
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penangkal Petir

Penangkal Petir adalah rangkaian jalur yang memiliki fungsi untuk menyalurkan petir langsung menuju kepermukaan bumi tanpa merusak benda-benda yang dilaluinya. Alat penangkal petir memiliki fungsi untuk mencegah bangunan terkena sambaran petir. Cara kerja dari penangkal petir ini adalah saat muatan listrik negatif di bagian bawah awan sudah tercukupi, maka muatan listrik positif di tanah akan segera tertarik. Muatan listrik kemudian segera merambat naik melalui kabel konduktor, menuju keujung batang dari penangkal petir. Ketika muatan listrik negatif berada cukup dekat dari atas atap, daya tarik menarik antara kedua muatan akan semakin kuat, muatan positif di ujung-ujung penangkal petir tertarik ke arah muatan negatif. Pertemuan dari kedua muatan menghasilkan aliran listrik yang dimana aliran listrik tersebut langsung di arahkan kedalam tanah menggunakan kabel konduktor yang terdapat pada penangkal petir, sehingga sambaran petir tersebut tidak mengenai bangunan dan merusak peralatan-peralatan listrik yang ada. Terdapat 3 komponen utama yang ada pada penangkal petir, yaitu :

1. Batang Penangkal Petir

Batang Penangkal Petir merupakan batang tembaga yang ujungnya berbentuk runcing, karena muatan listrik mempunyai sifat mudah berkumpul dan lepas pada ujung logam yang berbentuk runcing. Dengan demikian dapat mempermudah proses tarik menarik antara muatan listrik yang ada di awan. Batang runcing ini dipasang dibagian atas dari suatu gedung.

2. Kabel Konduktor

Kabel Konduktor atau penghantar penangkal petir adalah jalur logam elektrik yang menghubungkan antara ujung penerima sambaran kedalam tanah. Kabel ini memiliki ukuran diameter tertentu dan terdapat pada dinding bagian luar gedung.

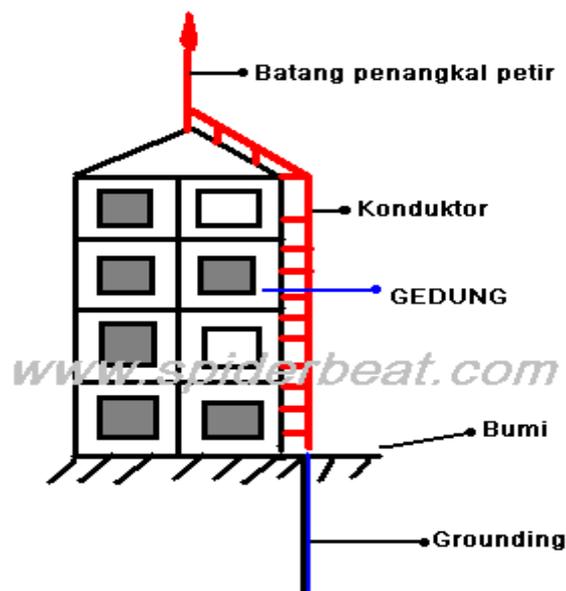
3. Tempat Pembumian (*Grounding*)

Tempat Pembumian (*Grounding*) berfungsi mengalirkan muatan listrik dari kabel konduktor ke batang pembumian (*ground rod*) yang tertanam di tanah. Batang pembumian terbuat dari bahan tembaga berlapis baja, dengan ukuran diameter 1,5 cm dan panjang sekitar 1,8 - 3 m.

2.2 Sistem Pemasangan Penangkal Petir

2.2.1 Penangkal Petir Franklin

Penangkal Petir Franklin adalah rangkaian jalur listrik dari atas bangunan ke sisi bawah atau grounding dengan jalur kabel tunggal. Penangkal petir ini memiliki sifat yang pasif, saat muatan listrik negatif pada bagian bawah awan sudah tercukupi, maka muatan listrik positif dari penangkal petir ini akan menariknya dan langsung dialirkan menuju kedalam tanah sehingga sambaran petir tidak mengenai bagian gedung. Sistem penangkal petir ini memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki biaya yang lebih murah dan lebih praktis dibandingkan dengan penangkal petir lainnya.



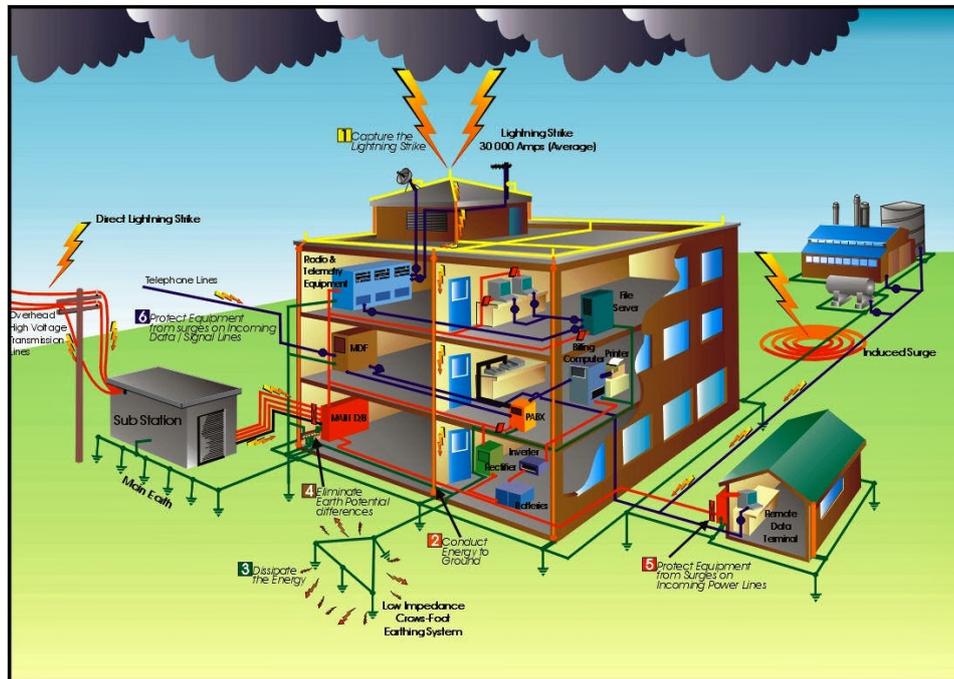
GB: Skematik penangkal petir konvensional

Gambar 2.1 Penangkal Petir Konvensional

2.2.2 Penangkal Petir Faraday

Penangkal Petir Faraday adalah rangkaian jalur listrik dari bagian atas bangunan menuju sisi bawah atau grounding dengan banyak jalur penurunan kabel. Sehingga menghasilkan selubung jalur konduktor yang menyerupai sebuah sangkar yang melindungi sebuah bangunan dari semua sisi sambaran petir. Ketika ada medan listrik yang mengenai sangkar konduktor maka akan ada gaya yang menyebabkan partikel bermuatan mengalami perpindahan tempat, gerakan perpindahan tempat partikel bermuatan akan menghasilkan medan listrik yang berlawanan dengan medan listrik yang mengenainya, sehingga tidak ada medan

listrik yang masuk kedalam dan menyentuh bangunan yang telah dilindungi oleh sangkar tersebut.

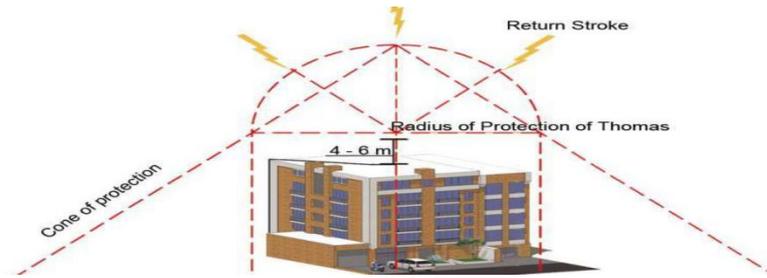


Gambar 2.2 Penangkal Petir Instalasi Sangkar

2.2.3 Penangkal Petir Sistem Elektrostatis

Prinsip kerja dari penangkal petir ini adalah menambah muatan pada ujung finial atau *splitzer* agar petir selalu memilih ujung yang ini untuk disambar. Penangkal petir ini juga merupakan sistem baru yang dikembangkan untuk menarik petir dengan jangkauan yang luas, sehingga jarak perlindungan dari penangkal petir ini semakin luas juga. Sistem penangkal petir ini lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sistem penangkal petir lainnya karena menggunakan teknologi *early streamer emissions*.

Penangkal petir elektrostatis ini bekerja secara mandiri saat *Terminal Head* terhubung dengan *Grounding System* melalui kabel penyalur, dengan menggunakan ion negatif dari bumi untuk menarik ion positif dari awan penyebab petir yang masuk kedalam area perlindungan, sehingga sambaran petir akan tertuntun kedalam *Head Terminal*



Gambar 2.3 Penangkal Petir Elektrostatis

2.3 Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (Indeks (R) Penangkal Petir)

2.3.1 Kebutuhan Bangunan Akan Sistem Proteksi Penangkal Petir

Sebuah bangunan dinilai memerlukan sebuah sistem proteksi penangkal petir dapat dilihat dari penjumlahan nilai-nilai tertentu yang mewakili keadaan dari bangunan tersebut. Nilai yang dimaksud dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Berdasarkan Penggunaan dan Isi

| No. | Penggunaan dan Isi | Indeks A |
|-----|---|----------|
| 1. | Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunannya maupun isinya. | -10 |
| 2. | Bangunan dan isinya jarang digunakan misalnya dangau ditengah sawah,menara atau tiang yang terbuat dari metal. | 0 |
| 3. | Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal misalnya rumah tinggal, industri kecil. | 1 |
| 4. | Bangunan dan isinya terbilang cukup penting misalnya menara air dan bangunan pemerintah. | 2 |
| 5. | Bangunan yang berisi banyak orang misalnya pusat perbelanjaan, tempat beribadah,dan sekolah. | 3 |
| 6. | Instalasi Minyak, Gas, dan Rumah Sakit. | 5 |
| 7. | Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak dapat terkendali bagi sekitarnya misal Instalasi Nuklir | 15 |

Tabel 2.2 Berdasarkan Konstruksi Bangunan

| No. | Konstruksi Bangunan | Indeks B |
|-----|---|----------|
| 1. | Seluruh bangunan terbuat dari logam dan mudah | 0 |



| | | |
|----|---|---|
| | menyalurkan listrik. | |
| 2. | Bangunan dengan konstruksi beton atau dengan rangka besi dan atap logam | 1 |
| 3. | Bangunan dengan konstruksi beton atau dengan rangka besi tanpa atap logam | 2 |
| 4. | Bangunan kayu dengan atap bukan logam | 3 |

Tabel 2.3 Berdasarkan Tinggi Bangunan

| No. | Tinggi Bangunan Sampai (m) | Indeks C |
|-----|----------------------------|----------|
| 1. | 0 sampai dengan 6 | 0 |
| 2. | >6 sampai dengan 12 | 2 |
| 3. | >12 sampai dengan 17 | 3 |
| 4. | >17 sampai dengan 25 | 4 |
| 5. | >25 sampai dengan 35 | 5 |
| 6. | >35 sampai dengan 50 | 6 |
| 7. | >50 sampai dengan 70 | 7 |
| 8. | >70 sampai dengan 100 | 8 |
| 9. | >100 sampai dengan 140 | 9 |
| 10. | >140 sampai dengan 200 | 10 |

Tabel 2.4 Berdasarkan Situasi Bangunan

| No. | Situasi Bangunan | Indeks D |
|-----|--|----------|
| 1. | Ditanah datar pada semua ketinggian | 0 |
| 2. | Di kaki bukit sampai 3/4 tinggi bukit atau dipermukaan sampai dengan 1.000 meter | 1 |
| 3. | Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1.000 meter | 2 |

Tabel 2.5 Berdasarkan Hari Guruh Pertahun

| Hari Guruh Pertahun | Indeks E |
|---------------------|----------|
| 2 | 0 |
| 4 | 1 |
| 8 | 2 |



| | |
|-----|---|
| 16 | 3 |
| 32 | 4 |
| 64 | 5 |
| 128 | 6 |
| 256 | 7 |

Tabel 2.6 Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan PUIPP (Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir)

| R | Perkiraan Bahaya | Pengamanan |
|----------------|-------------------------|-------------------|
| Dibawah 11 | Diabaikan | Tidak Perlu |
| Sama dengan 11 | Kecil | Tidak Perlu |
| Sama dengan 12 | Sedang | Dianjurkan |
| Sama dengan 13 | Agak Besar | Dianjurkan |
| Sama dengan 14 | Besar | Sangat Dianjurkan |
| Diatas 14 | Sangat Besar | Sangat Perlu |

Dari nilai-nilai yang terdapat pada tabel diatas, maka besarnya kebutuhan sebuah bangunan terhadap sistem proteksi penangkal petir dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots(2.1)$$

2.3.2 Tingkat Proteksi Bangunan¹

Berdasarkan Badan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) nilai dari kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di sebuah daerah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} / km^2 / Tahun \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana T_d merupakan jumlah dari hari guruh selama satu tahun di sebuah daerah, dan data tersebut didapatkan dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Setempat.

Untuk Frekuensi dari rata-rata tahunan sambaran petir (N_d) terhadap sebuah bangunan, dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} / Tahun \dots\dots\dots(2.3)$$

¹ Nurheening Yuniarti, Evaluasi Sistem Penangkal Petir Di Gedung Rektorat UNY, 2017, hal.191.

Dimana A_e merupakan area cakupan ekivalen dari bangunan (m^2) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Adapun area cakupan ekivalen (A_e) tersebut, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : a = panjang bangunan (m)
b = lebar bangunan (m)
h = tinggi bangunan (m)

Setelah nilai dari N_d didapatkan, untuk mengetahui tingkat proteksi dari sebuah bangunan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$E = 1 - N_c / N_d \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana E adalah Efisiensi Sistem Proteksi Petir (ESPP), setelah E didapatkan, maka tingkat proteksi dari sebuah bangunan dapat dilihat dari tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Tingkat Proteksi Bangunan Gedung

| Tingkat Proteksi | ESPP |
|------------------|------|
| I | 0,98 |
| II | 0,95 |
| III | 0,90 |
| IV | 0,80 |

Sumber : BSN, Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, SNI 03-7015-2004

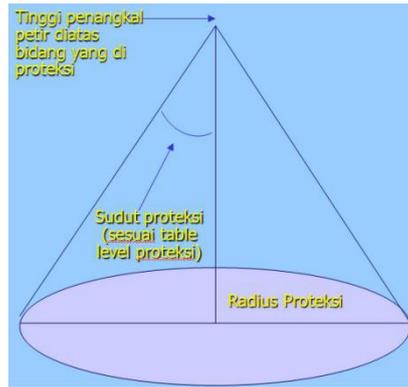
2.3.3 Metode Ruang Proteksi Penangkal Petir²

Metode ruang proteksi penangkal petir terbagi menjadi dua, yaitu metode konvensional dan non konvensional :

A. Metode Ruang Proteksi Konvensional

Pada awal mula penggunaannya, sistem penangkal petir berbentuk kerucut dengan sudut puncak kerucut berkisar 250° hingga 500° , maka semakin besar sudut akan semakin tinggi cakupan wilayah pengamannya, demikian juga sebaliknya

² Syafriyuddin, Analisa Perencanaan Penangkal Petir, 2019, hal.3-4.



Gambar 2.4 Realita Bentuk Tiga Dimensi

Benda dan peralatan yang terdapat didalam ruang kerucut adalah daerah yang berada didalam daerah perlindungan, sedangkan benda dan peralatan yang terdapat diluar ruang kerucut tidak termasuk didalam daerah perlindungan. Pada penangkal petir konvensional, jalur instalasi penyalur petir bersifat pasif pada saat menerima sambaran petir.

Perlindungan penghantar seperti ini juga akan berfungsi melindungi gedung dari kemungkinan bahaya induksi atau masuknya muatan yang besar. Untuk meningkatkan fungsi perlindungan dapat dilakukan dengan cara menambahkan jumlah konduktor penghantar, dan masing-masing konduktor dihubungkan dengan sistem pentanahan.

B. Metode Ruang Proteksi Non Konvensional

Pada teori proteksi non konvensional menurut model elektromeometri hampir sama dengan ruang proteksi konvensional, akan tetapi bidang miring dari kerucut tersebut melengkung dengan jari-jari tertentu. Besarnya jari-jari ini sama besarnya dengan jarak sambar dari lidah petir. Jarak sambar dari lidah petir ini ditentukan oleh besarnya arus petir yang terjadi. Dengan demikian, derajat kelengkungan dari bidang miring kerucut dipengaruhi oleh besarnya arus petir yang terjadi. Besar arus dan jarak sambaran (r_s) dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$r_s = 10 \times I^{(0,65)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana : r_s = jarak sambaran (m)

I = arus puncak petir (KA)

Daerah perlindungan dan sudut proteksi dari sebuah penangkal petir dapat kita ketahui menggunakan rumus empiris dari Hasse dan Wiesinger berikut ini :

$$\alpha = \arcsin\left(1 - \frac{h}{r_s}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : α = sudut proteksi

r_s = jarak sambaran (m)

h = tinggi penangkal petir dari permukaan tanah (m)

Agar dapat mengetahui luas proteksi dari sebuah penangkal petir elektrostatis (non konvensional) yang terpasang, dapat digunakan persamaan berikut :

$$Ax = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana r adalah radius yang terdapat pada spesifikasi dari penangkal petir yang terpasang.

2.4 Parameter Petir³

Sambaran Petir memiliki efek langsung dan juga efek tidak langsung terhadap bangunan. Terdapat beberapa parameter dan karakteristik petir yang menjadi pertimbangan dalam menentukan sistem proteksi dari penangkal petir.

2.4.1 Arus Puncak Petir

Nilai dari Arus Puncak Petir dapat diketahui melalui tingkat proteksi dari sebuah bangunan yang telah ditentukan. Menurut Hileman, arus puncak adalah arus puncak dan sambaran balik. Arus puncak dibagi menjadi dua kategori berdasarkan polaritasnya yaitu negatif dan positif. Arus puncak juga dibedakan berdasarkan sambaran, yaitu sambaran pertama (*first stroke*) dan sambaran susulan (*subsequent stroke*). Besarnya nilai sambaran menentukan besarnya tegangan jatuh pada tahanan pentanahan yang besarnya adalah 10 KV - 100 KV. Berikut merupakan nilai arus puncak berdasarkan tingkat proteksinya berdasarkan SNI 03-7015-2004 pada tabel 2.8 berikut

³ Dennis Messelinus, Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal PT. Pupuk Sriwijaya, 2017, hal.21-23.

Tabel 2.8 Nilai Arus Puncak Petir Berdasarkan Tingkat Proteksi

| Tingkat Proteksi | Arus Puncak (KA) |
|------------------|------------------|
| I | 200 |
| II | 150 |
| III | 100 |
| IV | 100 |

Sumber : SNI 03-7015-2004

2.4.2 Muatan Arus

Muatan Arus adalah daerah luasan terpaan petir atau integral arus satuan waktu. Akibat dari muatan arus ini adalah terjadinya peluasan pada objek yang tersambar petir. Muatan total adalah integral waktu arus petir untuk selama seluruh durasi sambaran petir. Muatan listrik juga menentukan titik sambaran pada suatu batang elektroda.

2.4.3 Kecuraman Arus

Kecuraman Arus merupakan laju dari perubahan arus dalam satuan waktu. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan perbandingan arus puncak pada rentang waktu sambaran petir. Pendekatan yang dilakukan dengan menghitung perubahan laju petir pada saat 30-90 % arus puncaknya.

2.5 Sistem Pentanahan⁴

Sistem Pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga dari lonjakan listrik, sambaran petir, dan lain-lain.

Sistem pembumian penangkal petir (*Grounding System*) adalah suatu rangkaian instalasi dan tertanam didalam tanah yang berfungsi untuk melepaskan arus petir ke dalam bumi atau membuang arus berlebih pada instalasi listrik dan bisa juga untuk membuang induksi pada arus listrik.

⁴ Prie Sumardjati, dkk, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2005, hal.159.

Tingkat kehandalan suatu grounding ada pada nilai konduktivitas logam terhadap tanah yang berhubungan secara langsung atau logam tertanam. Semakin konduktif tanah terhadap benda logam, maka semakin baik. Kelayakan pentanahan penangkal petir harus bisa mendapatkan nilai tahanan sebaran atau resistansi maksimal 5 ohm (bila dibawah 5 ohm semakin baik) (PUIL 2000 : 68).

2.5.1 Syarat-syarat Sistem Pentanahan yang Efektif ⁵

Adapun Syarat-syarat penting yang harus dimiliki oleh sistem pentanahan agar dapat bekerja dengan baik dan efektif adalah :

1. Tahanan Pentanahan harus sesuai dengan syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanamkan harus merupakan bahan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi dan cukup kuat.
3. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan
4. Tahanan pentanahan harus baik disegala macam kondisi cuaca atau musim dalam rentan waktu satu tahun.

2.5.2 Tujuan Sistem Pentanahan

Adapun tujuan-tujuan yang dimiliki oleh sistem pentanahan adalah sebagai berikut :

1. Menjamin keselamatan manusia dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal ataupun tidak dari tegangan sentuh.
2. Menjamin kondisi kerja dari peralatan listrik atau elektronik.
3. Menyalurkan energi listrik dari sambaran petir ke tanah.
4. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya *flashover* ketika terjadi transient.
5. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan elektronik seperti : audio, video, kontrol, dan komputer.
7. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi. Deteksi

⁵ Ir. Abdul Hadi, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta

ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

2.5.3 Fungsi Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan atau *Grounding* adalah suatu sistem yang terpasang pada suatu instalasi listrik yang bekerja untuk meniadakan beda potensial dengan mengalirkan arus sisa dari kebocoran tegangan atau arus dari sambaran petir ke bumi. Cara pemasangan *grounding* ini dapat menggunakan sebuah elektroda khusus untuk pbumian yang ditanam dibawah tanah.

Selain itu juga, pentanahan memiliki fungsi untuk mengamankan manusia dan peralatan dari bahaya yang dapat ditimbulkan oleh energi listrik. Arus gangguan yang mengalir pada elektroda pentanahan akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik dengan titik yang lain di permukaan tanah. Adapun fungsi lain dari sistem pentanahan sebagai berikut :

1. Untuk Keselamatan, *Grounding* berfungsi sebagai penghantar dari arus listrik langsung ke bumi atau tanah saat terjadi kebocoran isolasi atau percikan api pada saat terjadi gangguan, misalnya kabel *grounding* yang terpasang pada badan alat elektronik sehingga dapat mencegah kita dari sengatan listrik.
2. Dalam instalasi penangkal petir, sistem pentanahan berfungsi sebagai penghantar arus listrik yang besar menuju bumi. Meski sifatnya sama, namun pemasangan kabel *grounding* untuk instalasi dan kabel *grounding* untuk penangkal petir harus dipasang secara terpisah.
3. Sebagai proteksi peralatan elektronik atau instrumentasi sehingga dapat mencegah kerusakan akibat adanya bocor tegangan.

2.6 Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000)

Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistans pbumian (*grounding*) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pbumian *grounding*. Namun begitu, untuk daerah yang resistans jenis tanahnya sangat tinggi, resistans pbumian total seluruh sistem boleh mencapai 10 ohm

(PUIL 2000 : 68). Nilai tersebut berlaku untuk seluruh sistem dan instalasi yang terdapat pembumian (*grounding*) di dalamnya.

Untuk standar nilai resistansi pentanahan pada bidang penangkal petir, menggunakan referensi peraturan yang berbeda. Tetapi untuk ketentuan standar nilai resistansi pembumian sama dengan referensi peraturan pada PUIL 2000. Ketentuan yang hampir sama inilah yang menjadikan masing - masing peraturan akan saling berkaitan dalam memberikan solusi dan penjelasan untuk suatu permasalahan. Dengan diperkuat dengan banyak referensi di atas menjadikan standarisasi lebih kuat dan menjadikannya suatu keharusan.

2.7 Hari Guruh di Indonesia

Hari Guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dengan jarak 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh biasanya disebut juga dengan Hari Badai Guntur (*Thunder Stormdays*). Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah khatulistiwa mempunyai kondisi iklim tropis yang lembab dan wilayah perairan yang sangat luas sehingga banyak sekali terbentuknya awan dengan muatan yang sangat tinggi. Hal ini memungkinkan terjadinya banyak sambaran petir di setiap tahunnya, khususnya di daerah-daerah tertentu. Parameter dan Karakteristik gelombang petir terdiri atas besar arus dan tegangan sambaran petir, kecepatan pembangkitan, serta bentuk dari gelombang petir tersebut.

Mengingat letak geografis Indonesia yang di lalui garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia memiliki iklim tropis, akibatnya Indonesia memiliki hari guruh rata-rata pertahun yang sangat tinggi. Dengan demikian seluruh bangunan di Indonesia memiliki resiko kerusakan yang cukup besar akibat terkena sambaran petir. Selain dapat merusak peralatan-peralatan elektronik, sambaran petir juga sangat membahayakan keselamatan dan nyawa manusia. Itulah mengapa pentingnya peranan dari sebuah sistem penangkal petir.

2.8 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

Sistem pentanahan penangkal petir dapat dibuat dalam 3 bentuk, di antaranya:

1. *Single Grounding Rod*

Grounding system penangkal petir yang hanya terdiri atas satu buah titik penancapan batang (*rod*) pelepas arus atau ground rod di dalam tanah dengan kedalaman tertentu (misalnya 6 meter). Untuk daerah yang memiliki karakteristik

tanah yang konduktif, biasanya mudah untuk didapatkan tahanan sebaran tanah di bawah 5 ohm dengan satu buah *ground rod* penangkal petir.

2. Paralel Grounding Rod

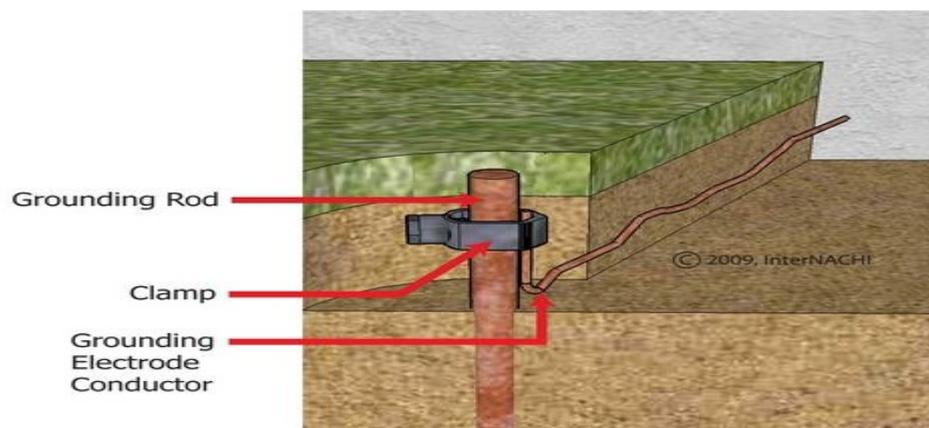
Jika sistem *single grounding rod* penangkal petir masih mendapatkan hasil kurang baik (nilai tahanan >5 ohm), maka perlu ditambahkan *ground rod* ke dalam tanah yang jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan *ground rod* penangkal petir dapat juga ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa diterapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistansi kurang dari 5 ohm setelah pengukuran dengan *Earth Ground Tester*.

3. Multi Grounding System

Bila didapati kondisi tanah yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Kering atau air tanah dalam.
- Kandungan logam sedikit.
- basa (berkapur).
- pasir dan berpori (*porous*).

Maka penggunaan 2 cara sebelumnya akan sulit dan besar kemungkinan gagal untuk mendapatkan resistansi kecil. Maka dari itu teknis yang digunakan adalah dengan cara penggantian tanah dengan tanah yang mempunyai sifat menyimpan air atau tanah yang kandungan mineral garam dapat menghantar listrik dengan baik. *Ground rod* penangkal petir ditancapkan pada daerah titik logam dan di kisaran kabel penghubung antar *ground rod*nya. Tanah humus yaitu tanah dari kotoran ternak dan tanah liat sawah cukup memenuhi standar hantar tanah yang baik.



Gambar 2.5 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

2.9 Tahanan dan Jenis Tanah⁶

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresintasikan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu :

1. Jenis tanah : tanah ladang, tanah liat, berbatu, dan lain-lain.
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau *uniform*.
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 ohm per cm^3 , kadang-kadang harga ini dinyatakan dengan harga ohm/cm. pernyataan ohm/cm mempresentasikan tahanan antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah berisi 1 cm^3 . 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 pengaraman harus dilakukan secara periodic, sedikitnya 6 bulan sekali.

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 tertentu misalnya selama 1 (satu) tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari tingginya permukaan air yang konstan. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan mencapai kedalaman dimana terdapat air yang konstan.

2.9.1 Standar Nilai Tahanan Jenis Tanah

Menurut standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000, maka nilai tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.9 Nilai Tahanan Jenis Tanah⁷

| Jenis Tanah | Resistansi Jenis Tanah (Ω) |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Sawa, Rawa | 30 |
| Tanah liat dan tanah ladang | 100 |
| Pasir basah | 200 |

⁶ Aslimeri, Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid II, 2008, hal.262.

⁷ Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000



| | |
|--------------------------|-------------|
| Kerikil basah | 500 |
| Pasir dan Kerikil Kering | 1000 |
| Tanah berbatu | 2000 - 3000 |
| Air laut dan air tawar | 10 - 100 |

Untuk mencapai nilai tahanan tersebut, tidak semua area bisa terpenuhi karena ada beberapa aspek yang memengaruhinya, yaitu:

1. Kadar air; bila air tanah dangkal/penghujan, maka nilai tahanan sebaran mudah didapatkan sebab sela-sela tanah mengandung cukup air bahkan berlebih, sehingga konduktivitas tanah akan semakin baik.
2. Mineral/garam; kandungan mineral tanah sangat memengaruhi tahanan sebaran/resistans karena: semakin berlogam dan bermineral tinggi, maka tanah semakin mudah menghantarkan listrik. Daerah pantai kebanyakan memenuhi ciri khas kandungan mineral dan garam tinggi, sehingga tanah sekitar pantai akan jauh lebih mudah untuk mendapatkan tahanan tanah yang rendah.
3. Derajat keasaman; semakin asam (PH rendah atau $PH < 7$) tanah, maka arus listrik semakin mudah dihantarkan. Begitu pula sebaliknya, semakin basa (PH tinggi atau $PH > 7$) tanah, maka arus listrik sulit dihantarkan. Ciri tanah dengan PH tinggi: biasanya berwarna terang, misalnya Bukit Kapur.
4. Tekstur tanah; untuk daerah yang bertekstur pasir dan berpori (porous) akan sulit untuk mendapatkan tahanan sebaran yang baik karena jenis tanah seperti ini, air dan mineral akan mudah hanyut dan tanah mudah kering.

2.9.2 Faktor yang Mempengaruhi Tahanan Jenis Tanah

Untuk berbagai tempat tahanan jenis tanah tidaklah sama tergantung pada beberapa faktor yaitu sebagai berikut :

1. Sifat Geologi Tanah

Sifat geologi tanah merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat umumnya mempunyai tahanan jenis terendah, sedang batu-batuan sebagai insulator.

2. Komposisi zat kimia dalam tanah

Kandungan zat – zat kimia 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 memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.

3. Kandungan air tanah

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik samapai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

4. Temperatur tanah

Temperatur bumi pada kedalaman 5 feet (= 1,5 m) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan. Bagi Indonesia daerah tropic perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikatakan tidak ada pengaruhnya.

5. Selain itu faktor perubahan musim juga mempengaruhinya.

2.10 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

Tahanan elektroda pentanahan ketanah tidak hanya tergantung kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman beberapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperbolehkan 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 basah dapat juga mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat larut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu, maka dapat saja di asumsikan 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.

2.11 Elektroda Pentanahan

Dalam sistem pentanahan sangat diperlukan sebuah elektroda pentanahan. Elektroda pentanahan atau *Grounding Electrode* merupakan suatu konduktor yang memiliki fungsi untuk menetapkan suatu nilai pentanahan. Untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang baik, maka elektroda tersebut harus memenuhi beberapa kriteria yang harus dipenuhi sebagai berikut :

1. Tahanan elektroda pentanahan harus bernilai lebih kecil daripada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat yang bernilai besar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang cukup baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah yang berada disekelilingnya.

Bahan konduktor merupakan bahan yang digunakan sebagai sebuah elektroda pentanahan. Berdasarkan ketentuannya, maka bahan-bahan konduktor yang dimaksud adalah besi, aluminium, dan tembaga. Dari ketiga jenis bahan tersebut harus ditinjau juga dari sifat mekanis, listrik, dan kimiawi yang dimiliki oleh ketiga jenis bahan tersebut.

Pada umumnya elektroda-elektroda pentanahan ditanam dengan sejajar satu sama lainnya dalam beberapa puluh centimeter kedalam tanah. Untuk memperkecil harga tahanan pentanahannya, maka daerah pentanahannya harus diperluas karena cara ini merupakan cara yang lebih mudah dari pada memperdalam konduktor.

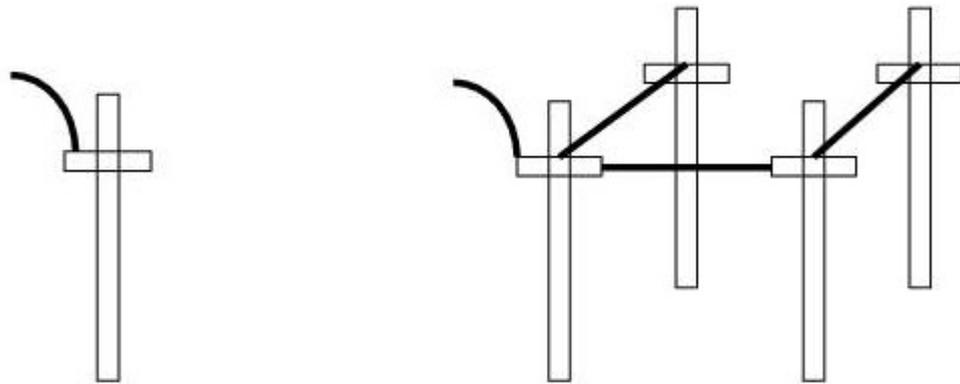
2.12 Macam-Macam Elektroda Pentanahan

Suatu sistem pentanahan menjadi suatu bagian yang sangat berpengaruh bagi sistem tenaga listrik untuk mencegah potensi bahaya listrik yang dapat ditimbulkan terhadap manusia, peralatan-peralatan dan juga sistem pelayanannya. Maka terdapat 3

macam jenis elektroda yang biasa digunakan pada suatu sistem pentanahan, 3 macam elektroda tersebut adalah : Elektroda Batang (*Rod*), Elektroda Pita (Kisi-Kisi), dan Elektroda Plat.

2.12.1 Elektroda Batang (Rod)

Yaitu elektroda bentuk batang yang terbuat dari pipa atau profil yang ditancapkan kedalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakandan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda jenis ini banyak digunakan digardu-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya yaitu tunggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas. Seperti ditunjukkan gambar dibawah ini :



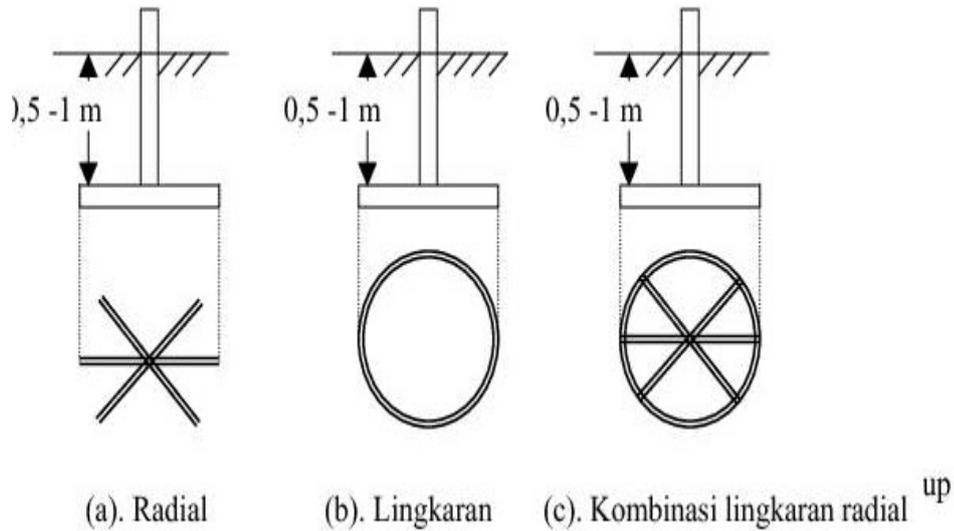
(a). Elektroda batang tunggal

(b). Elektroda batang dalam group

Gambar 2.6 Elektroda Batang (Rod)

2.12.2 Elektroda Pita (Kisi-Kisi)

Yaitu elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang umumnya ditanamsecara dengkal. Elektroda ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada gamabar yag ditanam sejajar permukaan tanah dengan kedalamam antara 0,5 – 1,0 m.



Gambar 2.7 Elektroda Pita (Kisi-Kisi)

2.12.3 Elektroda Plat

Yaitu elektroda tanah berbentuk plat yang terbuat dari sebuah plat yang di tanam dengan permukaan ± 1 m dengan tebal 3 mm. Plat ini ditanam tegak lurus dengan tanah. Sisi plat bagian atas paling sedikit lurus 1 meter dibawah permukaan tanah. Semakin banyak jumlah plat yang diparalelkan dalam pentanahan tersebut, maka makin kecil tahanan pentanahan itu, dan plat yang terpasang itu jaraknya satu sama lain paling sedikit 3 meter. Ditunjukkan pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.8 Elektroda Plat

2.12.4 Pemilihan Elektroda Pentanahan

Untuk mendapatkan nilai tahanan yang serendah mungkin, suatu elektroda pentanahan harus memiliki beberapa kriteria sebagai berikut :

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang digunakan harus :

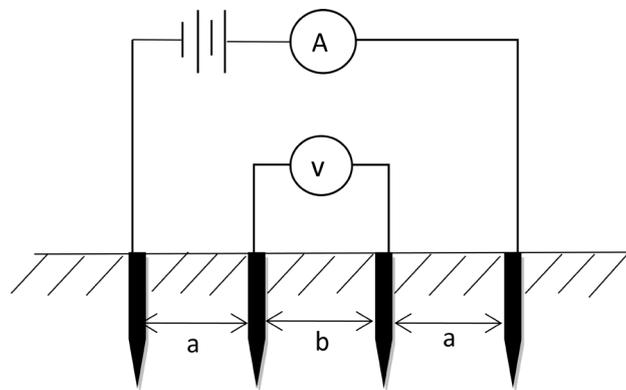
- Bahan konduktor yang baik
 - Tahan korosi
 - Cukup kuat
3. Bukan sebagai sumber arus galvanis.
 4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah yang ada disekelilingnya.
 5. Tahanan pentanahan harus bisa tetap berada dalam keadaan yang baik pada setiap musim dalam satu tahun.
 6. Memiliki biaya pemasangan serendah mungkin.

2.13 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah⁸

Adapun pemilihan jenis-jenis metode pengujian yang sering dilakukan untuk mengukur tahanan jenis tanah adalah :

1. Susunan Wenner (Metode Empat Titik)

Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat elektroda menggunakan empat buah elektroda, sebuah baterai, sebuah amperemeter dan sebuah voltmeter yang *sensitive*, sebagaimana terlihat pada gambar 2.8 dibawah ini :



Gambar 2.9 Susunan Empat Titik (Wenner)

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$h = \frac{3}{4} \dots\dots\dots (2.10)$$

⁸ Chaouvin Arnoux Manual Book For Measuring Soil Resistivity, 2010



Dimana :

ρ = tahanan jenis tanah (ohm.m)

h = kedalaman elektroda pentanahan yang tertanam (m)

ΔV = tegangan terukur pada voltmeter yang terpasang (mV)

I = arus terukur pada ampermeter yang terpasang (mA)

a = Jarak antar elektroda (m)

2. Susunan Schlumberger

Prinsip pengukuran metode Schlumberger didasarkan pada pengukuran dengan prinsip yang sama. Perbedaan terdapat pada posisi elektroda yaitu, jarak antara 2 elektroda luarnya adalah $2b$ (a) dan jarak antara 2 elektroda dalamnya adalah b . Nilai resistansi R dengan parameter arus dan tegangan yang didapat dapat dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{(\pi \cdot (b^2 - a^2 / 4) \cdot R)}{4} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$R = \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

ρ = tahanan jenis tanah (ohm.m)

ΔV = tegangan terukur pada voltmeter yang terpasang (mV)

I = arus terukur pada ampermeter yang terpasang (mA)

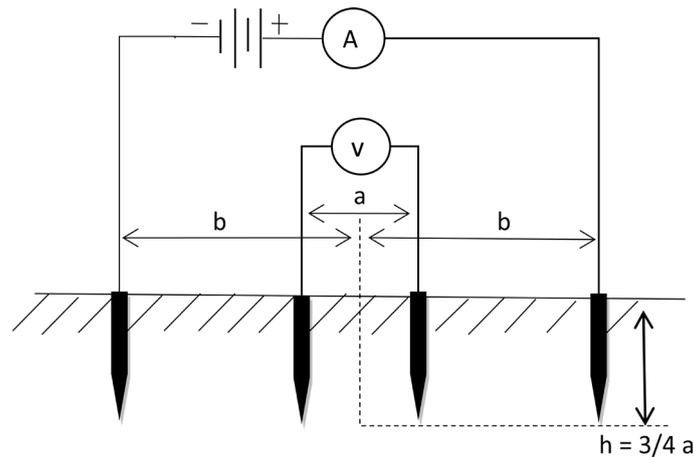
h = kedalaman elektroda pentanahan yang tertanam (m)

a = Jarak elektroda bagian luar (m)

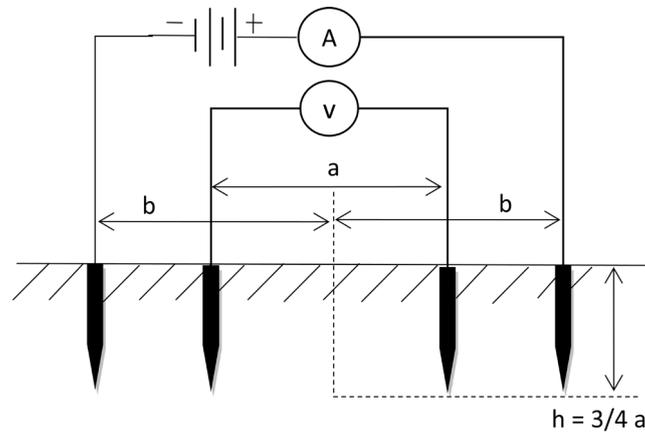
b = Jarak elektroda bagian luar (m)

R = tahanan terhitung

Metode schlumberger dapat menghemat banyak waktu di lapangan , khususnya ketika melakukan beberapa pengukuran resistivitas tanah sekaligus yang digunakan sebagai data-data simpanan untuk keadaan seluruh medan tanah. Waktu tambahan didapat karena hanya dua elektroda yaitu elektroda luar yang dipindahkan untuk pengukuran lain dibandingkan Metode Wenner yang memindahkan seluruh elektroda yang digunakan. Meskipun metode Schlumberger dapat menghemat waktu, akan tetapi metode Wenner lebih dikenal dan lebih banyak digunakan, dikarenakan rumus matematika yang diperlukan lebih sederhana. Susunan Metode Schlumberger dapat ditunjukkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.10 Susunan Schlumberger



Gambar 2.11 Susunan Schlumberger Balik

2.14 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 yang biasa digunakan untuk elektroda batang oleh *proff. H.B Dwight* dari *Institut Teknologi Massachusetts* yaitu :



a. Satu batang tanah panjang L , radius a

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωcm)

s = Jarak antar elektroda (cm)

L = Panjang elektroda atau pasak tanah (cm)

a = Jari – jari penampang elektroda atau pasak tanah

R = Tahanan elektroda atau pasak ketanah (ohm)

Rumus Dwight menunjukkan bahwa tahanan elektroda pentanahan ketanah 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 beberapa pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, maka dapat juga diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya.

Bila tahanan pentanahan yang dikehendaki tidak dapat dicapai oleh elektroda tunggal (*single rod*), maka dua elektroda atau lebih dapat dipergunakan. Dalam hal digunakan 2 elektroda, hubungan antar elektroda dibuat dengan plat strip MS dengan ukuran yang sama dengan penghantar pentanahan, dan jarak antar elektroda tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda.

Apabila masih diperlukan elektroda ketiga, maka elektroda ketiga harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga di 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 pasak atau lebih dapat dihitung parallel, dan tiga buah elektroda membentuk segitiga sama sisi dengan panjang sisinya tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda.

