



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penangkal Petir

Penangkal petir adalah rangkaian jalur yang difungsikan sebagai jalan bagi menuju kepermukaan tanpa merusak benda-benda yang dilewatinya. Alat penangkal petir berfungsi untuk mencegah bangunan dari sambaran petir. Cara kerja penangkal petir 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 ke ujung batang penangkal petir. Ketika muatan listrik negatif berada cukup dekat di atas atap, daya tarik menarik antara kedua muatan semakin kuat, muatan positif di ujung-ujung penangkal petir tertarik ke arah muatan negatif. Pertemuan kedua muatan menghasilkan aliran listrik. Aliran listrik itu akan mengalir ke dalam tanah, melalui kabel konduktor, dengan demikian sambaran petir tidak mengenai bangunan. Ada 3 bagian utama pada penangkal petir:

1. Batang penangkal petir

Batang penangkal petir berupa batang tembaga yang ujungnya runcing karena muatan listrik mempunyai sifat mudah berkumpul dan lepas pada ujung logam yang runcing. Dengan demikian dapat memperlancar proses tarik menarik muatan listrik yang ada di awan. Batang runcing ini dipasang pada bagian puncak suatu bangunan.

2. Kabel konduktor

Kabel konduktor terbuat dari jalinan kawat tembaga. Diameter jalinan kabel konduktor sekitar 1cm hingga 2 cm. Kabel konduktor berfungsi meneruskan aliran muatan listrik dari batang muatan listrik ke tanah.

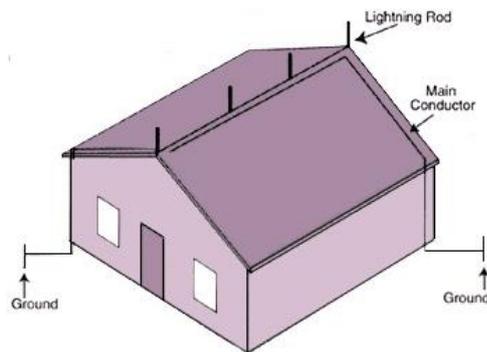
3. Tempat pembumian (Grounding)

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, dengan diameter 1,5 cm dan panjang sekitar 1,8 - 3 m .

2.2 Sistem Pemasangan Penangkal Petir

2.2.1 Penangkal Petir Sistem Konvensional (Franklin Rod)

Teknik penangkal petir yang sederhana dan pertama kali dikenal menggunakan prinsip yang pertama, yaitu dengan membentuk sebuah tameng atau perisai yang berupa konduktor yang akan mengambil alih sambaran petir. Penangkal petir semacam ini biasa disebut *groundwires* (kawat tanah) pada jaringan hantaran udara, sedangkan pada bangunan-bangunan dan perlindungan terhadap struktur, *Benjamin franklin* memperkenalkan dengan sebutan *lightning rod*. Istilah ini tetap digunakan sampai sekarang. Penangkal petir konvensional sifatnya pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya.



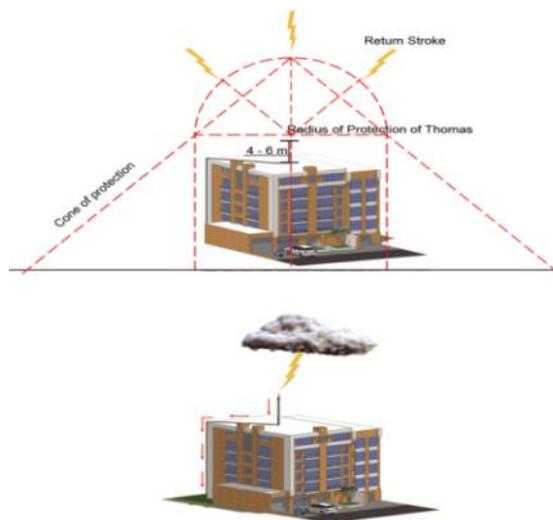
Gambar 2.1 Penangkal Petir Franklin Rod

2.2.2 Penangkal Petir Sistem Sangkar Faraday

Merupakan penyempurnaan dari sistem pemasangan franklin rod yang dibuat untuk mengatasi kelemahan yang ada pada sistem tersebut. Pada sistem penangkal petir ini menjadi lebih efektif untuk menjangkau titik yang tidak dapat dijangkau dari sistem franklin rod yang memang memiliki keterbatasan.

2.2.3 Penangkal Petir Sistem Elektrostatis

Merupakan sistem baru yang dikembangkan untuk menarik petir dengan jangkauan yang luas, sehingga radius perlindungan akan menjadi lebih luas. Sistem penangkal petir elektrostatis ini lebih ramah lingkungan karena menggunakan teknologi early streamer emissions. Sangat dianjurkan untuk memberikan perlindungan area dengan jangkauan yang lebih luas, sehingga dapat menjangkau bagian - bagian terjauh dari area atau bangunan yang ada.



Gambar 2.2 Penangkal Petir Elektrostatis

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

Tabel 2.1 Berdasarkan penggunaan dan Isi

No.	Penggunaan dan Isi	Indeks A
1.	Bangunan biasa yang tak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya.	-10
2.	Bangunan dan isinya jarang digunakan misalnya dangau ditengah sawah atau lading, menara atau tiang dari metal.	0
3.	Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal misalnya rumah tinggal, indutri kecil dan stasiun kereta api.	1
4.	Bangunan atau isinya cukup penting misalnya menara air, toko barang-barang berharga dan kantor pemerintah.	2
5.	Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bisokop, saran ibadah, sekolah, dan monument bersejarah yang penting.	3
6.	Instalasi gas, minyak atau bensin, dan ruah sakit.	5
7.	Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya misalnya instalasi nuklir.	15

Tabel 2.2 Berdasarkan Konstruksi Bangunan

No.	Konstruksi Bangunan	Indeks B
1.	Seluruh bangunan terbuat dari logam dan mudah menyalurkan listrik.	0
2.	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap atau logam.	1
3.	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang, kerangka besi dan atap bukan logam.	2
4.	Bangunan kayu dengan atap atau 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.	Di tanah datar pada semua ketinggian	0
2.	Di kaki bukit sampai 3/4 tinggi bukit atau dipermukaan sampai 1000 meter.	1
3.	Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter.	2

Tabel 2.5 Berdasarkan Hari Guruh Pertahun

Hari Guruh per tahun	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

R	Perkiraan Bahaya	Pengamanan
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
Sama dengan 12	Sedang	Dianjurkan
Sama dengan 13	Agak besar	Dinajurkan
Sama dengan 14	Besar	Sangat dianjurkan
Di atas 14	Sangat besar	Sangat perlu

2.4 Hari Guruh di Indonesia

Hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh biasa disebut juga hari badai guntur (thunderstormdays), Isokeraunik Level adalah jumlah hari guruh dalam satu tahun di suatu wilayah yaitu garis pada peta yang menghubungkan daerah-daerah dengan rata-rata jumlah hari guruh yang sama. Di Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa mempunyai kondisi iklim tropis yang lembab dan wilayah perairan yang sangat luas sehingga banyak sekali terjadi pembentukan awan bermuatan sangat tinggi. Hal ini memungkinkan terjadinya banyak sambaran petir setiap tahunnya, khususnya di daerah-daerah tertentu.

Tabel 2.7 Hari Guruh Di Indonesia

Nama Kota	Curah Petir	IKL	Tingkat keamanan
Naha – Sulawesi	72	19.62	Rendah
Namlea – Maluku	69	18.90	Rendah
Padang Panjang – Sumatera	122	33.47	Sedang
Palembang – Sumatera	156	42.67	Sedang
Pang Brandan – Sumatera	214	58.60	Tinggi
Pangkal Pinang – Kalimantan	118	32.33	Sedang
Palu – Sulawesi	182	49.73	Sedang
Pangkalan Bun – Kalimantan	237	65.04	Tinggi
Paloh – Kalimantan	188	51.56	Tinggi
Palangkaraya – Kalimantan	298	81.68	Tinggi
Pontianak – Kalimantan	219	60.00	Tinggi

2.5 Sistem Pentanahan¹

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 komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Sistem pembumian (adalah suatu rangkaian dan tertanam didalam tanah yang berfungsi untuk melepaskan arus petir ke dalam bumi atau membuang arus berlebih pada instalasi listrik bisa juga membuang induksi pada arus strum listrik salah satu kegunaannya untuk melepas muatan arus petir. Tingkat kehandalan sebuah grounding ada di nilai konduktivitas logam terhadap tanah yang berhubungan secara langsung atau logam tertanam. Semakin konduktif tanah terhadap benda logam, maka semakin baik. Kelayakan harus bisa mendapatkan nilai tahanan atau resistansi sebaran maksimal 5 ohm (PUIL 2000 : 68)

¹Prih Sumardjati, dkk, Teknik pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2005, Hlm. 159.

2.5.1 Syarat – Syarat Sistem Pentanahan Yang Efektif ²

Adapun syarat – syarat agar sistem pentanahan dalam bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebabkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung.
3. Menggunakan bahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi dan diamankan.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.5.2 Tujuan Sistem Pentanahan³

Secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah :

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik atau elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik.
4. Menyalurkan energi sambaran petir ketanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya *flashover* ketika terjadi transient.
6. Mengalihkan energy RF liar dari peralatan-peralatan seperti : audio, video, kontrol, dan komputer.

Menurut IEEE Std 142-2007, tujuan sistem pentanahan adalah:

² As Pabla & Ir. Abdul Hadi, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1991, Hlm. 154.

³ Djiteng Marsudi, Pembangkit Energi Listrik, Erlangga, Jakarta, 2005. Halm 77.

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

2.5.3 Fungsi Sistem Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah bila terjadi gangguan. Disamping itu berfungsi juga sebagai pengaman baik bagi manusia maupun peralatan dari bahaya listrik. Arus gangguan yang mengalir pada elektroda pentanahan akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik dengan titik yang lain di permukaan tanah.

Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja maupun peralatan yang sedang digunakan. Perbedaan tegangan ini akan dirasakan didalam dan disekitar gardu induk dimana terjadi gangguan. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka haruslah dapat direncanakan suatu sistem pentanahan dengan harga tahanan pentanahan yang sekecil mungkin.

Adapun fungsi lain dari sistem pentanahan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk keselamatan, grounding berfungsi sebagai penghantar arus listrik langsung ke bumi atau tanah saat terjadi kebocoran isolasi atau percikan api pada konsleting, misalnya kabel grounding yang terpasang pada badan/sasis alat elektronik seperti setrika listrik akan mencegah kita tersengat listrik saat rangkaian didalam setrika bocor dan menempel ke badan setrika.
2. Dalam instalasi penangkal petir, system grounding berfungsi sebagai penghantar arus listrik yang besar langsung kebumi. Meski sifatnya sama, namun pemasangan kabel listriknya yang besar langsung kebumi. Meski

sifatnya sama, namun pemasangan kabel grounding untuk instalasi dan grounding untuk penangkal petir pemasangannya harus 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 resistansi pembumian (grounding) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada range 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pembumian grounding. Namun begitu, untuk daerah yang resistansi jenis tanahnya sangat tinggi, resistansi pembumian 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 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 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

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

1. Single Grounding system penangkal petir yang hanya terdiri atas satu buah titik penancapan batang (rod) pelepas arus atau 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

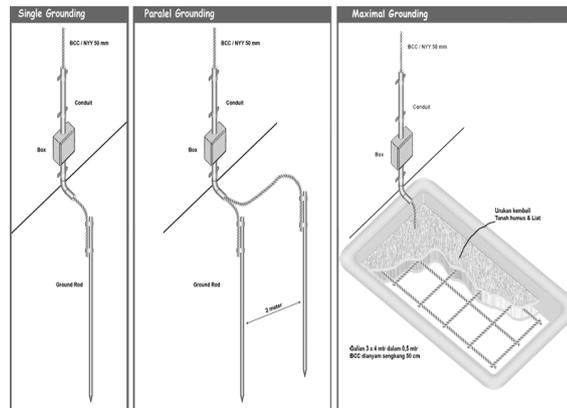
Jika sistem *single grounding* rod penangkal petir masih mendapatkan hasil kurang baik (nilai tahanan >5 ohm), maka perlu ditambahkan ground rod ke dalam tanah yang jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan ground rod penangkal petir dapat juga ditanam mendatar 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 rodnya. Tanah humus yaitu tanah dari kotoran ternak dan tanah liat sawah cukup memenuhi standar hantar tanah yang baik.



Gambar 2.3 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

2.8 Tahanan Jenis Tanah⁴

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 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 penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 bulan sekali.

⁴Aslimeri, dkk, Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Jakarta, 2008, Hlm. 262.

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.

2.8.1 Standar Nilai Tahanan Jenis Tanah

Menurut standard PUIL 2000 maka nilai tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 2.8 Nilai Tahanan Jenis Tanah⁵

Jenis tanah	Resistansi Jenis Tanah (Ωm)
Sawa, Rawa	30
Tanah liat dan tanah lading	100
Pasir basah	200
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

⁵ Peraturan Umum Instalasi Listrik(PUIL) 2000.

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.

2.8.2 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 dikata tidak ada pengaruhnya.

5. Selain itu faktor perubahan musim juga mempengaruhinya.

2.9 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

Tahanan elktroda pentanahan ketanah tidak hanya tergantung kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tanahan yanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman beberapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperboleh tahanan yang rendah. Tanahan 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 bas 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 suau sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Varisai-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.

2.10 Elektroda Pentanahan⁴

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 diperoleh atau diizinkan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin memiliki beberapa persyaratan elektroda yang harus diatuhi adalah :

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.

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, listrik, 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 ditimbulkan bila elektroda tersebut mengalami kerusakan baik karena pengaruh listrik, 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.

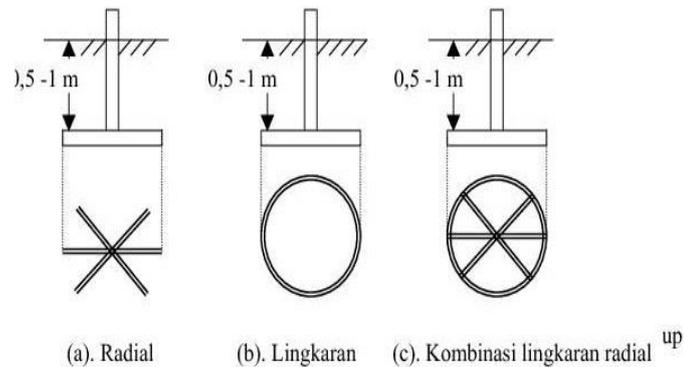
2.11 Macam-Macam Elektroda Pentanahan⁴

2.11.1 Elektroda Pita

Yaitu elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang umumnya ditanam secara

⁴ *ibid.*

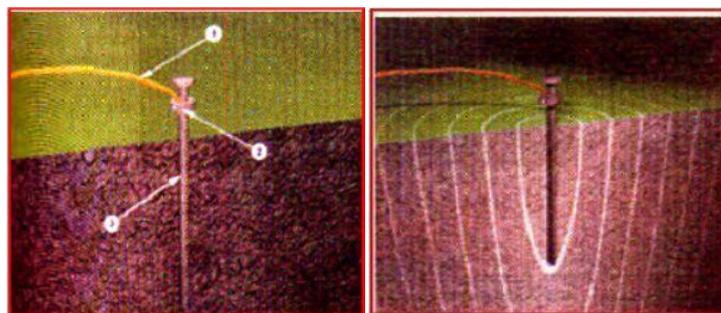
dangkal. Elektroda ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada gambar yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan kedalaman antara 0,5 – 1,0 m.\



Gambar 2. 4 Elektroda Bentuk Pita

2.11.2 Elektroda Batang

Yaitu elektroda bentuk batang yang terbuat dari pipa atau profil yang ditancapkan kedalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda jenis ini banyak digunakan di gardu-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 :



Gambar 2.5 Elektroda Batang⁶

⁶ IR. H. Hazairin Samaulah, M.Eng., Ph.D., Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, Unsri, Palembang, 2004, hlm. 79.

Keterangan :

1. Konduktor tanah
2. Penghubung antara konduktor dengan elektroda
3. Elektroda tanah

2.11.3 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 2.6 elektroda Plat

2.11.4 Pemilihan Elektroda Pentanahan

Untuk mendapatkan tahanan yang serendah mungkin, suatu elektroda pentanahan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi syarat yang diinginkan untuk suatu keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah harus :
 - Bahan konduktor yang baik.
 - Tahan korosi.
 - Cukup kuat
3. Jangan saebagai sumber arus galvanis.

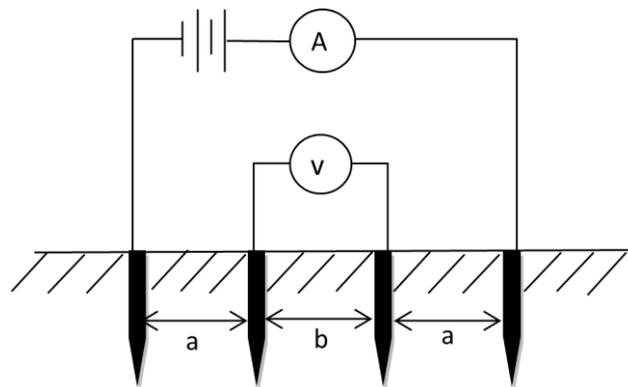
4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
5. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.
6. Biaya.

2.12 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah ⁷

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 2.7 Susunan Empat Titik (Wenner)

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$h = \frac{3}{4} \dots\dots\dots (2.2)$$

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 amperemeter yang terpasang (mA)

a = Jarak antar elektroda (m)

⁷ Chauvin Arnoux Manual Book For Measuring Soil Resistivity. 2010. Ed 01.

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:

$$\rho = \frac{(\pi.(b^2 - a^2/4).R)}{4} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$R = \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

ρ = tahanan jenis tanah (ohm.m)

ΔV = tegangan terukur pada voltmeter yang terpasang (mV)

I = arus terukur pada ampermeter yang terpasang (mA)

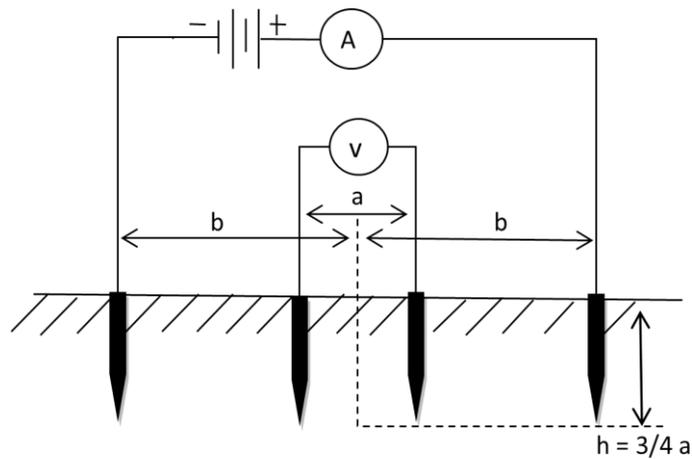
h = kedalaman elektroda pentanahan yang tertanam (m)

a = Jarak elektroda bagian luar (m)

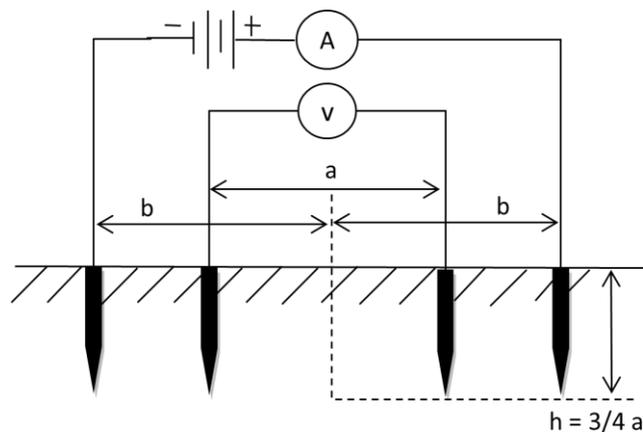
b = Jarak elektroda bagian luar (m)

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 2.8 Susunan Schlumberger



Gambar 2.9 Susunan Schlumberger Balik

2.13 Menghitung Tahanan Pentanahan²

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 :

² *ibid.*

a. Satu batang tanah panjang L , radius a

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

b. Dua pasak dipasang paralel

$$\frac{\text{tahanan 2 pasak paralel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$x = \left(\frac{L}{\ln \frac{48L}{a} - 1} \right) / d \dots\dots\dots (2.7)$$

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)

x = pembagi tahanan tanah 1 pasak menjadi 2 pasak paralel

d = jarak antara 2 pasak paralel

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.

2.14 Pengaruh Ukuran Pasak Terhadap Tahanan²

Apabila pasak ditanam lebih dalam ketanah, maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tanahan berkurang 40 %. Namun, bertambahnya diameter pasak secara material tidak akan mengurangi tahanan. Dua kali lipat diameter misalnya hanya mengurangi besarnya tahanan kurang dari 10 %.

² *ibid.*