# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Sistem Pentanahan

Salah satu faktor kunci dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Standar pentanahan yang biasa digunakan, telah banyak tertulis dalam laporan-laporan berbagai organisasi nasional yang berkaitan. Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut : (A. Hadi,1994:154)

a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian efektif.
b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung.
c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namum mudah dalam pelayanan.

Semakin kecil nilai resistansi pentanahan maka sistem pentanahan itu semakin baik. Untuk pengamanan personil dan peralatan, patut diusahakan resistansi lebih kecil dari satu Ohm. Hal ini tidak praktis untuk dilaksanakan dalam sistem distribusi, dan saluran transmisi. Di beberapa tempat, resistansi sebesar 5 Ohm mungkin sudah cukup memadai tanpa banyak gangguan, sedangkan di tempat lain mungkin sangat sulit dicapai resistansi pentanahan dibawah 100 Ohm (A. Hadi,1994:154).

### 2.1.1 Tujuan pentanahan peralatan

Pentanahan peralatan, berlainan dengan pentanahan sistem, ialah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan pentanahan peralatan itu adalah : (T.S. Hutauruk,1999:125)

a. Untuk memperoleh potensial yang merata *(uniform)* dalam semua bagian struktur dan peralatan. dan juga untuk menjaga operator atau orang yang berada pada daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pata semua titik

dalam daerah sistem pengetanahan ini. Kemungikinan timbulnya perbedaan potenisial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat kecil.

b. Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dan jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pata manusia timbul pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan yang besar dan berbahaya. Juga impedansi yang besar pada sambungan-sambungan pada rangkaian pengetanahan dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

Secara singkat tujuan pentanahan peralatan itu dapat diformulasikan sebagai berikut : (T.S. Hutauruk,1999:125)

a. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
b. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan.
c. Untuk memperbaiki penampilan dari sistem.

## 2.2 Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 ohm-cm. Pernyataan ohm-cm merepresentasikan resistansi di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume yang berisi 1 $cm^3$. Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pengetanahan dengan maksud mendapatkan resistivitas tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaram harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah resistivitas tanah (T.S. Hutauruk,1999:141). Resistansi tanah merupakan kunci utama yang menentukan resistansi elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda harus ditanam agar diperoleh resistansi yang rendah. Resistansi tanah bervariasi di berbagai tempat dan cenderung berubah menurut cuaca.

### 2.2.1 Tanah sebagai konduktor

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

Sifat listrik tanah sangat penting dan menarik khususnya resistansi spesifik atau tanahan jenis. Resistivitas merupakan faktor yang menentukan resistansi elektroda pentanahan. Sebagaian besar tanah dan batu ketika sangat kering bukan merupakan konduktor listrik. Namun jika tanah dan batu mengandung mineral tertentu, maka menjadi bersifat konduktor listrik karena kandungan metaliknya. Pasir dan batu memiliki resistivitas yang yang tinggi, sehingga bukan merupakan konduktor yang baik. Ketika mengandung air, resistivitasnya akan menurun sehingga tanah bersifat konduktor, meskipun merupakan konduktor yang buruk bila dibandingkan dengan bahan metal. Sebagai contoh, resistivitas baja sepuhan tembaga adalah 1,6 mikroohm-cm, sedangkan tanah pada umumnya mempunyai resistivitas sekitar 10000 ohm-cm (G.F. Tagg, 1964:4).

### 2.2.2 Faktor yang mempengaruhi resistivitas tanah

Harga resistivitas tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu: (T.S. Hutauruk,1999:141)

- Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu dan lain-lain
- Lapisan tanah : Berlapis-lapis dengan resistivitas berlainan
- Kelembaban tanah
- Temperatur tanah
- Kandungan garam

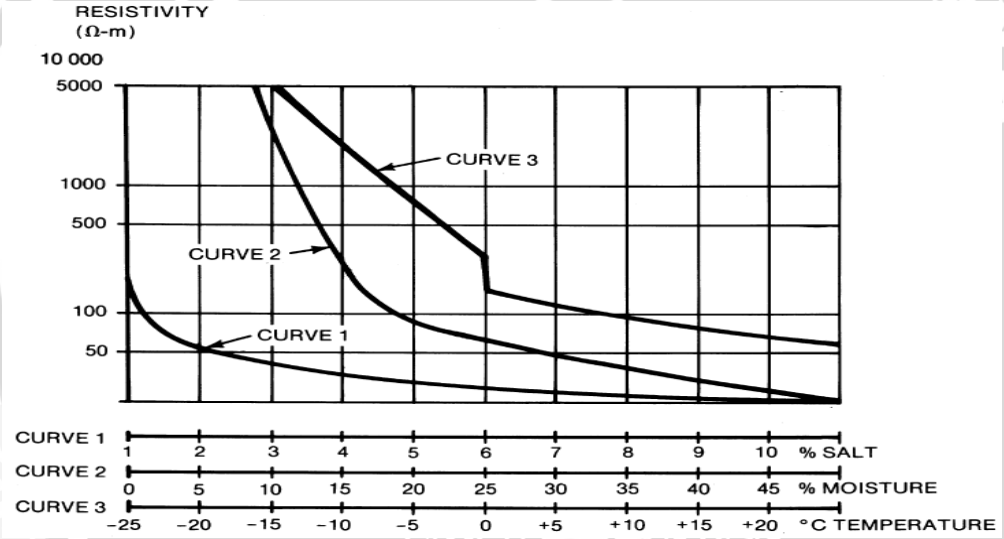
Untuk beberapa macam jenis tanah dari berbagai unsur tanah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Harga resistivitas unsur tanah

| Jenis Tanah | Resistivitas (ohm-$m$) |
|---|---|
| Tanah rawa | 30 |
| Tanah liat dan tanah ladang | 100 |
| Pasir basah | 200 |
| Kerikil basah | 500 |
| Pasir dan kerikil kering | 1000 |
| Tanah berbatu | 3000 |

Sumber : PUIL, 2000:80

Untuk pengaruh kelembaban, temperatur dan kandungan garam terhadap resistivitas tanah ditunjukkan pada Gambar 2.1.




Gambar 2.1. Pengaruh kelembaban, temperatur dan kandungan garam terhadap resistivitas tanah

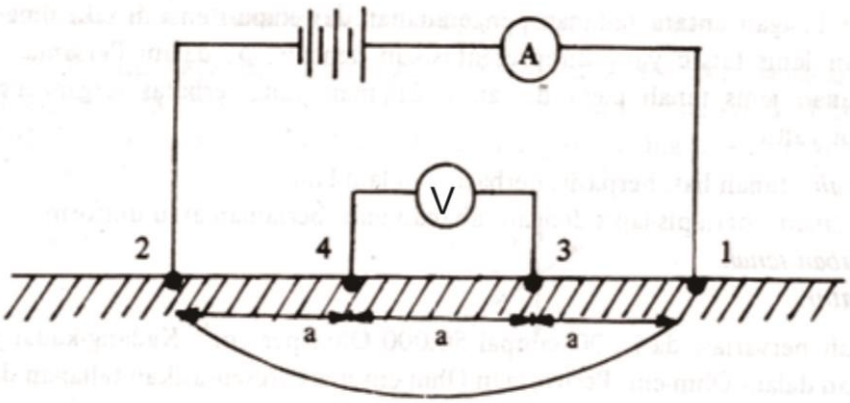
Sumber : IEEE std 80 1986:73

### 2.2.3 Pengukuran resistivitas tanah

Pengukuran resistivitas tanah biasanya dilakukan dengan cara : (T.S.Hutauruk, 1999:142)

- Metode empat elektroda
- Metode tiga titik

Pengukuran resistivitas tanah dengan metode empat elektroda menggunakan empat elektroda, sebuah batere, sebuah ammeter dan sebuah voltmeter yang sensitif, sebagaiman terlihat dalam Gambar 2.2.




Gambar 2.2. Pengukuran resistivitas tanah dengan metoda empat elektroda
Sumber : T.S.Hutauruk,1999:142

Bila arus $\boldsymbol{I}$ masuk ke tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus yang 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 $\boldsymbol{r}$, luas permukaan tersebut adalah $\boldsymbol{2\pi r^2}$, dan rapat arus radial pada jarak $\boldsymbol{r}$ : (T.S.Hutauruk, 1999:142)

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

Bila $\boldsymbol{\rho}$ adalah resistivitas tanah, maka kuat medan dalam tanah jarak $\boldsymbol{r}$ : (T.S.Hutauruk, 1999:143)

$$\boldsymbol{E(r) = J}$$

$$\boldsymbol{E(r) = \frac{I\rho}{2\pi r^2}}$$

Potensial pada jarak $\boldsymbol{r}$ dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak $\boldsymbol{r}$ ke titik tak terhingga : (T.S.Hutauruk, 1999:143)

$$\boldsymbol{V = \int_r^\infty E\,(r)\,dr = \frac{I\,\rho}{2\pi r^2}}$$

Perbandingan antara tegangan dan arus atau resistansi menjadi : (T.S.Hutauruk, 1999:143)

$$\boldsymbol{R = \frac{\rho}{2\pi r}}$$

Dari Gambar 2.1,terlihat $\boldsymbol{r_{13} = r_{34} = r_{24} = a}$

Jadi :

$$\boldsymbol{V_3 = \frac{I\,\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right)}$$

$$\boldsymbol{V_4 = \frac{I\,\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)}$$

Beda tegangan dan resistansi antara titik 3 dan 4 adalah : (T.S.Hutauruk, 1999:143)

$$V_{34} = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}\right) = \frac{I\rho}{2\pi a}$$

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

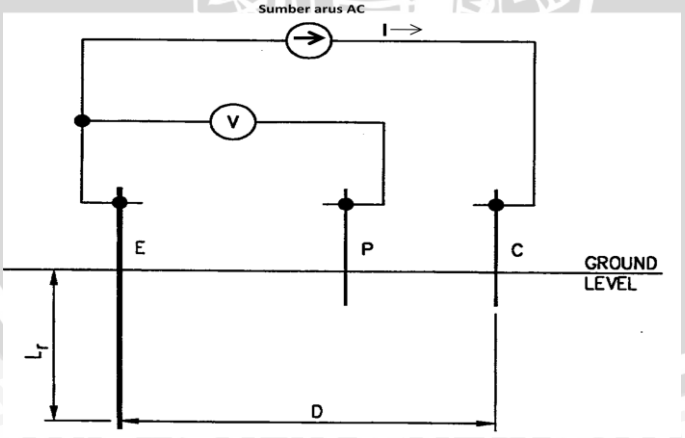
Jadi :

$$\rho = 2\pi a\, R_{34} \qquad (2\text{-}1)$$

dengan :

J : Kerapatan arus (A/m$^2$)
I : Arus pada ammeter (A)
a : Jarak antar elektroda (m)
V : Tegangan pada voltmeter (V)
R : Resistansi (Ω)
ρ : Resistivitas tanah (Ω-m)
r : Jari-jari permukaan bola (m)
E : Kuat medan (V/m)

Metode tiga titik dimaksudkan untuk mengukur nilai resistansi pentanahan yaitu dengan memasang tiga buah elektroda batang bantu dengan jarak tertentu. Dengan memberikan sumber arus yang dipasang antara elektroda batang utama (E) dengan elektroda batang bantu (C), serta memasang voltmeter yang dipasang antara elektroda batang utama (E) dengan elektroda batang bantu (P), seperti yang ditunjukan dalam Gambar 2.3.




Gambar 2.3. Metode pengukuran resistansi pentanahan tiga titik
Sumber : IEEE std 80, 1986:55

D adalah jarak antara elektroda batang utama (E) dengan elektroda batang bantu (C), dan elektroda batang bantu (P) dimasukkan ke tanah dengan jarak minimal ½ D dari elektroda batang utama (E).

Setelah menetapkan besar arus yang dialirkan ke tanah dan didapatkan hasil pengukuran pada voltmeter, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai persamaan :

$$V = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I} \qquad (2\text{-}2)$$

dengan :

V : tegangan yang terukur oleh voltmeter (volt)

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

R : resistansi tanah (ohm)

Untuk mengetahui restisivitas tanah harus dilakukan pengukuran langsung resistansi pentanahannya dilokasi yang bersangkutan. Apabila digunakan elektroda pentanahan jenis batang yang ditanam pada kedalaman $L_r$, maka besar restisitivitas tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (IEEE std 80, 1986:54)

$$\rho = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1} \qquad (2\text{-}3)$$

dengan :

$\rho$ : resistivitas tanah (ohm-m)

$L_r$ : panjang elektroda *rod* (m)

d : diameter elektroda *rod* (m)

R : resistansi pentanahan (ohm)

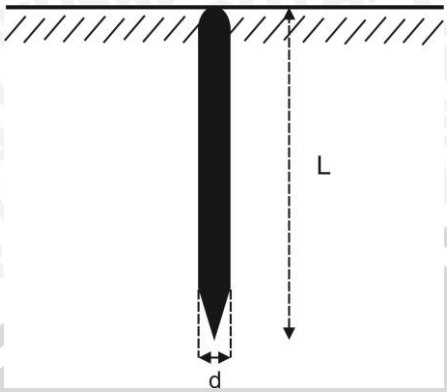
## 2.3 Jenis dan Bahan Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan e!ektroda pentanahan adalah elektroda dan bahan metal (biasanya dari bahan tembaga) yang ditanam dalam tanah yang digunakan untuk pentanahan. Dalam PUlL 2000, elektroda-elektroda pentanahan dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu elektroda batang, elektroda plat, elektroda pita, dan juga elektroda dari bahan-bahan yang lain.

### 2.3.1 Elektroda batang

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan tegak lurus ke dalam tanah (PUIL,2000:80), seperti pada Gambar 2.4. Panjang elektroda yang harus digunakan, disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang diperlukan. Kalau tanahnya kering, kadang-kadang sangat sulit untuk mendapatkan

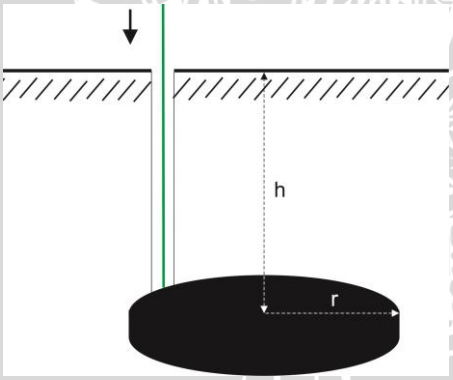
resistansi penyebaran yang cukup rendah. Dalam hal ini, ada kalanya sifat-sifat tanah itu dapat diperbaiki dengan mengolah dengan bahan-bahan kimia.




Gambar 2.4. Elektroda batang
Sumber : IEEE std 80, 1986:309

### 2.3.2 Elektroda plat

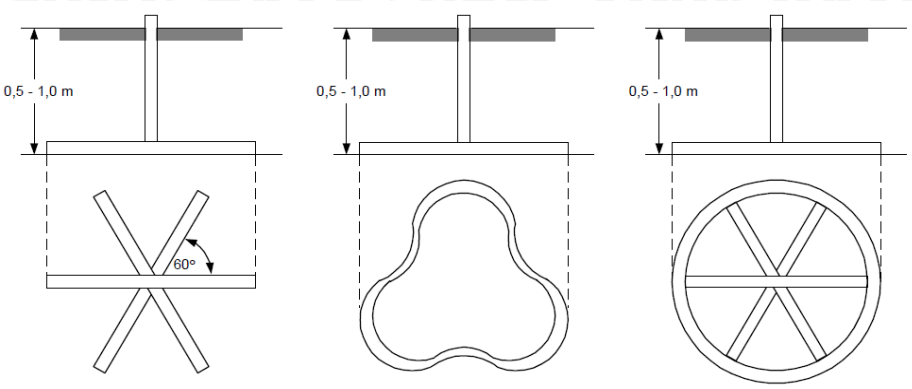
Elektroda plat ialah elektroda dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektroda plat ditanam secara dalam (PUIL,2000:80), seperti pada Gambar 2.5. PIat ini ditanam tegak lurus di dalam tanah, dengan tepi atasnya sekurang-kurangnya satu meter di bawah permukaan tanah. Luas plat yang harus digunakan tergantung pada resistansi pentanahan yang diperlukan.




Gambar 2.5. Elektroda plat
Sumber : IEEE std 80, 1986:307

### 2.3.3 Elektroda pita

Elektroda pita dibuat dari hantaran berbentuk pita atau batang bulat, atau dari hantaran yang dipilin. Elektrode pita ialah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 2.6, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1.0 m. (PUIL,2000:80)




Gambar 2.6. Elektroda pita
Sumber : PUIL, 2000:80

### 2.3.4 Jenis-jenis elektroda lain

**a. Jaringan pipa air**

Jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektroda pentanahan, maka harus diperhatikan bahwa resistansi pentanahannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau *flens* dari bahan isolasi. Resistansi pentanahan yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektroda tambahan, ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm2, atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 $mm^2$ (tebal pita minimum 3 mm). (PUIL,2000:82)

**b. Selubung logam dari kabel tanah**

Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektroda pentanahan, jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitas minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut : (PUIL,2000:82)

a) 4 $mm^2$ tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 $mm^2$

b) 10 $mm^2$ tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 $mm^2$ atau lebih.

### 2.3.5 Bahan elektroda pentanahan

Elektroda pentanahan yang digunakan biasanya berasal dari bahan tembaga, batang besi tahan karat (*stainless rod*), plat besi, maupun baja yang digalvanising agar elektrodanya tidak mudah korosi. Bahan ini harus kuat, tahan pengaruh kimia, tahan pengaruh perubahan iklim dan tahan lama. Adapun konstanta bahan penghantar terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konstanta bahan penghantar

| Material | Conductivity (%) | $T_m$ [a] (°C) | $K_f$ |
|---|---|---|---|
| Copper, annealed soft-drawn | 100.0 | 1083 | 7.00 |
| Copper, commercial hard-drawn | 97.0 | 1084 | 7.06 |
| Copper, commercial hard-drawn | 97.0 | 250 | 11.78 |
| Copper-clad steel wire | 40.0 | 1084 | 10.45 |
| Copper-clad steel wire | 30.0 | 1084 | 12.06 |
| Copper-clad steel rod | 20.0 | 1084 | 14.64 |
| Aluminum EC Grade | 61.0 | 657 | 12.12 |
| Aluminum 5005 Alloy | 53.5 | 652 | 12.41 |
| Aluminum 6201 Alloy | 52.5 | 654 | 12.47 |
| Aluminum-clad steel wire | 20.3 | 657 | 17.20 |
| Steel 1020 | 10.8 | 1510 | 15.95 |
| Stainless clad steel rod | 9.8 | 1400 | 14.72 |
| Zinc-coated steel rod | 8.6 | 419 | 28.96 |
| Stainless steel 304 | 2.4 | 1400 | 30.05 |

Sumber : IEEE std 80, 1986:44

### 2.3.6 Ukuran elektroda pentanahan

Ukuran-ukuran minimum yang harus digunakan untuk elektroda pentanahan diberikan dalam Tabel 2.3. Kalau tanahnya sangat korosif, atau digunakan elektroda baja tanpa lapisan seng atau lapisan tembaga, sebaiknya digunakan ukuran-ukuran minimum 1,5 x ukuran-ukuran yang diberikan pada Tabel 2.3. Kalau elektroda yang dimaksudkan untuk mengatur gradien tegangan, luas penampang minimum yang boleh digunakan adalah sebagai berikut : (Harten, Van. 1985 : 240)

Untuk baja berlapis seng : minimum 16 $mm^2$

Untuk baja berlapis tembaga : minimum 16 $mm^2$

Untuk tembaga : minimum 10 $mm^2$

Tabel 2.3. Ukuran-ukuran minimum elektroda pentanahan

| Jenis Elektroda | Bahan | | |
|---|---|---|---|
| | **Baja Berlapis Seng (Proses panas)** | **Baja Berlapis Tembaga** | **Tembaga** |
| Elektroda Pita | *Pita baja* :<br>Luas penampang 100 $mm^2$<br>Tebal : 3 mm<br>*Hantaran Pilin:*<br>*(bukan kawat halus)*<br>Luas penampang : 95 $mm^2$ | Luas penampang : 50 $mm^2$ | Pita tembaga :<br>Luas penampang : 50 $mm^2$<br>Tebal : 2 mm<br>*Hantaran pilin:*<br>*(bukan kawat halus)*<br>Luas penampang : 35 $mm^2$ |
| Elektroda Batang | *Pipa baja :*<br>Diameter : 1”<br>Baja profil :<br>65 x65 x 7 mm (atau batang profil lain yang setaraf) | Baja bulat :<br>Diameter : 15 mm<br>Tebal lapisan Tembaga : 2,5 mm | Pipa tembaga :<br>Luas penampang : 50 $mm^2$<br>Tebal : 2 mm<br>*Hantaran pilin:*<br>*(bukan kawat halus)*<br>Luas penampang : 35 $mm^2$ |
| Elektroda Plat | *Plat baja :*<br>Luas : 0,5 – 1 $m^2$<br>Tebal : 3 mm | | Plat tembaga :<br>Luas : 0,5 – 1 $m^2$<br>Tebal 2 mm |

Sumber : PUIL, 2000:82

## 2.4. Pentanahan *Rod*

Persamaan-persamaan untuk resistansi tanah dari berbagai sistem elektroda cukup rumit, dan dalam beberapa hal dapat dinyatakan dalam pendekatan-pendekatan. Semua pernyataan dalam persamaan-persamaan itu diperoleh dari hubungan R = ρ L / A dan didasarkan pada asumsi bahwa resistansi tanah seragam pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin atau sangat jarang ada. Rumus yang biasa digunakan untuk pasak tunggal dikembangkan oleh Professor H.B. Dwight dari institut Teknologi Massa-chusetts yaitu : (Hadi, Abdul. 1994: 158)

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

dengan :

$\rho$ : resistivitas tanah (ohm-m)

$L$ : panjang pasak tanah (m)

$a$ : jari-jari penampang pasak (m)

$R$ : resistansi pasak ke tanah (ohm)

Apabila pasak ditananm lebih dalam ke tanah, maka resistansi akakn berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam resistansi berkurang 40%. Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi resistansi. Dua kali lipat diameter misalnya, hanya mengurangi besarnya resistansi kurang dari 10%. (Hadi,Abdul.1994 : 159)

## 2.5. Pentanahan *Grid*

Pentanahan *grid* adalah suatu sistem pentanahan yang dilakukan dengan cara menanamkan batang elektroda pentanahan sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda-elektroda tersebut dihubungkan satu sama lain sehingga membentuk kelompok *mesh*. Pentanahan *grid* dilakuan untuk mengatasi timbulnya gradien tegangan yang tidak rata pada permukaan tanah. Apabila jumlah konduktor yang di tanah banyak maka hal ini akan mendekati pentanahan yang paling ideal yaitu pentanahan plat. Walaupun dengan sistem pentanahan plat didistribusi tegangan paling baik selama kondisi gangguan namun masih perlu dipertimbangkan masalah biaya.

Untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang rendah serta gradien tegangan yang rata maka dilakukan penanaman beberapa batang elektroda yang membentuk *grid* (kisi-kisi atau jaring-jaring). Bentuk *grid* yang umum di pakai adalah bujur sangkar atau persegi panjang yang mana dalam satu *grid* dapat membentuk beberapa *mesh*.

Resistansi pentanahan sebagian besar tergantung pada panjang elektroda dan sedikit tergantung pada ukuran penampangnya. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk memperoleh resistansi pentanahan rendah, jarak antar elektroda tersebut minimum harus dua kali lipat panjangnya, (PUIL, 2000:81).

Pentanahan yang ideal harus memberikan nilai resistansi pentanahan mendekai nol atau kurang dari sama dengan 1 ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi (ANSI/IEEE Std 80-1986). Sebagai perkiraan pertama, sebuah nilai minimum dari resistansi pentanahan *grid* gardu induk pada tanah yang seragam untuk lapisan pertama (permukaan tanah) saja dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_G = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} \qquad (2\text{-}5)$$

dengan :

$R_G$: resistansi pentanahan grid (ohm)

$\rho$ : resistivitas tanah (ohm-m)

$A$ : luas area pentanahan grid ($m^2$)

Kemudian, pada lapisan kedua dengan adanya gabungan antara grid dan batang rod untuk tanah yang seragam, jumlah konduktor grid dan konduktor batang rod yang ditanam pada kedalaman tertentu, diperoleh persamaan seperti dibawah ini : (Laurent, P. G., 1951 dan Nieman, J, 1952)

$$R_G = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

Dengan L : total dari panjang konduktor yang tertanam (m). Jadi metode yang digunakan untuk menghitung resistansi pentanahan *grid* untuk kedalaman tertentu yakni 0,25 m < h < 2,5 m merupakan persamaan empiris yang diturunkan oleh Laurent dan Nieman sebagai berikut : (IEEE std 80, 1986:82)

$$R = \rho\left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20.A}}\left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}}\right)\right] \quad (2\text{-}6)$$

dengan :

$R$: resistansi pentanahan (ohm)

L : total panjang konduktor (m)

$\rho$ : resistivitas tanah (ohm-m)

h : kedalaman penanaman (m)

A : luas daerah yang dilingkupi ($m^2$)

## 2.6. Arang

Arang yaitu residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan jalan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuan, terutama dengan jalan memanaskan tempurung kelapa (tanpa oksigen). Arang tempurung kelapa adalah arang yang berasal dari tempurung kelapa yang terbakar, tempurung kelapa yang terbakar umumnya memiliki kadar air (7,31%), zat terbang (11,1%), kadar abu (5,4%), fixed C (83,89%), nilai kalor (6601 kal/gram) (Kresno Dwi, 2005). Sifat kimia arang ditunjukan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Sifat-sifat kimia arang

| | |
|---|---|
| pH ($H_2O$) | 8 |
| pH (KCl) | 8 |
| C-Organik, % | 55 |
| N-Kjeldahl, % | 0,1 |
| C/N | 131 |
| P Potensial (HCl 25%, $P_2O_5$), ppm | 290,6 |
| K Potensial (HCl 25%, $K_2O$), mg/100 g | 18 |
| P-Tersedia (Bray, $P_2O_5$), ppm | 69 |
| K-Tersedia (Morgan, $K_2O$), ppm | 133 |
| Ca (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 28 |
| Mg (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 8 |
| K (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 17 |
| Na (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 2 |
| Total (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 55 |
| KTK (1 N NH4Oac, pH 7,0 ekstraksi), me/100g | 19 |
| Kejenuhan Basa, % | >100 |
| KCl 1 N, $H^+$, me/100 g | 0 |

Sumber : Haris Iskandar, 2005 : 37

### 2.6.1. Resistivitas arang tempurung kelapa

Arang tempurung kelapa memiliki sifat-sifat listrik yang resistivitas. Resistivitas adalah salah satu faktor yang menentukan resistansi suatu bahan. Untuk mengukur resistivitas arang tempurung kelapa dapat dilakukan dengan persamaan seperti dibawah ini : (G.F. Tagg, 1964:16)

$$R = \frac{\rho . \ l}{A} \qquad (2\text{-}7)$$

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

$$\rho = \frac{\pi r^2 . R}{l} \qquad (2\text{-}8)$$

dengan :

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

L : tinggi arang tempurung kelapa (cm)

A : luas penampang ($cm^2$)

r : jari-jari (cm)

$\rho$ : nilai resistivitas arang tempurung kelapa (ohm-cm)

### 2.6.2. Kerapatan partikel dan kadar air arang tempurung kelapa

Resistivitas arang trempurung kelapa sangat dipengaruhi oleh kerapatan partikel arangnya serta kadar air yang terkandung dalam arang tempurung kelapa tersebut. Kerapatan adalah suatu besaran turunan dalam fisika yang secara umum lebih dikenal massa jenis. Maka dalam penelitian perlu juga diketahui kerapatan dari partikel arang tempurung kelapa yang digunakan dalam penelitian. Dan kerapatan arang tempurung kelapa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini : (Gaguk.A, 2004:1)

$$K = \frac{m}{V} \tag{2.9}$$

dengan :

K : kerapatan arang tempurung kelapa (gram/cm$^3$)

m : massa arang tempurung kelapa (gram)

v : volume arang tempurung kelapa dalam pipa (cm$^3$)

Kadar air dalam arang memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap resistansinya, karena dapat memperkecil nilai resistansinya. Untuk memperkecil resistansi arang diperlukan pengaturan komposisi air tertentu untuk mendapatkan resistansi yang diharapkan pada arang, maka untuk melakukan pengaturan kadar air dalam arang tersebut dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini : (Indranada, 1986:34)

$$\mathrm{KA_a} = \frac{(m_{ab} - m_{ak})}{m_{ak}}\ x\ 100\ \% \tag{2.10}$$

dengan :

$\mathrm{KA_a}$ : kadar air (%)

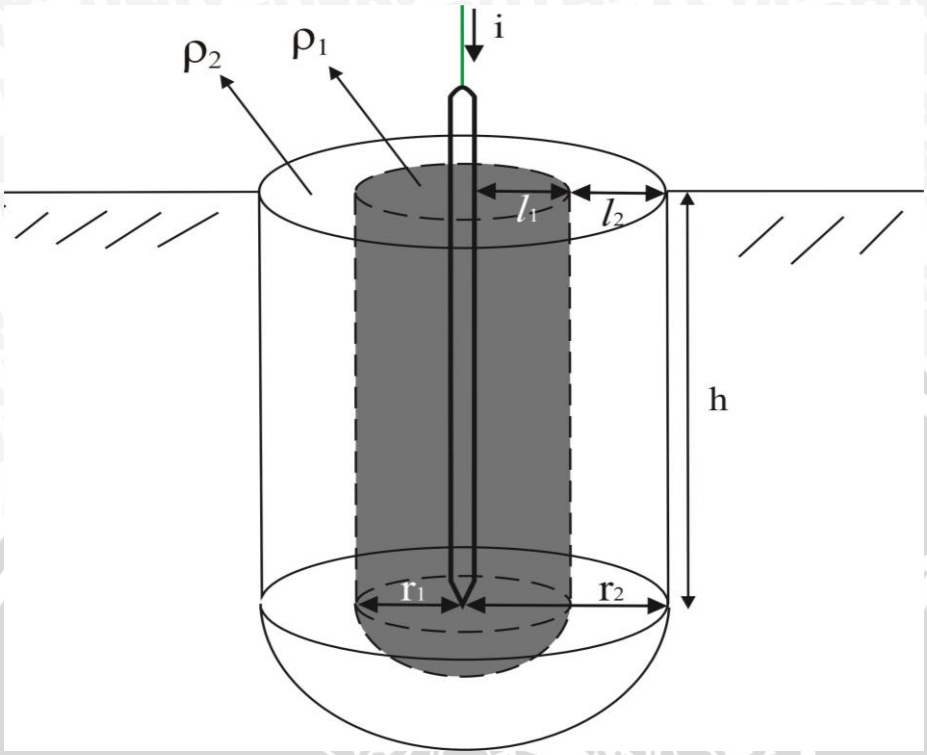
$m_{ab}$ : massa arang tempurung kelapa basah (gram)

$m_{ak}$ : massa arang tempurung kelapa kering (gram)

## 2.7. Pengaruh Ketidak Seragaman Lapisan Tanah Terhadap Nilai Resistansi Pentanahan

Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam, arang, *bentonite*, ataupun bahan-bahan kimia lainnya pada tanah dekat elektroda pengetanahan dengan maksud mendapatkan resistivitas tanah yang rendah (T.S. Hutauruk,1999:141). Adanya perbedaan unsur kimia penyusun lapisan tanah mengakibatkan ketidak seragaman lapisan tanah. Akibat dari ketidak seragaman lapisan tanah adalah perbedaan nilai resistivitas tanah dari setiap lapisan tanah. Perbedaan nilai resistivitas tanah pada setiap lapisan dapat mempengaruhi nilai resitansi pentanahan.

Analisis kuantitatif untuk pengaruh heterogenitas tanah ditunjukkan pada Persamaan (2-11) sampai (2-14) dengan mengacu pada Gambar 2.7.




Gambar 2.7. Heterogenitas lapisan tanah
Sumber : Carpenter, 1999 : 6

Arus melewati tiga komponen resistansi yaitu resistansi elektroda pentanahan, resistansi kontak antara elektroda dengan tanah sekitar, dan resistansi tanah di sekelilingnya. Elektroda pentanahan umumnya panjang, luas penampang yang besar dan terbuat logam, sehingga resistansinya dapat diabaikan terhadap nilai resistansi total sistem pentanahan. Resistansi kontak antara elektroda dengan tanah jauh sangat kecil. Apabila elektroda pentanahan bersih dari cat ataupun minyak, maka Biro Standarisasi Nasional Amerika Serikat menyatakan bahwa nilai resistansi kontak dapat diabaikan.Lapisan tanah terdekat dengan elektroda memiliki luas permukaan yang paling sempit, sehingga memiliki nilai resistansi terbesar. Lapisan berikutnya yang lebih luas, memiliki nilai resistansi yang lebih kecil. Pada suatu jarak tertentu dari elektroda, lapisan tanah sudah tidak menambahkan besarnya resistansi tanah sekeliling elektroda yang disebut daerah tahanan efektif. (A. Hadi,1994:154)

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap tanah, sehingga nilai resistansi untuk setiap lapisan tanah yang heterogen dapat dirumuskan dengan Persamaan (2-11) dan (2-12).

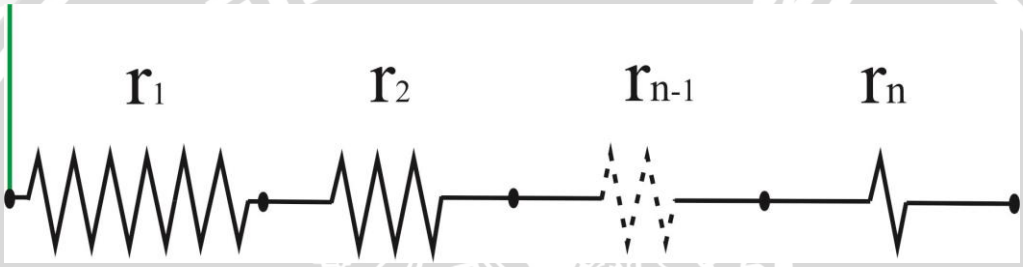
$$R_1 = \frac{\rho_1.l_1}{A_1} = \frac{\rho_1.l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi {r_1}^2)} \quad (2.11)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2.l_2}{A_2} = \frac{\rho_2.l_2}{(2\pi r_2 h + 2\pi {r_2}^2)} \quad (2.12)$$

Heterogenitas untuk setiap lapisan tanah jenis –n sesuai dengan Gambar 2.7 dapat dirumuskan dengan persamaan (2-13).

$$R_n = \frac{\rho_n.l_n}{A_n} = \frac{\rho_n.l_n}{(2\pi r_n h + 2\pi {r_n}^2)} \quad (2.13)$$

Nilai resistansi pentanahan adalah penjumlahan nilai resistansi lapisan tanah sampai pada lapisan tanah jarak tertentu nilai resistansi tanah tidak berpengaruh secara signifikan. Pemodelan nilai resistansi tanah dari lapisan tanah jenis 1 sampai lapisan tanah jenis –n, seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.8.




Gambar 2.8. Pemodelan nilai resitansi pentanahan dari lapisan tanah jenis 1 sampai lapisan tanah jenis –n
Sumber : IEEE std 80, 1986 : 72

Untuk nilai resistansi pentanahan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_e = R_1 + R_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + R_n \quad (2.14)$$

dengan :

$R_e$ : resistansi pentanahan (ohm)
R : resistansi tanah (ohm)
ρ : resistivitas tanah (ohm-cm)
$l$ : tebal lapisan tanah (cm)
r : jari-jari lapisan tanah (cm)
A : luas rata-rata permukaan lapisan tanah ($cm^2$)
h : kedalaman penanaman elektroda batang (cm)
n : jenis tanah -n
: 1,2,3,.....,dst

Halaman ini sengaja dikosongkan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA