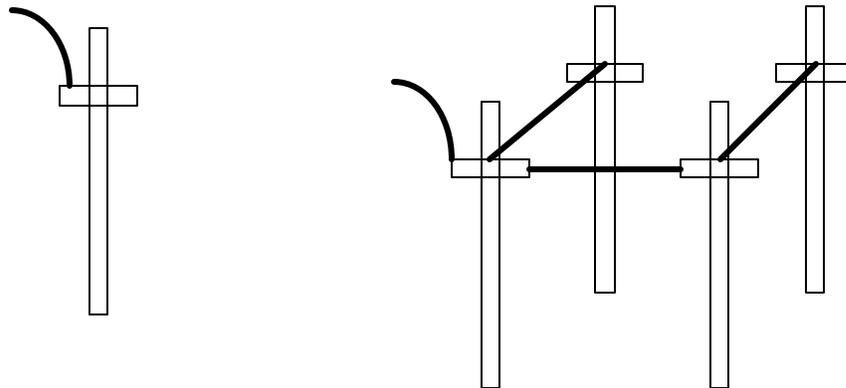
dimana :

R_{bt} = tahanan pembedaan elektroda batang [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

L = panjang batang yang tertanam [m]

d = diameter elektroda batang [m]



(a). Elektroda batang tunggal

(b). Elektroda batang dalam group

Gambar 13. Jenis-jenis elektroda bentuk batang

b. Elektroda Bentuk Pita.

Elektroda ini merupakan logam yang mempunyai penampang yang berbentuk pita atau dapat juga berbentuk bulat, pita yang dipilin atau dapat juga berbentuk kawat yang dipilin. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman antara 0,5 sampai 1 meter dari permukaan tanah, tergantung dari kondisi dan jenis tanah. Dalam pemasangannya elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar atau kombinasi dari lingkaran dan radial.

Besar tahanan pembumian untuk elektroda pita dapat dihitung dengan rumus

$$R_{pt} = \frac{\rho}{L} \ln \frac{2L}{d} \quad (20)$$

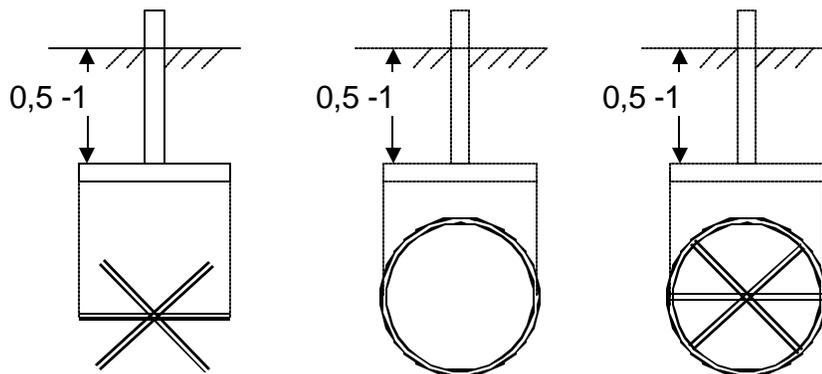
dimana :

R_{pt} = tahanan pembumian elektroda pita [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

L = panjang elektroda pita yang tertanam [m]

d = lebar pita/diameter elektroda pita kalau bulat [m]



(a). Radial

(b). Lingkaran

(c).Kombinasi lingkaran radial

Gambar 14. Jenis-jenis elektroda pita dan cara pemasangannya

c. Elektroda Bentuk Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. Pada pemasangannya elektroda ini dapat ditanam tegak lurus atau mendatar tergantung dari tujuan penggunaannya. Bila digunakan sebagai elektroda pembumian pengaman maka cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira 1 meter di bawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Bila digunakan sebagai elektroda pengatur yaitu mengatur kecuraman gradien tegangan guna menghindari tegangan langkah

yang besar dan berbahaya, maka elektroda plat tersebut ditanam mendatar.

Untuk menghitung besar tahanan pembumian elektroda plat dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{pl} = \frac{\rho}{4,1L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \quad (21)$$

dimana

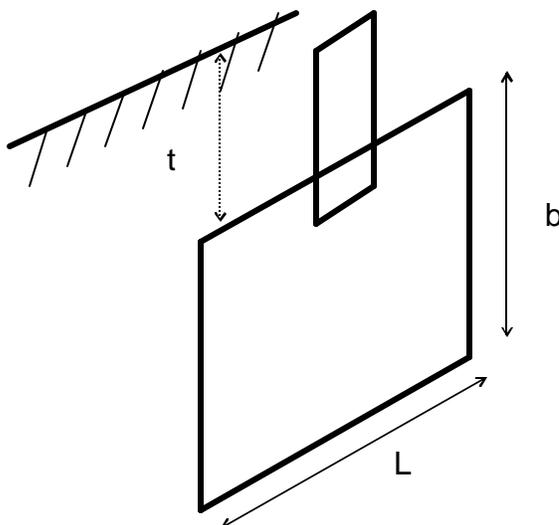
R_{pl} = tahanan pembumian elektroda plat [Ω]

ρ = tahanan jenis tanah [$\Omega \cdot m$]

L = panjang elektroda plat [m]

b = lebar plat [m]

t = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah [m]



Keterangan gambar :

L = panjang plat

t = kedalaman tertanam

b = lebar plat

Gambar 15. Elektroda plat dipasang vertikal

F. GEOLOGI UMUM

1. Geografis

Kota Makassar mempunyai posisi strategis karena berada di persimpangan jalur lalu lintas dari arah selatan dan utara dalam propinsi di Sulawesi, dari wilayah kawasan Barat ke wilayah kawasan Timur Indonesia dan dari wilayah utara ke wilayah selatan Indonesia. Dengan kata lain, wilayah kota Makassar berada koordinat 119 derajat bujur timur dan 5,8 derajat lintang selatan dengan ketinggian yang bervariasi antara 1-25 meter dari permukaan laut. Kota Makassar merupakan daerah pantai yang datar dengan kemiringan 0 - 5 derajat ke arah barat, diapit dua muara sungai yakni sungai Tallo yang bermuara di bagian utara kota dan sungai Jeneberang yang bermuara di selatan kota .



Gambar 16. Peta geografis Makassar

2. Jenis Tanah

Jenis-jenis tanah yang ada di wilayah Kota Makassar terdiri dari tanah *inceptisol* dan tanah *ultisol*. Jenis tanah inceptisol terdapat hampir di seluruh wilayah Kota Makassar, merupakan tanah yang tergolong sebagai tanah muda dengan tingkat perkembangan lemah yang dicirikan oleh horison penciri kambik. Tanah ini terbentuk dari berbagai macam bahan induk, yaitu aluvium (fluviatil dan marin), Lempung Berliat pasir, Lempung Liat, dan Lempung liat gamping.



Gambar 17. Landscape tanah inceptisol

Penyebaran tanah ini terutama di daerah dataran antara perbukitan, tanggul sungai, rawa belakang sungai, dataran aluvial, sebagian dataran struktural berelief datar, landform struktural/ tektonik, dan dataran/perbukitan vulkanik. Kadang-kadang berada pada kondisi tergenang untuk selang waktu yang cukup lama pada kedalaman 40 sampai 50 cm. Tanah

Inceptisol memiliki horison cambic pada horison B yang dicirikan dengan adanya kandungan Liat yang belum terbentuk dengan baik akibat proses basah kering dan proses penghanyutan pada lapisan tanah.

Jenis tanah ultisol merupakan tanah berwarna kemerahan yang banyak mengandung lapisan tanah liat dan bersifat asam. Warna tersebut terjadi akibat kandungan logam terutama besi dan aluminium yang teroksidasi (weathered soil). Umum terdapat di wilayah tropis pada hutan hujan.



Gambar. 18. Landscape tanah Ultisol

Tanah ultisol berkembang dari Lempung berliat sedimen masam (lempung ,pasir dan Lempung liat) dan sedikit dari lempung volkano tua. Penyebaran utama terdapat pada landform tektonik/struktural dengan relief datar hingga berbukit dan bergunung. Tanah yang mempunyai horison argilik atau kandik dan memiliki kejenuhan basa sebesar kurang dari 35 persen

pada ke dalaman 125 cm atau lebih di bawah batas atas horison argilik atau kandik. Tanah ini telah mengalami pelapukan lanjut dan terjadi translokasi Liat pada bahan induk yang umumnya terdiri dari bahan kaya aluminium silika dengan iklim basah. Sifat-sifat utamanya mencerminkan kondisi telah mengalami pencucian intensif, diantaranya miskin unsur hara N, P, dan K, sangat masam sampai masam, miskin bahan organik, lapisan bawah kaya aluminium (Al), dan peka terhadap erosi.

Parameter yang menentukan persebaran jenis tanah di wilayah Kota Makassar adalah jenis, iklim, dan geomorfologi lokal, sehingga perkembangannya ditentukan oleh tingkat pelapukan lempung liat pada kawasan tersebut. Kualitas tanah mempunyai pengaruh yang besar terhadap intensitas penggunaan lahannya.