



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan adalah suatu rangkaian atau jaringan mulai dari kutub pentanahan atau elektroda, hantaran penghubung sampai terminal pentanahan yang berfungsi untuk menyalurkan arus lebih ke bumi atau tanah dengan tujuan agar suatu peralatan dapat terhindar dari tegangan asing seperti hubung singkat atau arus bocor sehingga peralatan dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang semestinya. Adapun fungsi dari bagian – bagian sistem pentanahan adalah sebagai berikut :

1. Kutub pentanahan atau elektroda adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan metal yang berfungsi sebagai penghantar listrik yang bersentuhan dengan tanah atau ditanam di dalam tanah dengan tujuan untuk mempercepat penyerapan muatan listrik akibat sambaran petir, arus bocor, hubung singkat ataupun tegangan lebih ke dalam tanah.
2. Hantaran penghubung adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan metal yang berfungsi sebagai penghubung antara kutub pentanahan dengan terminal, metal ini biasanya berupa kawat tembaga pilin atau BC *draad* dengan diameter minimal 16 mm.
3. Terminal pentanahan adalah terminal atau titik dimana kita hubungkan dengan perangkat kita. Biasanya berupa lempeng tembaga panjangnya 15 cm, lebar 3 cm dan tebal 1 cm.

Salah satu faktor kunci dalam setiap usaha pengamanan (perlindungan) suatu bangunan adalah sistem pentanahan. Tindakan pengamanan ini dimaksudkan untuk mencegah bahaya kecelakaan atau kebakaran yang diakibatkan oleh hubung singkat atau tegangan asing lainnya.

Apabila suatu tindakan pengamanan (perlindungan) yang baik akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar sesuai dengan peraturan yang berlaku.



Adapun syarat-syarat agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut<sup>1</sup> :

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge current*)
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

## 2.2 Macam–macam Pentanahan<sup>2</sup>

Sistem pentanahan pada kelistrikan dibagi menjadi 3 (tiga) macam yaitu sebagai berikut :

1. Sistem yang ditanahkan.
2. Sistem yang tidak ditanahkan.
3. Sistem pentanahan pada peralatan.

Dimana ketiganya merupakan pengaman dari sistem kelistrikan, adapun penjelasan dari ketiga sistem pentanahan tersebut sebagai berikut.

### 2.2.1 Sistem Tenaga yang Ditanahkan<sup>3</sup>

1. Pentanahan Langsung (Pentanahan Tanpa Impedansi)

Ialah menghubungkan langsung titik netral dari trafo tenaga dengan konduktor penghubung yang impedansinya sangat kecil. Pada sistem ini bila terjadi gangguan tanah selalu mengakibatkan terganggunya saluran (*line outage*), maka gangguan tersebut harus diisolir dengan membuka pemutus daya.

Tujuan dari pengetanahan titik netral secara langsung, terutama untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang terganggu sampai mendekati harga normal, tujuan lainnya adalah untuk menghilangkan arus kapasitif ke tanah pada saat terjadi arus hubung singkat satu fasa ke tanah dan dari *arching ground*

---

<sup>1</sup> Iwa Garniwa, “Pengertian Umum Pentanahan”, *Pengaruh Harmonisa Pada GTT*, 2006, hlm. 89 dan 90.

<sup>2</sup> *Ibid.*

<sup>3</sup> *Ibid.*



benar-benar dikurangi. Sistem yang ditanahkan langsung didefinisikan berdasarkan dari perbandingan ( $\frac{X_0}{X_1}$  dan  $\frac{R_0}{X_1}$ ).

Dimana:

$R_0$  = Tahanan urutan nol dari rangkaian.

$X_0$  = Reaktansi urutan nol dari rangkaian.

$X_1$  = Reaktansi urutan positif dari rangkaian.

## 2. Pentanahan Efektif

Yaitu pentanahan dimana perbandingan antara reaktansi urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan tiga, dan perbandingan tahanan urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan satu, untuk tiap titik pada sistem tersebut. ( $\frac{X_1}{X_1 \leq 3}$  ;  $\frac{R_0}{X_1 \leq 1}$ ).

## 3. Pentanahan Reaktor

Yaitu menghubungkan titik netral trafo tenaga ketanah dengan suatu reaktansi yang besarnya tertentu. ( $X_0 \leq 10 X_1$ ). Dilihat dari besarnya perbandingan  $X_0$  dan  $X_1$  sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan Petersen.

## 4. Pentanahan melalui Tahanan

Yaitu pentanahan titik netral trafo daya dihubungkan ketanah dengan suatu tahanan tertentu. ( $R_0 \leq 2 X_0$ ).

## 5. Pentanahan dengan Kumparan Petersen

Yaitu menghubungkan titik netral trafo daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat berubah-ubah.

### 2.2.2 Sistem yang Tidak Ditanahkan<sup>4</sup>

Sistem yang tidak ditanahkan adalah suatu sistem yang tidak diketanahkan atau sistem delta bilamana tidak ada hubungan *galvanis* antara sistem itu dengan

---

<sup>4</sup> Iwa Garniwa, "Pengertian Umum Pentanahan", *Pengaruh Harmonisa Pada GTT*, 2006, hlm. 89 dan 90.



tanah. Pada sistem biasanya hanya konstruksi atau badan dari peralatan tersebut yang diketanahkan untuk menghindarkan peralatan tersebut dari tegangan yang membahayakan manusia.

### 2.2.3 Sistem Pentanahan pada Peralatan<sup>5</sup>

Sistem pentanahan pada peralatan yaitu penghubungan antara bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Sistem pentanahan pada peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem *grid* (horizontal) dan sistem *rod* (vertikal). Sistem pentanahan *grid* adalah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem *rod* ialah menanamkan batang-batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini fungsinya hanya mengurangi (memperkecil) tahanan pentanahan. Jadi yang membedakan sistem ini adalah pentanahan ini hanya dengan cara penanaman elektrodanya. Adapun penjelasan dari sistem *grid* dan sistem *rod* adalah sebagai berikut:

#### 1. Sistem *Grid*

Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang yang terhubung satu sama lain. Dengan cara ini bila jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan yang kecil untuk luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien atau mahal. Pada sistem ini banyak konduktor akan tidak sebanding dengan harga tahanan karena

---

<sup>5</sup> Ir. T.S. Hutaaruk, M.E.E., *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan, Sistem – Sistem yang Diketankahkan* (Jakarta: Erlangga, 1986), hlm. 29.



fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus ke dalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

## 2. Sistem Rod

Pada sistem ini untuk memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah batang konduktor dapat diperbanyak penanamannya. Apabila terjadi arus gangguan ke tanah maka arus ini akan mengakibatkan naiknya *gradient* tegangan permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul tersebut sebanding dengan tahanan pentanahan.

### 2.3 Tahanan Jenis Tanah

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari suatu elektroda yaitu  $R = \frac{\rho}{2\pi r}$  terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya  $\rho$ . Untuk berbagai tempat harga  $\rho$  ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor :

1. Sifat geologi tanah
2. Komposisi zat kimia
3. Kandungan air
4. Kelembaban tanah
5. Temperatur
6. Selain itu faktor musim juga mempengaruhinya.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 ohm per cm<sup>3</sup>. Kadang-kadang harga ini dinyatakan dengan harga ohm per cm. Pernyataan ohm per cm memrepresentasikan tahanan antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah berisi 1 cm<sup>3</sup>.

#### 1. Sifat Geologi Tanah

Ini merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat umumnya



mempunyai tahanan jenis terendah, sedang batu-batuan bersifat sebagai insulator. Seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.1 Harga Tahanan Jenis Tanah<sup>6</sup>**

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm meter)
1.	Tanah yang mengandung air garam	5 – 6
2.	Rawa	30
3.	Tanah liat	100
4.	Pasir basah	200
5.	Batu – batu kerikil basah	500
6.	Pasir dan batu krikil kering	1000
7.	Batu	3000

## 2. Komposisi Zat -Zat Kimia Dalam Tanah

Kandungan zat-zat dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula.

Di daerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk mendapatkan pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.

## 3. Kelembaban Tanah<sup>7</sup>

Harga tahanan jenis tanah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Pada kelembaban tanah yang rendah tahanan jenis tanah besar, sebaiknya semakin besar konsentrasi air di dalam tanah maka harga tahanan jenis tanah akan semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Proses mengalirnya arus listrik kedalam tanah sebagian besar adalah karena proses elektrolisis, maka dari konsentrasi air dalam tanah akan mempengaruhi

<sup>6</sup> Diktat Kuliah AMG, "Tahanan Jenis Tanah", *Grounding System*, 2008, hlm. 14.

<sup>7</sup> *Ibid.*



konduktivitas atau daya hantar listrik ketanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besarnya konsentrasi air tanah.

Semakin besar konsentrasi air dalam tanah maka konduktivitas tanah akan semakin besar, sehingga tahanan jenis tanah akan turun sesuai dengan hubungan di bawah ini:

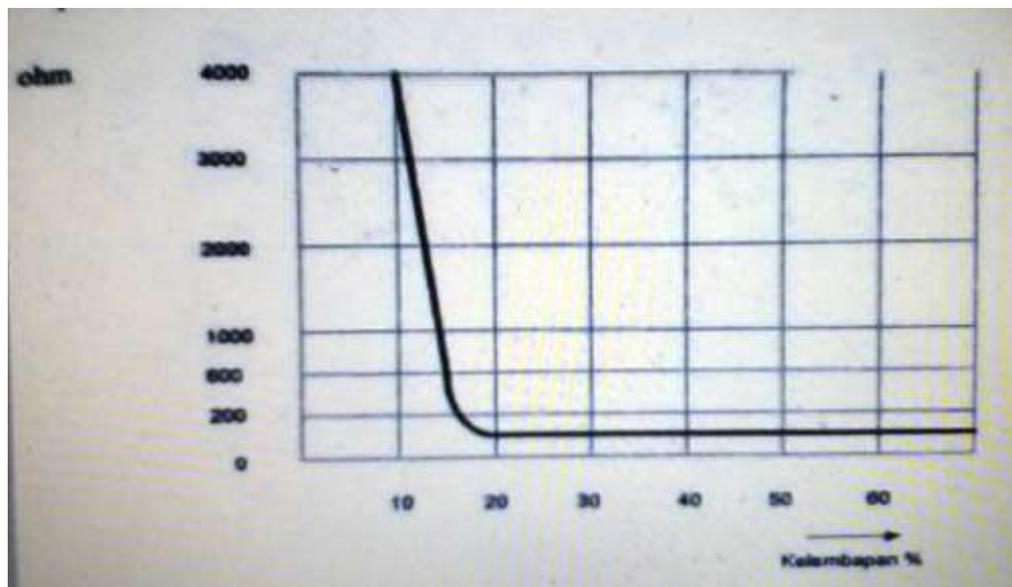
$$\rho = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.1)^8$$

Dimana :

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (ohm-cm)

T = Konduktivitas tanah

Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air dalam tanahnya rendah sekali (dibawah 10%) mempunyai tahanan jenis yang sangat besar sekali atau dengan kata lain merupakan suatu isolator yang baik. Tetapi dengan kenaikan konsentrasi air sampai 15% tahanan jenis tanah akan menurun dengan cepat sekali.



**Gambar 2.1 Perubahan Tahanan Jenis Tanah Terhadap Kelembaban<sup>9</sup>**

<sup>8</sup> M.Yusfik, *Sistem Pentanahan Pada Gedung Laboratorium Mekanik Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya*, hlm. 14

<sup>9</sup> *Ibid*, hlm. 15.



Gambar 2.1 menunjukkan pengaruh kelembapan tanah terhadap tahanan jenis tanah. Satu hal yang menarik dari gambar 2.1 adalah bahwa harga tahanan jenis tanah menunjukkan adanya kejenuhan untuk kelembaban diatas 15% maka kenaikan daripada kelembaban tidak banyak pengaruhnya terhadap tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah biasanya dipakai adalah dibawah harga jenuh tersebut.

Oleh karena itu, penting bagi kita untuk menambahkan elektroda pentanahan pada tempat yang berhubungan langsung dengan air tanah. Untuk melakukan hal ini elektroda-elektroda pentanahan ditanam ditempat - tempat yang cukup dalam di bawah permukaan lapisan air.

Dengan jalan demikian pula, maka pengaruh perubahan musim terhadap tahanan jenis tanah atau terhadap tahanan pentanahan elektroda dapat diperkecil.

#### 4. Temperatur Tanah<sup>10</sup>

Iklim pada suatu daerah tempat pengujian, dipengaruhi oleh curah hujan dan temperatur. Kedua faktor ini menentukan reaksi – reaksi kimia dan sifat fisis di dalam tanah. Secara tidak langsung curah hujan juga mempengaruhi reaksi tanah. Curah hujan yang tinggi terutama di daerah Indonesia yang beriklim tropis dapat mencuci kation – kation basa dari lapisan permukaan tanah (*top soil*) ke lapisan tanah yang lebih dalam, akibatnya *top soil* lebih banyak didominasi oleh ion – ion Al dan H, sebagai akibatnya PH tanah akan turun pada *top soil* sampai mencapai nilai 4,5 atau dibawahnya lagi. Kation – kation basa itu digantikan oleh H- dan peristiwa ini akan menurunkan persen jenuh basa tanah.

Listrik yang bersifat menghantarkan panas (konduktor) yang terdapat di dalam tanah itu pada dasarnya bersifat elektrolit. Dengan alasan tahanan jenis tanah itu naik ketika kelembapan tanah yang terhitung kurang dari 15% dari berat tanah. Jumlah embun yang terdapat dalam tanah tergantung pada butiran embun, kepadatan tanah, dan jenis dari ukuran embun tersebut. Bagaimanapun juga seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2 pada kurva 2 tahanan jenis tanah melebihi 22%.

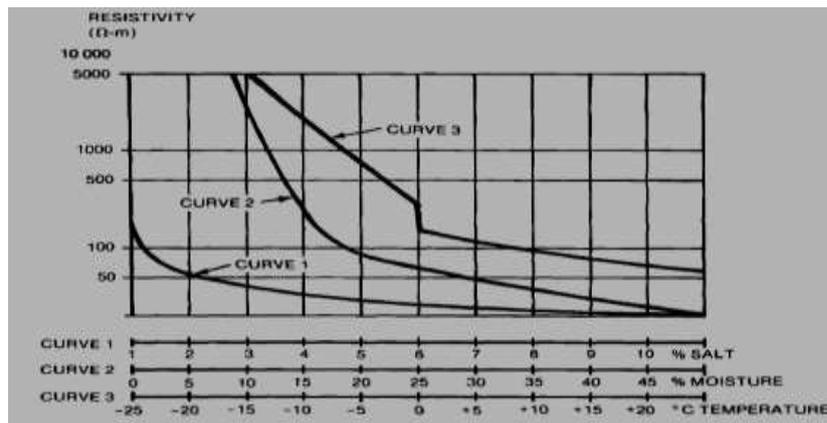
---

<sup>10</sup> Diktat Kuliah AMG, “Tahanan Jenis Tanah”, *Grounding System*, 2008, hlm 14.



Efek temperatur yang terdapat pada tahanan jenis tanah hampir tidak ada di atas titik beku. Pada 0°C air yang terdapat dalam tanah mulai membeku dan tahanan jenis tanah meningkat. Kurva 3 menunjukkan variasi jenis untuk jenis tanah liat di dalamnya terdapat 15,2% dari kelembaban berat tanah. Komposisi dan jumlah larutan garam, sifat keasaman atau alkali yang terdapat dalam tanah dapat menimbulkan efek bagi tahanan jenis tanah tersebut. Kurva 1 dari gambar 2.2 menunjukkan sebuah efek dari larutan garam tersebut (sodium klorida) pada tahanan jenis tanah terkandung 30% kelembaban dari berat jenis tanah.

Kurva yang ditunjukkan pada gambar 2.2 tidak bisa digunakan untuk menghitung efek yang terjadi pada tanah tersebut. Untuk menentukan kebenaran tahanan jenis tanah itu digambarkan pada IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) std. 81 – 1983.



**Gambar 2.2 Kurva pengaruh kelembaban, temperatur dan kandungan garam terhadap tahanan jenis tanah<sup>11</sup>**

Untuk mengubah komposisi kimia tanah dapat dilakukan dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah tahanan jenis tanah.

<sup>11</sup> Diktat Kuliah AMG, “Tahanan Jenis Tanah”, *Grounding System*, 2008, hlm 15.



Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangatlah tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata, maka diperlukan suatu perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu yang tertentu misalnya selama 1 (satu) tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari tingginya permukaan air yang tetap.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan mencapai kedalam dimana terdapat air yang tetap.

Pada sistem pentanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang tetap, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil pada keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

#### **2.4 Elektroda Pentanahan**

Dalam sistem pentanahan sangat diperlukan elektroda pentanahan, yang mana macam dan bentuk elektroda yang digunakan dipilih sedemikian rupa sehingga tahanan pentanahan yang dihasilkan lebih kecil daripada yang diperbolehkan atau diizinkan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin memiliki beberapa persyaratan elektroda yang harus dipatuhi adalah<sup>12</sup>:

1. Tahanan elektroda pentanahan harus lebih kecil daripada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat yang besar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.

---

<sup>12</sup> Ari Kusmanto, "Macam – Macam Elektroda", *Pentanahan*, 2013.



Bahan konduktor merupakan bahan yang digunakan sebagai elektroda pentanahan, berdasarkan ketentuan maka bahan tersebut adalah besi, aluminium, dan tembaga. Dari ketiga jenis bahan tersebut ditinjau dari sifat mekanis, elektris, dan kimiawi maka tembaga mempunyai keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang lain, namun ditinjau dari segi biaya tembaga lebih mahal, tetapi mengingat kesulitan yang timbul bila elektroda tersebut mengalami kerusakan baik karena pengaruh elektris, mekanis, dan kimiawi maka tembaga lebih unggul.

Pada umumnya elektroda-elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya, dalam beberapa puluh sentimeter ke dalam tanah. Untuk memperkecil harga tahanan pentanahannya diperluas daerah pentanahan karena cara ini lebih mudah dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor. Adapun macam-macam bentuk dari elektroda yaitu:

- a. Elektroda Batang



Gambar 2.3 Elektroda Batang<sup>13</sup>

Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori – teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan pada gardu induk. Secara teknis, elektroda jenis ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda batang biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam. Ukuran elektroda : Diameter 5/8" sampai dengan 3/4", sedangkan panjangnya 4 feet sampai dengan 8 feet. Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus *discharge* petir maupun untuk pemakaian pentanahan yang lain. Seperti yang ditunjukkan oleh rumus berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)^{14}$$

<sup>13</sup> T.Charlton, "Copper Development Association Publication", *Earthing Praticce*, 1997, hlm. 119.



Dimana :

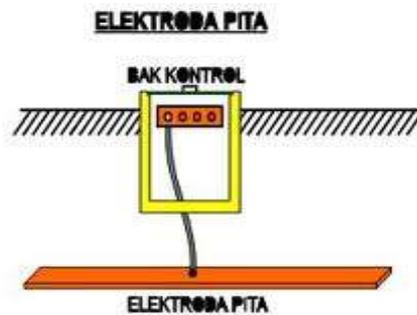
R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (Meter)

a = Diameter elektroda (Meter)

b. Elektroda Pita (kisi – kisi)



Gambar 2.4 Elektroda Pita<sup>15</sup>

Elektroda jenis pita ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BBC yang ditanam di dalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2 \text{ feet}$ . Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan.

c. Elektroda Plat

Elektroda plat merupakan elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam cukup dalam. Elektroda ini digunakan apabila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan yang sulit diperoleh dengan menggunakan jenis – jenis elektroda lain. Seperti yang ditunjukkan oleh rumus berikut :

$$R = \frac{\rho}{4,1 L} \left( 1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \dots\dots\dots (2.5)^{16}$$

<sup>14</sup> Ibid.

<sup>15</sup> T.Charlton, “Copper Development Association Publication”, *Earthing Prattice*, 1997, hlm. 119.

<sup>16</sup> Ibid.



Dimana :

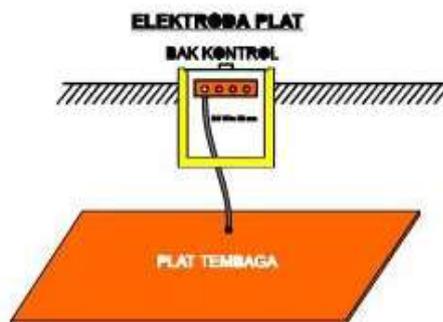
$R$  = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

$L$  = Panjang elektroda pelat (m)

$b$  = Lebar pelat (m)

$t$  = Kedalaman pelat tertanam dari permukaan tanah (m)



Gambar 2.5 Elektroda Plat<sup>17</sup>

#### 2.4.1 Sifat-sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah

Sistem elektroda tanah mempunyai 3 (tiga) komponen yaitu:

1. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sabungannya.
2. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
3. Tahanan tanah disekelilingnya.

Pasak tanah, batang logam, struktur dan peralatan lain biasanya biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian rupa, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan sistem pentanahan. Tahanan antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari biasa diduga, apabila elektroda bersih dari cat atau minyak, dan tanah dapat dipasak dengan kuat. Maka Biro Standarisasi Nasional Amerika Serikat menyatakan bahwa tahanan kontak dapat diabaikan.<sup>18</sup>

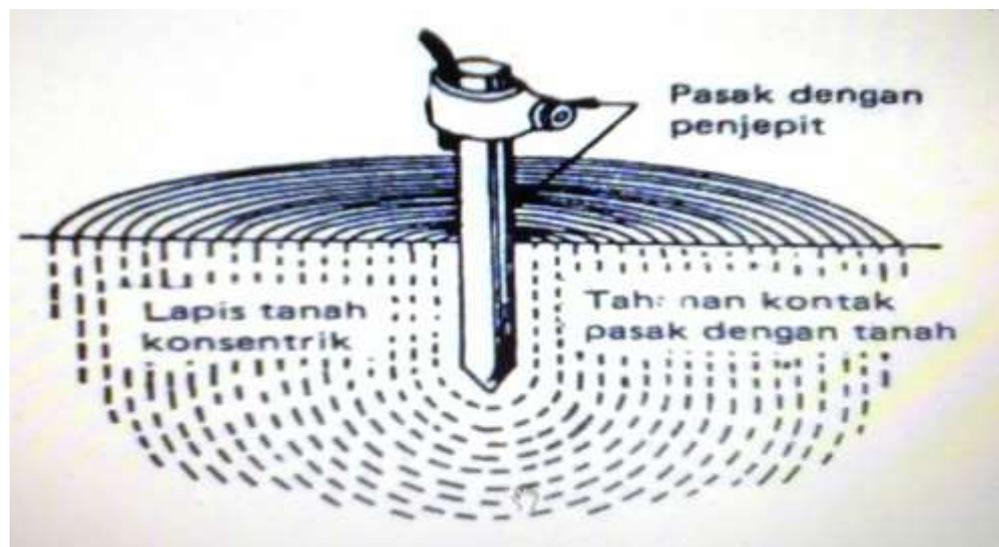
Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah menghantarkan arus ke semua jurusan. Ketika suatu elektroda atau pasak yang ditanam di tanah yang

<sup>17</sup> Charlton, T, "Copper Development Association Publication", *Earthing Praticce*, 1997, hlm 120.

<sup>18</sup> Ari Kusmanto, "Macam – Macam Elektroda", *Pentanahan*, 2013.



terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan yang sama, lapisan tanah terdekat dengan elektroda atau pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya, karena lebih luas memberikan tahanan yang lebih kecil dan seterusnya, sehingga pada suatu jarak sekeliling elektroda atau pasak jarak ini disebut daerah tahanan efektif yang sangat tergantung pada kedalaman elektroda atau pasak. Dari ke 3 (tiga) macam komponen tahanan tanah merupakan besaran yang paling kritis dan paling sulit dihitung ataupun diatasi.



**Gambar 2.6 Komponen - Komponen Tahanan Elektroda<sup>19</sup>**

Tahanan pentanahan elektroda tergantung dari beberapa faktor yaitu:

1. Panjang elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkannya.
2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari jenis tanah sekeliling elektroda.

#### **2.4.2 Pengaruh Ukuran Elektroda atau Pasak Terhadap Tahanan**

Apabila elektroda atau pasak ditanam lebih dalam ke tanah, maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40% namun dengan bertambahnya diameter elektroda atau pasak secara

<sup>19</sup> Ir. T.S. Hutaaruk, M.E.E., *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan, Sistem – Sistem yang Diketanahkan* (Jakarta: Erlangga, 1986), hlm. 158.



material tidak akan mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameter misalnya, hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10%.

### 2.4.3 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

Tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah tahanannya menurut iklim. Tahanan tanah ini ditentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral, dan garam-garam. Tanah yang kering mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi tanah yang biasa dapat juga mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung mengandung garam-garam yang dapat larut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksikan dengan elektroda atau pasak tanah yang ditancapkan cukup dalam dibawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperoleh apabila kedalaman elektroda atau pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap.

### 2.4.4 Ukuran-ukuran Penghantar Tanah

Penghantar-penghantar dan elektroda-elektroda baja digunakan untuk saluran distribusi dan pentanahan *substation*. Luas minimum penghantar yang diperlukan dapat dicari dari rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Luas dalam mm}^2 &= 12,15 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \text{ untuk sambungan yang dilas} \\ &= 15,7 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \text{ untuk sambungan dengan sekrup} \end{aligned}$$

Dimana :

$$I = \text{Arus gangguan (Ampere)}$$



T = Lamanya terjadi gangguan, biasanya diambil dari 5

Dalam memilih penghantar, selain stabilitas termal sesuai dengan penggunaan rumus diatas, kekuatan terhadap gerak mekanis dan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat dipertimbangkan. Terhadap gerak mekanis ukuran minimum penghantar baja plat strip tidak boleh kurang dari  $10 \times 6 \text{ mm}^2$  dan untuk ketahanan terhadap korosi pemilihan penghantar dapat mempertimbangkan hal-hal berikut:

1. Untuk tanah yang bersifat korosif sangat lambat, dengan tahanan diatas 100 ohm-m, tidak ada batas perkenan korosi (*corrosion allowance*).
2. Untuk tanah yang bersifat korosif lambat, dengan tahanan 25-100 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 15% dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas normal.
3. Untuk tanah yang bersifat korosif cepat, dengan tahanan kurang dari 25 ohm-m, batas perkenan korosi adalah 30% dengan pemilihan penghantar sudah mempertimbangkan faktor stabilitas normal.

Dibandingkan dengan sambungan sekrup pada sambungan las dapat timbul sedikit korosi pada sambungan oleh bahan las atau teknik pengelasannya sendiri. Dan hindari menggunakan cara las titik.

Penghantar dapat dipilih dari ukuran-ukuran standar seperti  $10 \times 6 \text{ mm}^2$ ,  $20 \times 6 \text{ mm}^2$ ,  $30 \times 6 \text{ mm}^2$ ,  $40 \times 5 \text{ mm}^2$ ,  $50 \times 6 \text{ mm}^2$ ,  $60 \times 6 \text{ mm}^2$ ,  $50 \times 8 \text{ mm}^2$ ,  $65 \times 8 \text{ mm}^2$ .

#### **2.4.5 Perencanaan Elektroda-Elektroda Pentanahan**

Di tempat-tempat dengan tahanan tinggi dimana tahanan pentanahan yang diperoleh dengan susunan atau konstruksi melampaui harga batas yang ditentukan maka digunakan elektroda jamak. Dalam hal ini digunakan 2 elektroda, hubungan antar elektroda dibuat dengan plat strip MS dengan ukuran yang sama dengan penghantar pentanahan, dan jarak antara elektroda tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda. Apabila masih diperlukan elektroda ketiga maka elektroda



ketiga harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga tiga buah elektroda membentuk segitiga sama sisi, dengan panjang sisinya tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda. Untuk praktisnya, tahanan dari dua atau tiga elektroda atau pasak dapat dihitung paralel dan tahanan total menjadi setengah atau sepertiga dari tahanan tanah dengan menggunakan elektroda tunggal. Kadang jarak antar elektroda tidak dapat dibuat besar, untuk itu ada rumus empiris penentuan tahanan total dari berbagai macam susunan paralel, seperti berikut:

- 1. Dua pasak dipasang paralel

$$\frac{\text{Tahanan 2 Pasak Paralel}}{\text{Tahanan Pasak Tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots (2.6)^{20}$$

Dimana :

$$x = \left( \frac{\frac{L}{d} \left( \frac{L}{4a} - 1 \right)}{\ln \frac{L}{a} - 1} \right) \dots\dots\dots (2.7)^{21}$$

d = Jarak antara 2 pasak paralel (meter)

L = Panjang elektroda (meter)

a = Diameter elektroda (meter)



Gambar 2.7 Elektroda tanah<sup>22</sup>: (a) Dalam susunan segi empat kosong (b) Dalam susunan segi empat terisi

- 2. Tiga pasak paralel berbentuk segitiga sama sisi dengan sisi = d

$$\frac{\text{Tahanan 3 Pasak Paralel}}{\text{Tahanan Pasak Tunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots\dots\dots (2.8)^{23}$$

<sup>20</sup> Ir. T.S. Hutauruk, M.E.E., *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan, Sistem – Sistem yang Diketanahkan* (Jakarta: Erlangga, 1986), hlm. 163.

<sup>21</sup> *Ibid.*

<sup>22</sup> *Ibid.*



3. Pasak jamak tersusun dalam segi empat kosong atau segi empat terisi seperti terlihat pada Gambar 2.8 Apabila jumlah pasak adalah N, maka :

$$\frac{\text{Tahanan } N \text{ Pasak Paralel}}{\text{Tahanan Pasak Tunggal}} = \frac{1+kx}{N} \dots\dots\dots (2.9)^{24}$$

Dimana :

k = konstanta yang tergantung jumlah pasak

N = Jumlah Pasak

Nilai *k* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.2 Harga Konstanta Pada Jumlah Pasak<sup>25</sup>**

Jumlah Pasak Sepasang sisi segi-empat	Jumlah pasak seluruhnya	Harga k
<b>Segi-empat terisi</b>		
2	4	2.7071
3	8	4.2583
4	12	5.3939
5	16	6.0072
6	20	6.4633
7	24	6.8363
8	28	7.1479
9	32	7.4195
10	36	7.6551
<b>Segi-empat kosong</b>		
3	9	5.8917
4	16	8.5545
5	25	11.4371
6	36	14.0650

<sup>23</sup> *Ibid*, hlm. 164.

<sup>24</sup> *Ibid*.

<sup>25</sup> Ir. T.S. Hutaaruk, M.E.E., *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan, Sistem – Sistem yang Diketanahkan* (Jakarta: Erlangga, 1986), hlm. 164.



7	49	16.8933
8	64	19.5003
9	81	22.3069
10	100	24.9587

## 2.5 Tahanan Pentanahan<sup>26</sup>

Tahanan pentanahan merupakan hal yang tidak boleh diabaikan dalam pemasangan jaringan instalasi listrik. Pentanahan yang kurang baik tidak hanya membuang – buang waktu saja, tetapi pentanahan yang kurang baik juga berbahaya dan meningkatkan resiko sengatan listrik, disamping itu juga mengakibatkan kesalahan instrumen, distorsi harmonik, dan masalah faktor daya. Jika arus gangguan tidak mempunyai jalur ke tanah melalui sistem pentanahan yang didesain dan dipelihara dengan baik, arus gangguan akan mencari jalur yang tidak diinginkan termasuk manusia.

Sebaliknya, jika pentanahan yang baik tidak hanya sekedar untuk keselamatan tetapi juga digunakan untuk mencegah kerusakan peralatan industri. Sistem pentanahan yang baik akan meningkatkan reliabilitas peralatan dan mengurangi kemungkinan kerusakan akibat petir dan arus gangguan. Milyaran uang telah hilang tiap tahunnya di tempat kerja karena kebakaran akibat listrik. Kerugian – kerugian di atas tidak termasuk biaya pengadilan dan hilangnya produktivitas individu dan perusahaan.<sup>27</sup>

Organisasi pemberi rekomendasi standar untuk keamanan pentanahan antara lain adalah :

1. OSHA (*Occupational Safety Health Administration*)
2. NFPA (*National Fire Protection Association*)
3. ANSI/ISA (*American National Standards Institute and Instrument Society of America*)
4. TIA (*Telecommunications Industry Association*)
5. IEC (*International Electrotechnical Standardization*)

<sup>26</sup> Margiono Abdil, “Tahanan Pentanahan”, *Pentanahan*, 2013, hlm.1.

<sup>27</sup> *Ibid.*



6. IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

**2.5.1 Faktor – Faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan**

Tahanan pentanahan suatu elektroda tergantung pada tiga faktor :

1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.

Namun demikian pada prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan keperalatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misal pada saat terjadi *lightning discharge*. Untuk menghindarinya, sambungan ini diusahakan dibuat sependek mungkin.

Dari ketiga faktor tersebut di atas, yang dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektroda atau dengan kata lain tahanan jenis tanah ( $\rho$ ).<sup>28</sup>

**2.5.2 Menghitung Tahanan Pentanahan**

Persamaan-persamaan untuk tahanan tanah dari berbagai sistem elektroda cukup rumit, dan dalam beberapa hal dapat dinyatakan dengan pendekatan-pendekatan. Semua pernyataan dalam persamaan-persamaan itu diperoleh dari hubungan  $R = \frac{\rho L}{A}$  dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin atau sangat jarang ada. Rumus pendekatan yang biasa digunakan untuk elektroda batang dikembangkan oleh Proff. H. B Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts yaitu:

1. ○ Satu Batang tanah panjang L, radius a

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{c} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.10)^{29}$$

2. ○○ Dua batang tanah  $s > L$ ; jarak s

---

<sup>28</sup> Margiono Abdil, “Tahanan Pentanahan”, *Pentanahan*, 2013, hlm.1.  
<sup>29</sup> Ir. T.S. Hutauruk, M.E.E., *Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengentanahan Peralatan, Sistem – Sistem yang Diketanahkan* (Jakarta: Erlangga, 1986), hlm 145.



$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{c} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \dots\dots\dots (2.11)^{30}$$

Dimana :

$\rho$  = Tahanan rata-rata tanah (ohm-cm)

s = Jarak antar elektroda (cm)

L = panjang elektroda atau pasak tanah (cm)

a = Jari-jari penampang elektroda atau pasak (cm)

R = Tahanan elektroda atau pasak ke tanah (ohm)

### 2.5.3 Nilai Tahanan Pentanahan yang Baik

Ada kerancuan antara pentanahan yang baik dan nilai tahanan pentanahan yang seharusnya. Idealnya suatu pentanahan mempunyai nilai tahanan 0 (nol) Ohm. Tidak ada satu standar mengenai ambang batas nilai tahanan pentanahan yang harus diikuti oleh semua badan. Tetapi, badan NFPA (*National Fire Protection Association*) dan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) telah merekomendasikan bahwa nilai tahanan pentanahan tidak boleh lebih besar dari 5 Ohm.

Badan IEC (*International Electrotechnical Standardization*) menyatakan bahwa untuk meyakinkan impedansi sistem ke tanah besarnya kurang dari 25 Ohm maka fasilitas dengan peralatan yang sensitif nilai tahanan pentanahannya harus 5 Ohm atau kurang. Industri telekomunikasi telah menggunakan nilai 5 Ohm atau kurang sebagai nilai tahanan pentanahan dan sambungan. Tujuan nilai tahanan pentanahan adalah untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin yang bisa dipertimbangkan baik secara ekonomis dan secara fisik.<sup>31</sup>

### 2.5.4 Hal – Hal yang Mempengaruhi Nilai Tahanan Pentanahan

Menurut IEC (*International Electrotechnical Standardization*) (1987, 250-83-3) mensyaratkan bahwa panjang elektroda pentanahan minimum 2,5 meter (8

<sup>30</sup> *Ibid*, hlm. 137.

<sup>31</sup> Margiono Abdil, “Tahanan Pentanahan”, *Pentanahan*, 2013, hlm. 2.



kaki) dihubungkan dengan tanah. Ada empat variabel yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan<sup>32</sup>, yaitu :

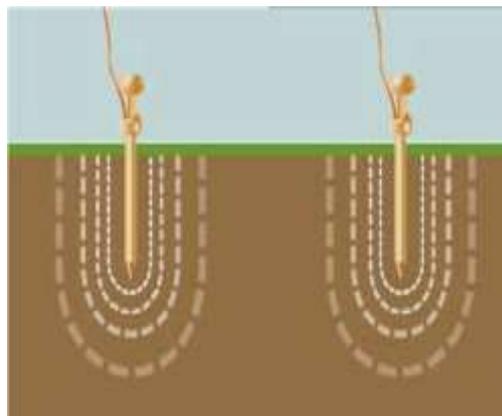
1. Panjang atau kedalaman elektroda pentanahan

Satu cara yang sangat efektif untuk menurunkan tahanan pentanahan tanah adalah memperdalam elektroda pentanahan. Tanah tidak tetap tahananannya dan tidak dapat diprediksi. Ketika memasang elektroda pentanahan, elektroda berada di bawah garis beku (*frosting line*). Hal ini dilakukan agar tahanan pentanahan tidak akan dipengaruhi oleh pembekuan tanah di sekitarnya. Secara umum, menggandakan panjang elektroda pentanahan bisa mengurangi tingkat tahanan sebesar 40%. Ada kejadian – kejadian dimana secara fisik tidak mungkin dilakukan pendalaman batang pentanahan di daerah – daerah yang terdiri dari batu, granit, dan sebagainya. Dalam keadaan yang demikian, metode alternatif bisa menggunakan semen pentanahan (*grounding cement*).

2. Diameter Elektroda Pentanahan

Menambah diameter elektroda pentanahan berpengaruh sangat kecil dalam menurunkan tahanan. Misalnya, bila diameter elektroda digandakan maka tahanan pentanahan hanya menurun sebesar 10%.

3. Jumlah Elektroda Pentanahan



**Gambar 2.8 Elektroda pentanahan yang mempunyai pengaruh lapisan<sup>33</sup>**

<sup>32</sup> *Ibid.*

<sup>33</sup> Margiono Abdil, “Tahanan Pentanahan”, *Pentanahan*, 2013, hlm. 3.



Cara lain menurunkan tahanan tanah adalah menggunakan banyak elektroda pentanahan. Dalam desain ini, lebih dari satu elektroda dimasukkan ke tanah dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan yang lebih rendah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam. Tanpa pengaturan jarak elektroda pentanahan yang tepat, bidang pengaruhnya akan berpotongan dan tahanan tidak akan menurun.

#### 4. Desain Sistem Pentanahan

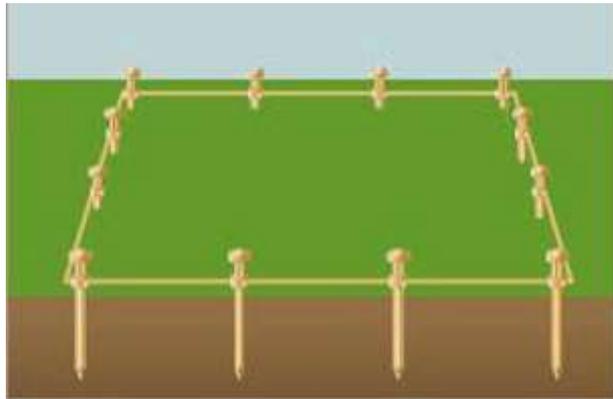
Sistem pentanahan sederhana terdiri dari satu elektroda pentanahan yang dimasukkan ke tanah. Penggunaan satu buah elektroda pentanahan adalah hal yang umum dilakukan dalam pentanahan dan biasa ditemukan di luar rumah atau di toko – toko perorangan (ditunjukkan pada gambar 2.9).



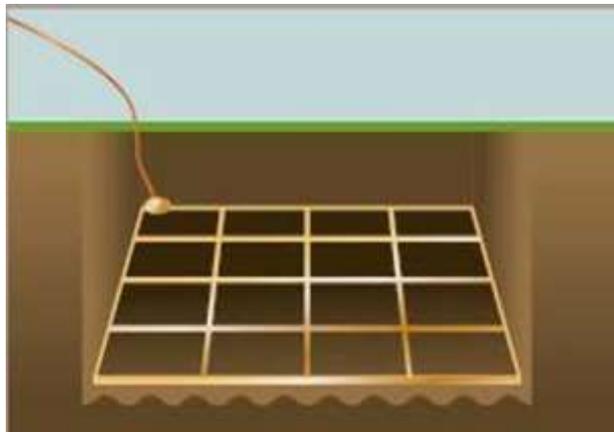
**Gambar 2.9 Satu buah elektroda pentanahan<sup>34</sup>**

Ada pula sistem pentanahan kompleks terdiri dari banyak batang pentanahan yang terhubung, jaringan bertautan atau kisi – kisi, plat tanah, dan loop tanah (ditunjukkan pada gambar 2.10 dan gambar 2.11). Sistem – sistem ini dipasang secara khusus di substasiun pembangkit listrik, gedung perkantoran, dan tempat – tempat menara seluler. Jaringan kompleks meningkatkan secara dramatis jumlah kontak dengan tanah sekitarnya dan menurunkan tahanan pentanahan.

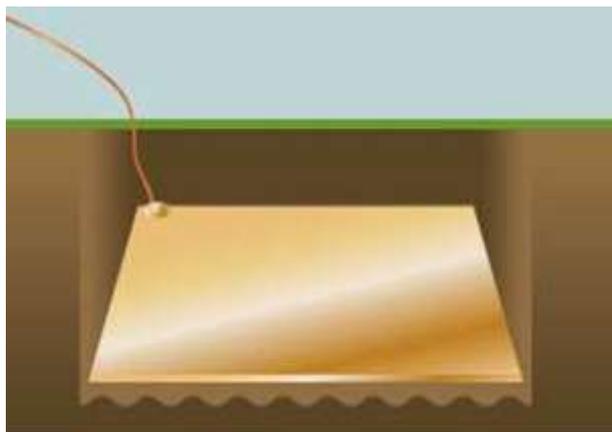
<sup>34</sup> Margiono Abdil, “Tahanan Pentanahan”, *Pentanahan*, 2013, hlm. 3.



**Gambar 2.10 Hubungan beberapa elektroda pentanahan<sup>35</sup>**



**Gambar 2.11 Jaringan bertautan<sup>36</sup>**



**Gambar 2.12 Pelat Pentanahan<sup>37</sup>**

<sup>35</sup> Margiono Abdil, "Tahanan Pentanahan", *Pentanahan*, 2013, hlm. 4.

<sup>36</sup> *Ibid.*