



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Petir

Petir adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan saat langit memunculkan kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar yang disebut guruh. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan dan kecepatan suara dan kecepatan cahaya.

Petir merupakan gejala alam yang bisa dianalogikan dengan sebuah kondensator raksasa, saat lempeng pertama berupa awan (bisa lempeng negatif atau lempeng positif) dan lempeng keduanya adalah bumi (dianggap netral). Seperti yang sudah diketahui kapasitor adalah sebuah komponen pasif pada rangkaian listrik yang bisa menyimpan energi sesaat (*energy storage*). Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (*intercloud*) yang salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif.

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.



2.2 Penangkal Petir

Penangkal petir adalah rangkaian jalur yang difungsikan sebagai jalan bagi petir menuju kepermukaan bumi 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. Terminasi Udara (*Air Terminal*)
2. Konduktor Penyalur Petir (*Down Conductor*)
3. Pembumian (*Grounding*)

Bagian Penunjang pada penangkal petir

1. *Upper Termination Kit*
2. *Lightning Event Counter*

2.2.1 Terminasi Udara (*Air Terminal*)

Terminasi Udara (*Air Terminal*) merupakan bagian sistem proteksi petir eksternal yang berupa batang elektroda tembaga yang ujungnya di buat runcing dan dipasang secara tegak maupun mendatar di titik tertinggi suatu bangunan yang bertujuan untuk menangkap petir dan menyalurkannya ke bumi.

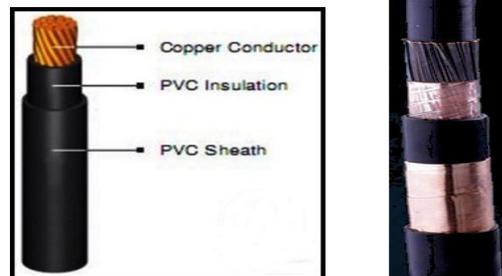
Perancangan sistem terminal udara pada suatu bangunan membutuhkan metode perancangan untuk menentukan penempatan dan jumlah terminal udara sehingga menghasilkan daerah perlindungan yang baik berdasarkan konstruksi bangunan. Adapun kriteria penting dalam metode perancangan sistem terminal udara adalah sebagai berikut : Mengalami peningkatan yang signifikan dari metode sebelumnya.



1. Memiliki landasan ilmiah.
2. Telah dipraktekkan dan teruji lebih dari satu dekade.
3. Mempertahankan kesederhanaan sehingga dapat dilakukan penggunaannya secara umum.

2.2.2 Konduktor Penyalur Petir (*Down Conductor*)

Kabel konduktor adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang menghantarkan arus yang bersumber dari sambaran petir dari *Air terminal* ke *Grounding*. Kabel konduktor harus dipasang vertikal tegak lurus sehingga tercipta jarak terpendek antara ujung bangunan dengan bumi. Kabel penghantar petir bisa menggunakan kabel NYY minimal 50 mm sampai 70 mm dengan pertimbangan kabel ini cukup mampu menahan induksi petir. Kemudian bisa menggunakan kabel *Double Shielded Down Conductor*, yang mempunyai impedansi rendah memperkecil loncatan arus.



Gambar 2.1 Kabel NYY dan Kabel *Double Shielded Down Conductor*

2.2.3 Pembumian (*Grounding*)

Pentanahan suatu sistem adalah pembuatan hubungan ke tanah secara listrik dari sistem tersebut, agar petir dapat mengalir ke tanah tanpa menimbulkan tegangan lebih yang berbahaya. Bentuk dan ukuran dari sistem pentanahan merupakan hal yang penting. Bagaimanapun juga tahanan pentanahan diusahakan agar tahanan pentanahannya lebih kecil dari lima ohm (Ria, 2009), karena sambaran langsung maupun tidak langsung dari petir tidak hanya dapat merusak peralatan dan membunuh makhluk hidup, tetapi juga dapat merusak komponen elektronika pada instalasi penting.



2.2.4 Upper Termination Kit

Merupakan komponen penghubung antara kabel *down conductor* dan terminasi udara (*air terminal*) yang berfungsi meredam pukulan akibat sambaran petir.



Gambar 2.2 Upper Termination Kit

2.2.5 Lightning Event Counter

Merupakan peralatan yang sangat efektif untuk menunjukkan jumlah sambaran yang menghantam dan mengenai perangkat penyalur petir yang terpasang di sebuah bangunan, Fungsi utamanya sebagai analisa keakurasian dari penangkal petir yang telah terpasang di seluruh unit bangunan.



Gambar 2.3 Lightning Event Counter

2.3 Sistem Pemasangan Penangkal Petir

2.3.1 Penangkal Petir Sistem Elektrostatis

Merupakan sistem pentanahan baru yaitu *Early Streamer Emission* (ESE). *Early Streamer Emission* ini adalah sistem penangkal petir non konvensional dengan teknologi yang lebih baru. Penangkal petir jenis *Early Stramer Emission* (ESE) pertama kali dipatenkan oleh Gusta P Capart tahun 1931. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, Szillard pada tahun 1914 pernah melontarkan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada franklin rod untuk meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Awalnya, penangkal petir ini terdiri atas franklin rod dengan bahan radioaktif sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui kabel penghantar.



Ada tiga prinsip penting yang dimiliki oleh sistem penangkal petir non konvensional jenis ESE dengan kelebihan-kelebihan yang diberikan dari prinsip kerjanya, antara lain :

- a. Penyaluran arus petir yang sangat kedap atau tertutup terhadap obyek sekitar dengan menggunakan terminal penerima dan kabel penghantar yang memiliki sifat isolasi tegangan tinggi.
- b. Menciptakan elektron bebas awal yang besar sebagai streamer emission pada bagian puncak dari terminal udara dan juga bebas radioaktif.
- c. Memberikan jaminan keamanan terhadap objek yang dilindungi dengan radius proteksi yang luas terhadap sambaran petir.

Prinsip kerja penangkal petir ESE sama dengan penangkal petir konvensional, yaitu sebagai tameng atau perisai yang mengambil alih sambaran petir. Perbedaannya terletak pada bagaimana cara mengalihkan sambaran petir tersebut. Penangkal petir konvensional bersifat pasif, yaitu menunggu petir menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar, sedangkan penangkal petir non konvensional jenis ESE adalah bersifat aktif, yaitu menciptakan emisi keatas untuk menarik sambaran petir.

Mekanisme kerja penangkal petir jenis Early Stramer Emission (ESE) yakni dengan memanfaatkan energi awan yang melintas. Elektroda yang terpasang di dalam peralatan akan mengumpulkan dan menyimpan energi dari awan yang bermuatan listrik ke dalam kapasitor yang mampu diisi ulang (Re Load). Setelah cukup besar baru kemudian dikirim ke unit Ion Generator.

Disaat banyak energi petir di atmosfer maka awan menginduksi unit Ion Generator. Informasi ini diolah dalam unit Ion Generator untuk di manfaatkan sebagai pemicu pelepasan energi. Akibat dari pelepasan energi yang menghentak ini akan menghasilkan ionisasi berbentuk lidah api penuntun ke udara (Streamer Leader) melalui batang utama penangkal petir jenis Early Stramer Emission (ESE), lidah api penuntun inilah yang kemudian disambut oleh petir. Sambutan sambaran petir akan meniti dari jalur bekas streamer yang terjadi sebelumnya, mengikuti sampai ke unit terminasi udara yang terpasang.



Dengan demikian sambaran petir dapat diamankan menuju satu titik sambaran yang kemudian disalurkan melalui kabel penghantar terminasi bumi.



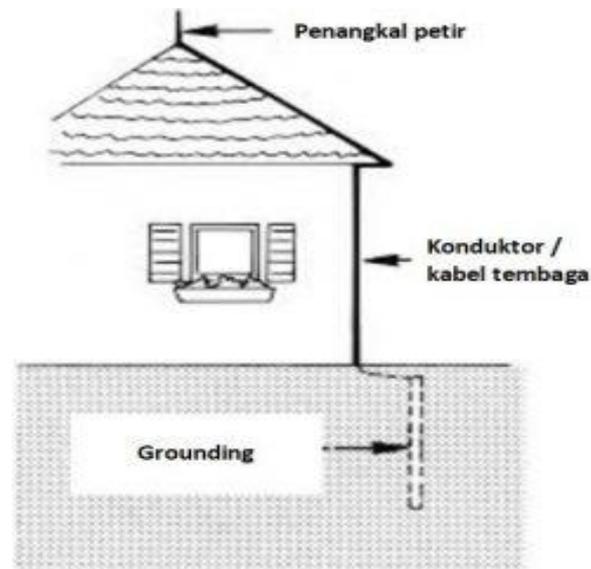
Gambar 2.4 Terminasi udara ESE

2.3.2 Penangkal Petir Sistem Konvensional (Franklin Rod)

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.



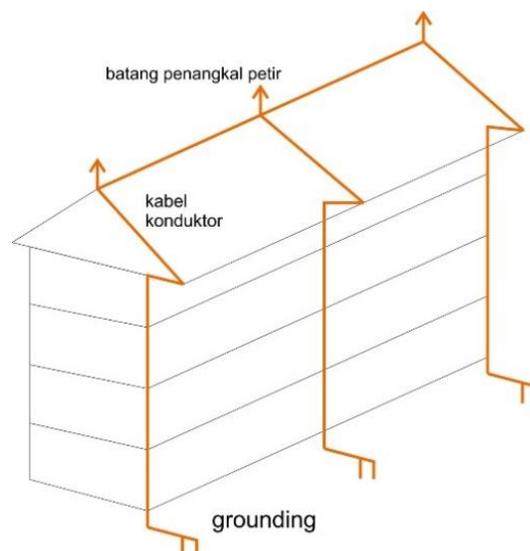
Gambar 2.5 Penangkal Petir Franklin tahun 1972



Gambar 2.6 Penangkal Petir Franklin Rod

2.3.3 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.



Gambar 2.7 Penangkal Petir Sangkar Faraday



2.4 Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (Indeks (R) Penangkal Petir)¹

Tabel 2.1 Indeks A: 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 rumah sakit.	5
7.	Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya misalnya instalasi nuklir.	15

¹ Departemen Pekerjaan Umum RI, 18-20



Tabel 2.2 Indeks B: 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 berulang, kerangka besi dan atap bukan logam.	2
4.	Bangunan kayu dengan atap atau bukan logam	3

Tabel 2.3 Indeks C: 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 Indeks D: 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 Indeks E: Berdasarkan Hari Guruh Pertahun

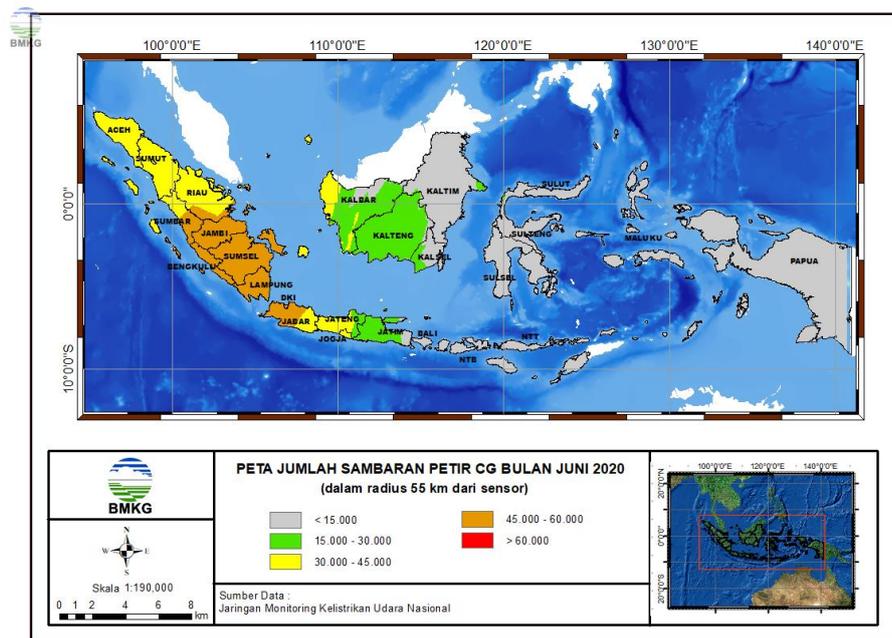
Hari Guruh per tahun	Indeks E
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
128	6
256	7

Tabel 2.6 Indeks R: Perkiraan Bahaya Sambaran Petir

R = A+B+C+D+E	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	Dianjurkan
Sama dengan 14	Besar	Sangat dianjurkan
Di atas 14	Sangat besar	Sangat perlu

2.5 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.



Gambar 2.8 Peta Sambaran Petir 2020

(sumber: bmkg.go.id)

2.6 Sistem Pentanahan²

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.

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



2.6.1 Karakteristik Sistem Pentanahan yang efektif

Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh sistem pentanahan agar dapat bekerja dengan baik dan efektif adalah :

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Verifikasi secara visual dapat dilakukan.
3. Menghindarkan gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.
4. Semua komponen metal harus ditahan/diikat oleh sistem pentanahan, dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.

2.6.2 Tujuan Sistem Pentanahan³

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

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.

2.6.3 Fungsi Sistem Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui ektroda 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

³ As Pabla & Ir. Abdul Hadi, Sistem Distribusi Daya Listrik, Erlangga, Jakarta, 1991, Hlm. 154.



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.
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 pemasanganya harus terpisah.
3. Sebagai proteksi peralatan elektronik atau instrumentasi sehingga dapat mencegah kerusakan akibat adanya bocor tegangan.

2.7 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 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 resistans jenis tanahnya sangat tinggi, resistans 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 standar nilai resistansi pentanahan pada bidang penangkal petir, menggunakan referensi peraturan yang berbeda. Tetapi untuk ketentuan standar nilai resistans 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.

2.8 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

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

1. Single Grounding Rod

Single 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

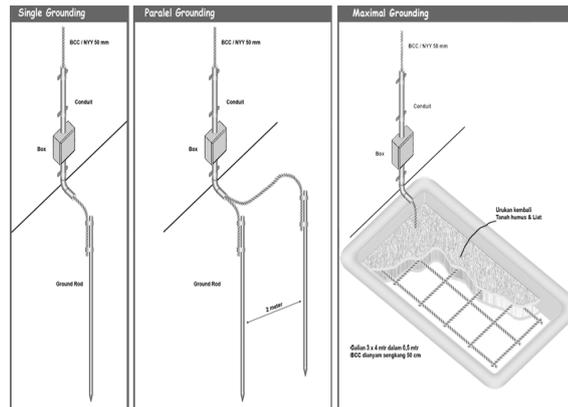
3. Multi Grounding System

Yaitu menggunakan plat tembaga yang ditanam dalam tanah, 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 teknis yang digunakan adalah dengan cara penggalian tanah dengan tanah yang mempunyai sifat menyimpan air atau tanah yang kandungan mineral garam dapat menghantar listrik dengan dengan baik. Misalnya: tanah liat, tanah humus, lalu Ground rod ditancapkan pada daerah titik logam dan di kisaran kabel penghubung antar ground rod nya.



Gambar 2.9 Sistem Pentanahan Penangkal Petir

2.9 Karakteristik Tahanan Jenis Tanah

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Sesuai dengan tujuan pentanahan bahwa arus gangguan harus secepatnya terdistribusi secara merata ke dalam tanah, maka penyelidikan tentang karakteristik tanah sehubungan dengan pengukuran tahanan dan tahanan jenis tanah merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi besarnya tahanan pentanahan. Pada kenyataannya tahanan jenis tanah harganya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanahnya dan faktor faktor lain. Untuk memperoleh nilai tahanan jenis tanah yang akurat diperlukan pengukuran secara langsung pada lokasi bangunan. Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berbeda beda.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tahanan jenis tanah antara lain: Pengaruh temperatur, pengaruh gradien tegangan, pengaruh besarnya arus, pengaruh kandungan air dan pengaruh kandungan bahan kimia. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar.



Kadangkala pada penanaman elektroda memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, untuk hal seperti ini harga tahanan jenis tanah harus diambil dari keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Berdasarkan harga inilah dibuat suatu perencanaan pengetanahan. Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam secara praktis akan konstan.

Nilai tahanan jenis tanah (ρ) sangat tergantung pada tahanan tanah (R) dan jarak antara elektroda-elektroda yang digunakan pada waktu pengukuran. Pengukuran perlu dilakukan pada beberapa tempat yang berbeda guna memperoleh nilai rata-ratanya. Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam secara praktis akan konstan.

2.9.1 Standar Nilai Tahanan Jenis Tanah

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

Tabel 2.7 Nilai Tahanan Jenis Tanah⁴

Jenis tanah	Resistansi Jenis Tanah (Ωm)
Sawa, Rawa	30
Tanah liat dan tanah ladang	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.

⁴ Peraturan Umum Instalasi Listrik(PUIL) 2000.



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. Didaerah 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 tropis perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikata 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. 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 Pentanahan⁵

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 :

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

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

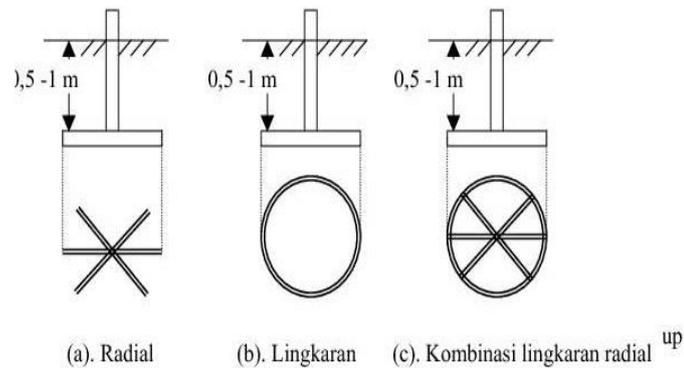
2.12 Macam-Macam Elektroda Pentanahan⁶

2.12.1 Elektroda Pita

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

⁵ Aslimeri, dkk, Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan, Jakarta, 2008, Hlm. 262.

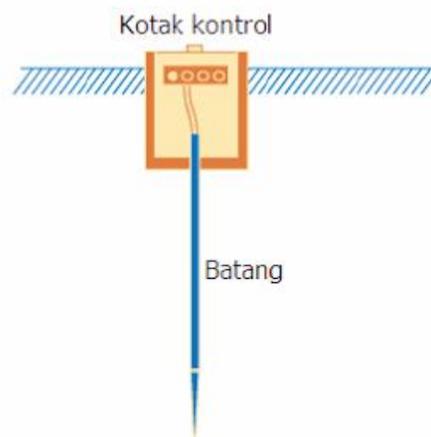
⁶ Ibid



Gambar 2.10 Elektroda Bentuk Pita

2.12.2 Elektroda Batang

Adalah elektroda berbentuk batang yang terbuat dari pipa atau profil yang ditancapkan kedalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan 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 bisa dikombinasikan dengan *Lightning Event Counter*, yang berfungsi sebagai indikator jika terjadi sambaran petir, me-record dengan sistem induksi.



Gambar 2.11 Elektroda Batang

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 2.12 elektroda Plat

2.12.4 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 sebagai sumber arus galvanis.b
4. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
5. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.

2.13 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

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

- b. Dua pasak dipasang paralel

$$\frac{\text{tahanan 2 pasak paralel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$x = \left(\frac{L}{\ln \frac{48L}{a} - 1} \right) / d \dots\dots\dots (2.3)$$

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.



Untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan dapat dilakukan dengan cara memperbanyak elektroda yang ditanam dalam tanah dan dihubungkannya secara paralel.

Adapun rumus umum paralel, yaitu :

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \dots + \frac{1}{R_N} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan :

$R_{tot} = \text{Tahanan} [\Omega]$

2.14 Standarisasi Pentanahan Untuk Penangkal Petir

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor : PER.02/MEN/1989 Tentang Pengawasan Instalasi Penyalur Petir, Pada bab ix Pemeriksaan dan Pengujian pada pasal 54 disebut:

- Tahanan pembumian dan seluruh sistem pembumian tidak boleh lebih dan 5 ohm;
- Pengukuran tahanan pembumian dan elektroda bumi harus dilakukan sedemikian rupa sehingga kesalahan-kesalahan yang timbul disebabkan kesalahan polarisasi bias dihindarkan;
- Pemeriksaan pada bagian-bagian dan instalasi yang tidak dapat dilihat atau diperiksa, dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran secara listrik.