

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem pentanahan adalah merupakan suatu mekanisme dimana daya listrik dihubungkan langsung dengan tanah . Pentanahan peralatan yakni menghubungkan bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus dengan tanah. Hal ini bertujuan untuk membatasi beda tegangan bagi bagian peralatan yang tidak dialiri arus dengan bagian bagian ini dengan tanah sampai pada suatu nilai yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Hal ini berfungsi mendapatkan beda potensial yang sama dalam suatu struktur bangunan dan peralatan serta untuk memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Apabila arus hubung singkat ke tanah dipaksa mengalir melewati tanah dengan resistansi tanah yang besar akan menimbulkan perbedaan tegangan yang besar dan berbahaya. (Zainal & Abdul Gufron 2015).

Disisi lain sistem pentanahan juga berfungsi sebagai sistem pengaman terhadap sambaran petir terutama pada gedung bertingkat dan bangunan tinggi yang berada pada zona atau daerah dengan hari guruh pertahun cukup tinggi. Dengan adanya sistem pentanahan yang baik dan efektif maka resiko kerusakan akibat petir bias diatasi.

Laporan proyek akhir yang berjudul “Audit Sistem Penangkal Petir Gedung Perpustakaan Universitas Negeri Yogyakarta” menjelaskan beberapa poin penting dalam standar pemasangan dan kebutuhan penangkal petir yang terpasang pada gedung bertingkat. Metode yang digunakan menggunakan standar PUIPP dan metode konvensional dengan sudut proteksi sehingga didapatkan kesimpulan gedung perpustakaan terlindungi dengan baik. (Mutaqin , 2015).

Jurnal skripsi yang berjudul “Analisa Perbaikan Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Ditanah Kapur dan Padas Menggunakan Metode Sigarang (Sistem *Grounding* Garam dan Arang)” membahas bagaimana cara memperkecil tahanan

tanah dengan menempatkan electrode tembaga pada area berisikan air garam dan arang sehingga tahanan tanah yang besar pada tanah kapur dan cadas dapat diatasi. (Zainal & Abdul Gufron 2015).

Jurnal dengan judul “Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Lampung” berisi pembahasan bagaimana cara menghitung kebutuhan sistem pentanahan eksternal untuk mengatasi ganggana petir. Pada karya tulis ini digunakan standar SNI dengan metode konvensional sudut proteksi sehingga didapat kesimpulan bahwa gedung memerlukan proteksi tingkat III dan sistem perlindungan petir yang terpasang sudah sesuai standar. (Riza Ariesta, Dikpride Despa, Herri Gusmedi & Lukmanul Hakim).

Laporan Proyek Akhir dengan judul “ Analisa *Overhead Ground Wire* Sebagai Perlindungan Terhadap Gangguan Surja Petir pada Gardu Induk 150 Kv Bantul “ Membahas tentang bagaimana sistem pentanahan eksternal berupa kawat tanah (*overhead ground wire*) mengatasi gangguan petir dan analisis persentase kegagalan proteksi terhadap sambarana petir. Metode yang digunakan menggunakan PUIPP dan IEC dengan metode konvensional dan sudut proteksi petir. Tingkat proteksi gardu induk IV dengan persentase kegagalan sebesar 0,294 %. (Abdullah, 2015).

Dalam penelitian ini penulis membahas tentang analisis sistem pentanahan pada gedung admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan fungsinya sebagai pengaman terhadap petir.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Sistem Pentanahan

Di dalam buku Teknik Pemanfaatan Listrik Jilid 1 disebutkan bahwa sekitar tahun 1900 sistem pentanahan baru dikenal pada masyarakat umum. Sebelumnya sistem tenaga listrik tidak dipasang pentanahan karena nilai tegangan yang terpasang masih kecil dan tidak membahayakan. Namun sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, maka diperlukan sistem pentanahan. Hal ini dilakukan

untuk mengantisipasi potensi bahaya listrik yang sangat besar untuk bagi manusia, lingkungan, peralatan dan pelayanan sistem itu sendiri (Prih Sumardjati, dkk).

Sistem pentanahan yaitu hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, *body* peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan bagian instalasi dari bahaya tegangan atau arus yang tidak normal . Sehingga sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik. (Prih Sumardjati, dkk)

2.2.2 Fungsi Pentanahan

Sistem grounding melayani tiga fungsi utama yang tercantum di bawah ini :

2.2.2 A.Keselamatan Individual

Keselamatan manusia dapat tercapai dengan pemasangan pentanahan dengan impedansi yang rendah yang dihubungkan atau “*bonding*” antara peralatan logam, chassis, pemipaan, dan benda konduktif lainnya sehingga arus bocor dan gangguan petir, tidak mengakibatkan tegangan yang cukup untuk menimbulkan bahaya kejut listrik bagi manusia . Pemasangan instalasi pentanahan yang tepat memudahkan pengoperasian perangkat pelindung arus lebih yang melindungi sirkuit atau instalasi kelistrikan yang terpasang (W. Keith Switzer, 1999).

2.2.2 B.Peralatan dan Perlindungan Bangunan.

Perlindungan peralatan dan bangunan dapat dijamin dengan pemasangan pentanahan dengan impedansi yang rendah yang dihubungkan atau “*bonding*” antara layanan listrik, perangkat pelindung, peralatan dan benda konduktif lainnya sehingga gangguan arus bocor dan petir tidak mengakibatkan tegangan berbahaya di dalam gedung. Komponen dapat berkerja secara tepat terutama perangkat pelindung arus lebih , karena komponen ini sering bergantung pada jalur arus dengan impedansi rendah. (W. Keith Switzer, 1999).

2.2.2 C. Pengurangan Noise Listrik.

Pemasangan sistem pentanahan yang baik dapat mengurangi noise pada peralatan dan komponen elektronis yang berada dalam gedung seperti komponen penguat suara, CCTV dan peralatan dengan sistem DC pada gedung. Sistem pentanahan yang tepat dapat mengurangi kebisingan listrik dan memastikan:

1. Impedansi antara titik ground sinyal di seluruh bangunan dapat diminimalkan.
2. Potensi beda tegangan antar peralatan yang saling berhubungan diminimalkan.
3. Bahwa efek ganda medan listrik dan magnet diminimalkan.

Fungsi lain dari sistem pentanahan adalah untuk memberikan jalan bagi konduktor rangkaian untuk menstabilkan tegangan ke *ground* selama operasi normal. Bumi itu sendiri tidak maksimal untuk memberikan fungsi jalan untuk arus listrik. Sebagai gantinya tubuh manusia dapat bersifat konduktif yang akan menjadi jalur untuk arus listrik mengalir ke bumi. (W. Keith Switzer, 1999)

2.2.3 Macam macam Sistem Pentanahan

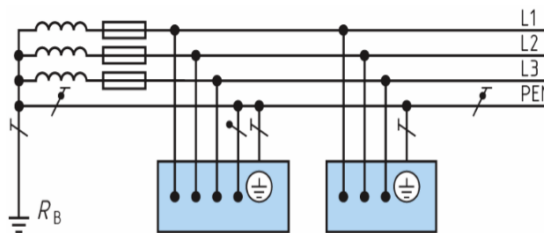
Sistem pentanahan memiliki beberapa macam jenis. Masing masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada teori ini hanya dijelaskan mengenai - jenis pentanahan titik netral yang umum digunakan. Macam sistem pentanahan akan menentukan skema perlindungan maka macam macam sistem pentanahan harus diketahui terlebih dahulu.

2.2.3 A. Sistem Pentanahan Netral

Ada lima macam skema pentanahan netral sistem daya, yaitu:

1. Sistem Pentanahan Terra Netral, terdiri dari 3 macam, yaitu:
 - a. Sistem Hantar Tanah dan Netral Disatukan (*Terra Neutral Combined*) TN-C

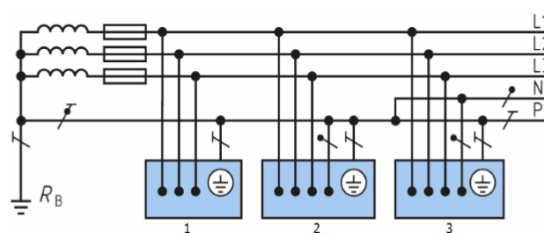
Pada skema pentanahan ini hantaran netral dan hantaran pengamanan digabung menjadi satu secara total. Skema ini menggunakan hantaran netral dan hantaran pentanahan dengan hantaran yang sama. (Prih Sumardjati, dkk.)



Gambar 2.1 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

b. Sistem Pentanahan Kombinasi Hantar Tanah dan Netral Terpisah TN-C-S (*Terra Neutral Combined Separated*) TN-C-S

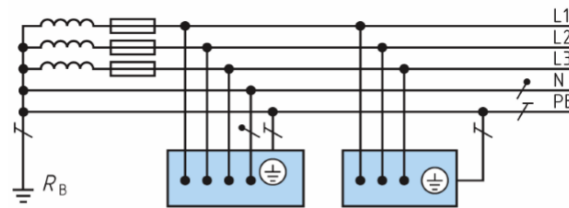
Skema pentanahan ini hantaran netral dan hantaran pengamanan digabung menjadi satu hantaran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Gambar 2.2 menunjukkan bahwa bagian sistem 1 dan 2 memiliki satu hantaran pentanahan yang dikombinasi. Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua saluran netral dan pentanahan secara terpisah. (Prih Sumardjati, dkk.)



Gambar 2.2 Saluran Tanah dan Netral disatukan terpisah (TN-C-S)

c. Sistem Pentanahan Netral Terpisah (*Terra Neutral Separated*) TN-S

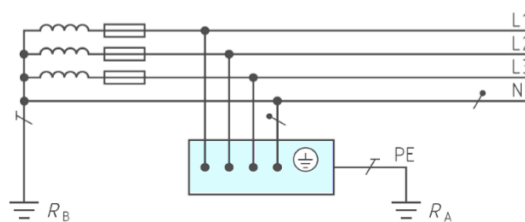
Skema pentanahan ini hantaran tanah pengamanan dan netral terpisah dan secara menyeluruh terpasang pada sistem. Sehingga sistem pentanahan tipe ini memiliki hantar netral dan hantar tanah secara terpisah. (Prih Sumardjati, dkk.)



Gambar 2.3 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

2.2.3 B. Sistem Pentanahan Hantaran Tanah dengan Tanah (*Terra Terra*) TT

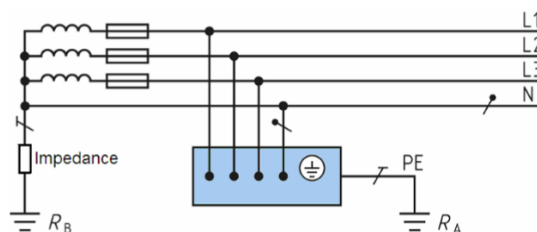
Sistem pentanahan dimana posisi hantar netral terhubung langsung ke tanah, tetapi bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda. Gambar 2.4 menjelaskan bahwa pentanahan peralatan diadakan dengan Pentanahan titik netral dan pentanahan yang berbeda. (Prih Sumardjati, dkk.)



Gambar 2.4 Saluran Tanah Sistem Terra terra (TT)

2.2.3 C. Sistem Pentanahan Hantaran Tanah dengan Impedansi (*Impedance Terra*)

Sistem pentanahan jenis ini tidak memiliki hubungan langsung ke tanah tetapi melewati impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi terhubung secara langsung ke batang elektroda pentanahan tersendiri seperti pada gambar 2.5 dibawah ini. (Prih Sumardjati, dkk.)



Gambar 2.5 Saluran Tanah Melalui Impedansi (IT)

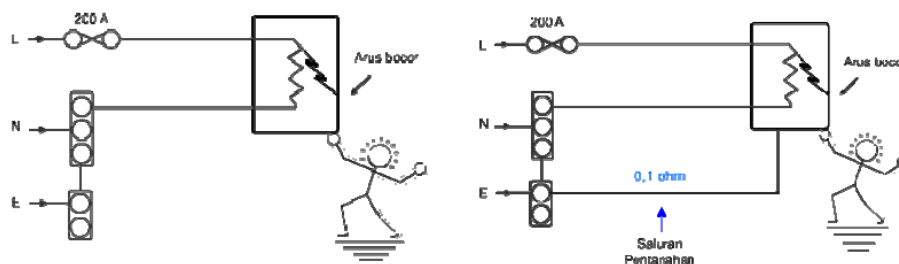
2.2.4 Sistem Pentanahan Untuk Pengamanan Peralatan

Sistem pentanahan netral proteksi yakni perlindungan dengan menghubungkan chasis atau body peralatan dan instalasi yang dilindungi dengan saluran netral yang ditanahkan sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak terjadi tegangan sentuh yang tinggi sampai bekerjanya alat pengaman arus lebih. Pentanahan ini juga mengamankan manusia dari tegangan langkah dan tegangan sentuh. (Prih Sumardjati, dkk).

2.2.4 A. Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tegangan ini muncul akibat kegagalan isolasi pada peralatan maupun instalasi sehingga alat atau instalasi teraliri arus abnormal sehingga membahayakan manusia seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Apabila tidak terpasang sistem pentanahan, tegangan bocor pada instalasi atau peralatan sama besarnya dengan tegangan pada peralatan atau instalasi itu sendiri. (Prih Sumardjati, dkk).

Kondisi ini berlangsung selama alat pengaman arus lebih belum bekerja sehingga membahayakan manusia dan sekitar. Tetapi apabila sistem instalasi dan peralatan diberi pentanahan yang benar, kemungkinan tegangan sentuh dibatasi pada tingkat aman yakni maksimal 50 V. (Prih Sumardjati, dkk).

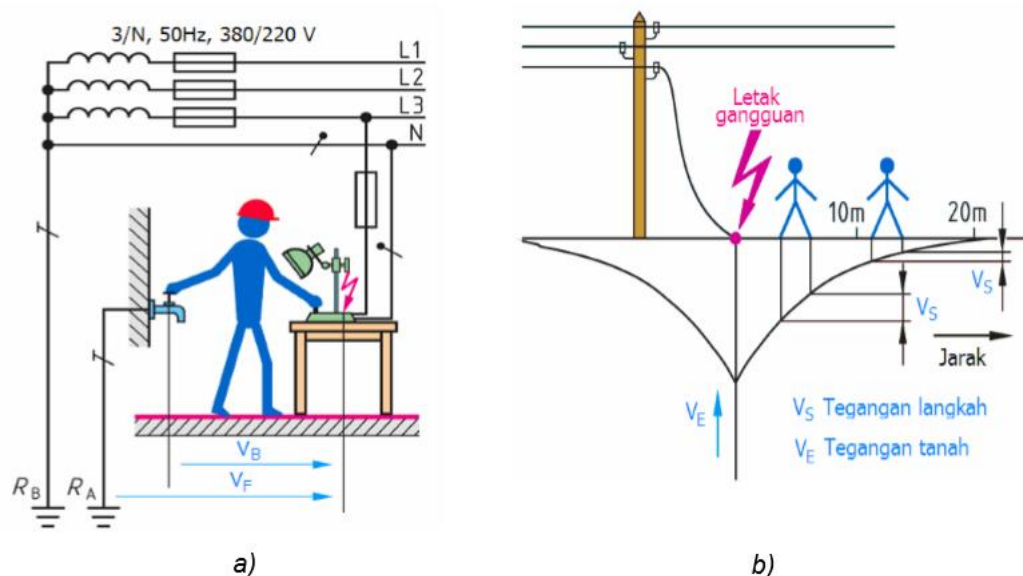


Gambar 2.6 Tegangan sentuh tidak langsung

Pada gambar 2.6 dapat dilihat antara sebelum dan sesudah ada sistem pentanahan yang terpasang pada alat yang terbungkus dengan bahan konduktif. Pada keadaan sebelum dipasangkan pentanahan, jika terjadi arus gangguan atau arus bocor maka selungkup peralatan memiliki tegangan terhadap tanah sama dengan tegangan sumber. (Prih Sumardjati, dkk)

2.2.4 B. Tegangan langkah

Tegangan ini muncul karena aliran arus bocor atau arus gangguan yang melewati tanah. Arus gangguan ini cukup tinggi terutama apabila arus mengalir dari tempat terjadinya gangguan kembali ke sumber (titik netral) melewati tanah yang mempunyai resistansi tanah yang cukup besar sehingga tegangan di permukaan tanah akan menjadi tinggi. Didalam gambar 2.7 mengilustrasikan tegangan langkah yang terjadi akibat kegagalan isolasi (a) dan akibat hantaran yang putus menuju tanah (b).



Gambar 2.7 Tegangan sentuh dan tegangan langkah

Dari beberapa penjelasan sistem pentanahan sebelumnya sistem pentanahan yang terpasang bertujuan untuk :

1. Melindungi manusia dari sengatan listrik baik dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Mencegah munculnya titik api penyebab kebakaran dan ledakan di bangunan terutama arus gangguan tanah.

2.2.5 Macam-macam Elektroda Pentanahan

Prinsip elektroda ditentukan dengan melihat bahan yang memiliki kontak hubung konduktif yang sangat baik terhadap tanah. Berikut ini akan dibahas macam

elektroda yang digunakan dan rumus perhitungan untuk merencanakan berapa besar tahanan tanah tanah yang dapat dicapai.

1. Elektroda Berbentuk Batang (Rod)

Elektroda batang ialah alat pentanahan elektroda terbuat dari pipa atau besi baja yang dihubungkan hantaran tanah dan dipasang ke dalam tanah. Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda, di mana:

$$RG = RR = 1 + \frac{\rho}{2\pi LR} \left[\ln\left(\frac{4LR}{AR}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(1)$$

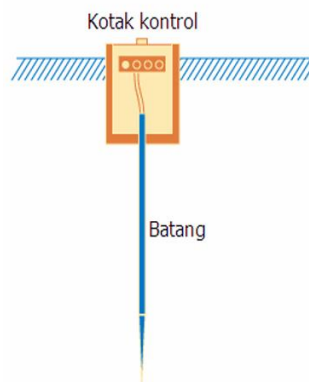
RG = Resistansi pentanahan (Ohm)

RR = Resistansi pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Resistan jenis tanah (Ohm-meter)

LR = Panjang elektroda (meter)

AR = Diameter elektroda (meter)



Gambar 2.8 Elektroda Tipe Batang

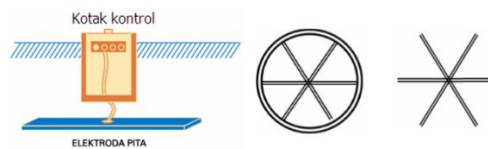
Bila tahanan pembumian dikehendaki tidak dapat dicapai oleh satu elektroda batang, maka dua elektroda atau lebih dapat dipergunakan. Untuk jumlah elektroda yang sedikit cenderung mengikuti rumus tahanan hubungan parallel , yaitu :

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R\dots n} \dots\dots\dots(2)$$

2. Elektroda Berbentuk Pita

Elektroda pita ialah elektroda pentanahan yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Hal ini dilakukan pada kondisi kontur tanah berbatu keras dan memiliki resistansi jenis tanah yang tinggi.

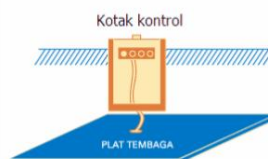
Besar kecilnya resistansi pentanahan yang dihasilkan dari jenis elektroda ini dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektroda itu sendiri yakni bentuk mingkar, roda atau kombinasi antar keduanya.



Gambar 2.9 Elektroda Tipe Pita

3. Elektroda Berbentuk Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat konduktif baik berlubang maupun tidak bias juga kawat kasa. Secara umum elektroda ini tertanam cukup dalam ditanah. Jenis elektrodan ini dipergunakan untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.



Gambar 2.10 Elektroda tipe Pelat

2.2.6 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah adalah tahanan yang ada dalam tanah berukuran 1 m dalam berbentuk kubus dan diberi satuan Ohm meter dimana tahanan jenis tanah

akan menjadi tolak ukur untuk penentuan resistansi tanah yang akan direncanakan. Tahanan jenis tanah berubah dan memiliki tahanan yang berbeda antara tanah satu dengan yang lain seperti pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)
Sawah,Rawa(Tanah Liat)	0 - 150
Tanah garapan (Tanah Liat)	10 – 200
Sawah,Tanah Garapan(Kerikil)	100 – 1000
Pengunungan(Biasa)	200 – 2000
Pengunungan(Batu)	2000 – 5000
Pinggirian sungai(Berbatu)	1000 – 5000

2.2.7 Sistem Pentanahan Pengaman Petir

Fungsi sistem pentanahan selanjutnya adalah perlindungan terhadap petir dan tegangan lebih sementara akibat petir atau lebih dikenal dengan tegangan paku atau surja petir. Pemaparan tentang petir dan peralatan pengaman serta perhitungan yang berkaitan dengan hal tersebut dipaparkan dalam teori dibawah ini.

1. Sejarah penangkal petir

Pada awal penyelidikan listrik melalui tabung Leyden dan peralatan lainnya, sejumlah orang (Wall, Abbe Nollet, dkk) mengusulkan “*spark*” lompatan arus skala kecil memiliki beberapa kemiripan dengan petir.

Benjamin Franklin, yang juga menemukan *lighting rod*, berusaha mengetes teori ini dengan menggunakan sebuah tiang yang didirikan di Philadelphia. Selama dia menunggu penyelesaian tiang tersebut, beberapa orang lainnya (Dalibard dan Delor) melakukan eksperimen serupa di Marly-La-Ville, Perancis pada tahun 1752, yang kemudian dikenal sebagai eksperimen Philadelphia. (Mutaqin, 2011 :7).

2. Petir

Petir adalah lompatan arus listrik raksasa bertegangan tinggi yang terjadi pada atmosfer bumi yang terjadi karena adanya pembebasan energi listrik atau pelepasan muatan listrik (*electrical discharge*).

Petir adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan, dimana dilangit muncul kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan bisa disebut kilat , yang beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar yang disebut guruh . Beda waktu kemunculan ini disebabkan beda kecepatan suara dan kecepatan cahaya. (Diaz Adiyaksa 2011 :9).

.Petir yang menyambar suatu objek dapat membakar objek tersebut jika tidak diamankan dengan alat penangkal petir yang bekerja dengan baik. Untuk itu perlu instalasi penangkal petir yang baik dan benar, tentunya dengan sistem pentanahan yang baik pula (Abdullah 2015 : 7).

3. Surja Petir

Menurut Mardi, Dedy (2009) Sambaran petir dapat menyebabkan surja petir yang merupakan salah satu factor yang menimbulkan tegangan lebih sementara pada saluran atau sistem instalasi listrik. Surja petir adalah gejala tegangan lebih sementara yang disebabkan oleh sambaran petir yang mengenai suatu sistem kelistrikan baik langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu diperlukan sistem perlindungan terhadap gangguan petir untuk Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

4. Proses Petir Terbentuk

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena awan bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya 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 yang disebut guruh atau guntur. (Abdullah 2015 : 8)

Petir sering terjadi pada musim hujan, karena kadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena adanya awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif , maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.

Menurut Bayu Purnomo P (2015) untuk proteksi petir, perhatian utama tertuju pada *cloud-to-ground discharge* (sambaran muatan listrik dari awan ke tanah). Ini adalah proses yang terjadi atas dua tahap : proses pertama di inisiasi dari awan, lalu proses kedua di inisiasi dari tanah atau struktur.

Didalam bukunya Bayu Purnomo P (2015) menyebutkan ionisasi muncul di dasar awan untuk membentuk *corona discharges*. Sebuah ujung petir atau (*leader*) biasa disebut pelopor terbentuk dari awan turun menuju ke permukaan tanah. Hal ini bukan kilatan yang sangat terang, sejumlah kilatan percabangan biasanya dapat terlihat menyebar keluar dari jalur kilat utama. Keitka pelopor tersebut hampir mendekati permukaan tanah, medan listrik meningkat dengan pesat, mempercepat muncul ionisasi tanah. Dtitik ini beda potensial antara pelopor turun dan bumi dapat mencapai 100 juta volt, menghasilkan *final breakdown* diudara. Peluahan muatan dari tanah (*ground discharge*) mulai naik ke atas pelopor naik / *upward leader*) menjumpai pelopor turun (*downward leader*), bertemu pada ketinggian puluhan hingga ratusan meter diatas permukaan tanah.

Setelah saluran terionisasi ini terbentuk dengan bertemunya pelopor naik dan pelopor turun, sebuah jalur berimpedansi rendah terbentuk antara awan dan tanah. Arus pendek terbentuk di titik pertemuan antara awan dan permukaan tanah tersebut, dan hasilnya sebuah arus listrik yang sangat kuat dan terang mengalir dari dalam jalur kilatan itu menuju awan.

5. Hari Guruh

Menurut definisi W.M.O (*World Meteorologi Organization*) hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar Guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km atau lebih dari stasiun pengamatan. Hari guruh ini juga disebut hari badai guntur (*Thunderstormday*).

Data meteorology dari Badan Meteorologi dan Geofisika menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia yang jumlah hari badai Guntur per tahunnya cukup tinggi antara lain : sebagian daerah Sumatra utara, daerah kepulauan Beliton, daerah Jawa Barat, Maluku, Jawa Timur, dan daerah Papua dimana hari badai gunturnya lebih dari 200 hari pertahun. Untuk daerah D.I.Yogyakarta pada tahun 2014 jumlah hari guruh pertahunnya mencapai 270(Stasiun Geofisika Yogyakarta). Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah hari guruh yang tinggi yaitu curah hujan yang tinggi di beberapa tempat di Indonesia.

6. Kerusakan Akibat Petir

Kerusakan akibat sambaran petir dapat digolongkan menjadi 2 golongan yaitu :

1. Kerusakan Akibat Sambaran Langsung

Sambaran petir yang langsung mengenai struktur bangunan, tentu saja hal ini sangat membahayakan bangunan dan seluruh isinya karena bisa berakibat kebakaran, kerusakan perangkat listrik dan elektronik, atau bahkan korban jiwa. Cara penanganannya adalah dengan pemasangan sistem proteksi penangkal petir eksternal yaitu terdiri dari *air terminal*, *down conductor* dan Elektroda pentanahan (*earth electrode*).

2. Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung

Kerusakan karena petir yang menyambar pada satu titik yang kemudian menyebabkan hantaran induksi melalui aliran listrik PLN, telekomunikasi, pipa pam dan peralatan besi lainnya yang dapat mencapai 1 km dari tempat petir tadi terjadi. Sehingga tanpa disadari dengan tiba-tiba peralatan listrik computer, pemancar TV, radio ataupun

peralatan elektronik lainnya rusak/terbakar tanpa sebab yang jelas. Cara penanganannya adalah dengan pemasangan proteksi petir internal, yaitu peralatan peredam surja (*surge suppression device*).

Tidak ada sistem penangkal petir yang efektif 100% melindungi suatu bangunan. Sebuah sistem yang dirancang sesuai dengan standar tidak menjamin kebal dari kerusakan. Berikut bahaya sambaran petir dari akibat pentanahan yang tidak sesuai standar :

1. Tidak dapat bernafas karena asap atau cidera sebab kebakaran.
2. Bahaya dari struktur, misalnya reruntuhan bangunan yang dapat menimpa akibat sambaran petir.
3. Kondisi taka aman, misal bocoran air dari atap menyebabkan bahaya listrik, kegagalan atau kerusakan sistem proses peralatan dan keamanan.

Resiko bagi struktur dan peralatan internal termasuk :

1. Kebakaran ataupun ledakan dipicu oleh panas dari sambaran petir.
2. Kebocoran atap karena panas plasma dititik sambaran.
3. Kerusakan.kegagalan sistem listrik dan elektronik internal.
4. Kerusakan mekanis termasuk lepas/hilangnya material pada titik sambaran.

2.2.7.1 Frekuensi Sambaran Petir

Menurut Syakur dan Yuningtyastuti (2006), jumlah rata-rata rekuensi sambaran petir pertahun (Nd) dapat dihitung dengan perkalian kerapatan kilat ke bumi pertahun (Ng) dan luas daerah perlindungan efektif pada bangunan (Ae) :

$$Nd = Ng \times Ae \dots\dots\dots(3)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dapat dipengaruhi oleh hari guruh rata-rata pertahun didaerah tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh hubungan seperti berikut :

$$Ng = 4.10^{-2} \times T^{1.26} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan Ae atau luas daerah perlindungan bangunan sebagai berikut :

$$Ae = [\{ 2(p+1) \times 3h \} + \{ 3,14 \times 9h^2 \}] \dots \dots \dots (5)$$

Sehingga dari substitusi persamaan diatas menjadi :

$$Nd = 4.10^{-2} \times T^{1.26} \times [\{ 2(p+1) \times 3h \} + \{ 3,14 \times 9h^2 \}] \dots (6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

p = Panjang bangunan

l = Lebar bangunan

h = Tinggi atap bangunan

T = Hari guruh wilayah per tahun

Nd = Total frekuensi sambaran petir langsung per tahun (sambaran/tahun).

Ng = Kerapatan sambaran petir ke tanah

Ae = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir (Nd) km²

Perhitungan Kegagalan Perlindungan Penangkal Petir

Menurut Karahap (2007) pada tahun 1960, Proovost mengemukakan suatu *resume* yang cukup baik tentang perananan kawat tanah dan penangkal petir. Jumlah gangguan akibat kegagalan penangkal petir dapat dihitung dengan metode konvensional dan beberapa pertimbangan.

1. Mengetahui jumlah total hari guruh pertahun IKL (Iso Keraunic Level) Dari data BMKG wilayah DIY pada Bulan November 2016- November 2017 mencapai 270 Hari guruh pertahun.

2. Menghitung luas daerah yang dilindungi penangkal petir (A).

$$A = \pi r^2 + S \times d \dots \dots \dots (7)$$

3. Menghitung harga kerapatan sambaran petir (D)

$$D = 9,875.10^{-8} \times IKL \dots \dots \dots (8)$$

4. Menghitung jumlah sambaran petir yang terjadi pada penangkal petir (L)

$$L = 100.1000/S \times A \times D \dots \dots \dots (10)$$

5. Kemungkinan kegagalan penangkal petir

$$\text{Log } P\theta = 0.06 \times (\theta - 2,2) \dots \dots \dots (11)$$

2.2.7.2 Penangkal Petir

Adakalanya petir mencapai bumi dan dapat menimbulkan kebakaran, luka-luka atau menyebabkan maut kepada manusia. Salah satu sifat dari muatan listrik adalah saling tarik menarik antara muatan positif dan negatif. Sifat ini digunakan alat penangkal petir untuk menarik dan menyalurkan ketanah/bumi melalui kabel (*down conductor*), sebelum petir tersebut menyambar bangunan

Petir yang ditarik dan disalurkan kedalam tanah/bumi dihubungkan dengan *down conductor*. Macam macam konduktor yang dapat digunakan untuk mengalirkan energi petir ketanah beserta karakteristik utamanya adalah *steel frame* (rawan terhadap putus / gagal sambungan yang menyebabkan loncatan petir dan adanya arus induksi di sekeliling arus petir). *Bare copper* (ada arus induksi disekeliling arus petir) dan *coaxial cable* (arus induksi disekap didalam kabel).

Sedangkan untuk *grounding terminal*, dapat berupa batang tembaga, lempeng tembaga, atau kerucut tembaga. Semakin luas permukaan terminal dan semakin rendah tahanan tanah, maka semakin baik sistem pentanahannya.

Prinsip kerja penangkal petir yaitu apabila muatan listrik negative dibagian bawah awan sudah tercukupi, maka muatan listrik positif di tanah akan segera tertarik. Muatan listrik kemudian segera merambat naik melalui kabel penghantar menuju penangkal petir. Ketika muatan listrik negative berada cukup dekat diatas, daya Tarik menarik antara kedua muatan semakin kuat, muatan listrik positif diujung penangkal petir tertarik kerah muatan negative. Pertemuan kedua muatan listrik ini menghasilkan aliran listrik. Aliran listrik akan mengalir ke dalam tanah melalui kabel penghantar, dengan demikian sambaran petir tidak mengenai bangunan.

Akan tetapi sambaran petir dapat merambat ke dalam bangunan melalui kawat jaringan listrik, dan bahayanya dapat merusak alat alat elektronik di bangunan yang terhubung dengan jaringan listrik pada gedung. Untuk mencegah kerusakan yang terjadi akibat sambaran petir, di dalam bangunan dipasang peredam surja atau tegangan lonjak sementara seperti surge arrester.

2.2.7.3 Sistem Penangkal Petir Internal

Sistem Proteksi Petir Internal Berdasarkan pengertian dari IEC (International Electrotechnical Commission) TC 81/1989 tentang konsep Lightning Protection Zone (LPZ), sistem proteksi petir internal adalah proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Proteksi internal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap dampak sambaran tidak langsung. Ada banyak sistem yang dapat digunakan sebagai proteksi petir internal, salah satunya *Surge Arrester* atau biasa dikenal SPDs (*Surge Protection Device*) namun pada karya tulis ini penulis hanya akan membahas mengenai sistem penangkal petir eksternal saja.

2.2.7.4 Sistem Penangkal Petir Eksternal

Perlindungan petir eksternal adalah instalasi dan alat-alat diluar sebuah struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan untuk berfungsi sebagai ujung tombak penangkap muatan arus petir di tempat yang paling tinggi (Hosea dkk, 2004) Instalasi penangkal petir eksternal meliputi :

1. Finial penangkal petir (*air termination*)

Finial adalah bagian sistem proteksi petir yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir (Hosea dkk, 2004). Finial biasanya berupa elektroda logam yang dipasang diatas atap secara tegak.

Ada beberapa macam finial penangkal petir (*terminasi udara / air terminal*) yang biasa digunakan, yaitu :

a. *Franklin Rod*

Alat ini berupa batang tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner dengan sudut puncak tertentu. Agar daerah perlindungan besar, finial in dipasang pada pipa besi dengan ketinggian tertentu.

b. *Faraday Cage* (pemasangan luar)

Untuk mengatasi finial tipe *franklin rod* karena adanya daerah yang tidak terlindungi, dan daerah perlindungan melemah bila jarak makin jauh darinya, maka dibuat sistem ini, yang mempunyai sistem dan sifat seperti

franklin rod, namun pemasangannya diseluruh permukaan atap dengan tinggi tiang yang lebih rendah.

c. *Radioaktif*

Sistem ini sudah dilarang penggunaannya, karena radiasi yang dipancarkan dapat mengganggu kesehatan manusia.

d. *Elektrostatik* atau tipe *radius*

Sistem ini yang termasuk kategori baru, dimana banyak bermacam-macam bentuk ujung *air terminal* tergantung dengan produk masing-masing perusahaan. Sistem ini mempunyai jangkauan yang lebih jauh dibanding dengan yang lain, bahkan sampai 120 m tergantung spesifikasi dari pabrikan.

2. Penghantar Penyalur Petir (Down Conductor)

Menurut Mutaqin (2015 : 09) penghantar penyalur petir adalah bagian penghubung yang menghantarkan arus listrik dari finial yang tersambar petir dengan bagian pentanahan. Bisa berupa penghantar dengan standar yang ada yang dipasang secara terpisah maupun dijadikan satu atau di *bonding* dengan rangka baja pada gedung atau bangunan hal ini biasanya dilakukan untuk mendapatkan estetika gedung yang baik. Akan tetapi untuk tower gardu induk dan transmisi, penghantar penyalur petir ini tidak begitu efektif karena lebih dari 80 % sambaran petir langsung melewati tower dan menuju sistem pembumian.

Tabel 2.2 Dimensi Minimum Penghantar Instalasi Penangkal Petir

Tingkat Proteksi	Bahan	Luas Penampang (mm ²)
I sampai IV	Tembaga (Cu)	16
	Aluminium (Al)	25
	Besi (Fe)	50

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

2.2.8 Sistem Pentanahan untuk Penangkal Petir

Menurut Pedoman Perencanaan Penangkal Petir (1987) keluadan Departemen Pekerjaan Umum, perlindungan dari suatu instalasi penangkal petir sangat tergantung pada perencanaan dan penentuan ukuran yang tepat dari sistem pentahannya terutama elektroda pentanahan maka perencana instalasi penangkal petir harus mengawasi langsung pemasangan sistem pentanahan, pengecekan, pengukuran tahanan pentanahan.

Sistem pentanahan harus dirancang sedemikian rupa sehingga tahanan pentanahan dapat serendah mungkin. Bentuk bentuk elektroda dan penjelasan sudah dibahas pada teori pentanahan sebelumnya.

2.2.8.1 Fungsi Penangkal Petir

Menurut Direktorat Masalah Bangunan (1983), ada 2 fungsi utama penangkal petir yaitu :

1. Mengamankan dan melindungi manusia.

Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia maka organ organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan atau *shock* . Arus listrik petir dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu efek rangsangan panas akibat arus petir pada organ tubuh dapat melumpuhkan jaringan jaringan otot bahkan menghanguskan tubuh manusia.

2. Mengamankan dan melindungi bangunan.

Penyebab kerusakan akibat petir terutama adalah besar dari arus petir sendiri yang berkisar 5 kA sampai 200kA maka kerusakan yang terjadi adalah kerusakan thermis dan mekanis. Kerusakan thermis yakni terbakarnya bangunan akibat sambaran petir. Sedangkan efek kerusakan mekanis yakni bagian bangunan menjadi rusak, roboh dan hancur. Untuk itu pada sebuah bangunan harus dipasang sistem penangkal petir yang memadai

2.2.9 Kebutuhan Perlindungan Terhadap Petir

Sebuah sistem penangkal petir harus dapat melindungi semua bagian dari struktur bangunan dan arealnya , termasuk manusia serta peralatan yang ada didalamnya terhadap ancaman bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Selanjutnya akan dibahas teori tentang bagaimana menganalisis besar kebutuhan bangunan atau gedung akan akan perlindungan terhadap petir menggunakan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), *International Electrotechnical Commision* (IEC) 1024-1-1, dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004.

2.2.9.1 Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

Besarnya kebutuhan tersebut mengacu kepada penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan disuatu lokasi dan dituliskan sebagai berikut :

$$R = A+B+C+D+E.....(12)$$

Dari persamaan tersebut semakin besar nilai indeks akan semakin besar kebutuhan bangunan tersebut akan sistem proteksi petir. Beberapa Indeks perkiraan bahaya petir di tunjukkan ke dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Indeks A: Bahaya Berdasarkan Jenis Bangunan

Penggunaan dan Isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	-10
Bangunan dan isinya jarang digunakan misalnya dangau di tengah sawah atau ladang, menara atau tiang dari metal	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal misalnya rumah tinggal, industri kecil, dan stasiun kereta api	1
Bangunan atau isinya cukup penting misalnya menara air, toko barang-barang berharga dan kantor pemerintah	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monumen bersejarah yang penting	3
Instalasi gas, minyak atau bensin, dan rumah sakit	5
Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya misalnya instalasi nuklir	15

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Tabel 2.4 Indeks B: Bahaya Berdasarkan Konstruksi Bangunan

Konstruksi Bangunan	Indeks B
Seluruh bangunan terbuat dari logam dan mudah menyalurkan listrik	0
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam	1
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang, kerangka besi dan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Tabel 2.5 Indeks C: Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan

Tinggi bangunan sampai.....(m)	Indeks C
6	0
12	2
17	3
25	4
35	5
50	6
70	7
100	8
140	9
200	10

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Tabel 2.6 Indeks D: Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan

Situasi Bangunan	Indeks D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai $\frac{1}{4}$ tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter	1
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter	2

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Tabel 2.7 Indeks E: Bahaya Berdasarkan Hari Guruh

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

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Tabel 2.8 Indeks R: Perkiraan Bahaya Berdasarkan PUIPP

R	Perkiraan Bahaya	Pengamanan
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
	Sedang	Dianjurkan
	Agak besar	Dianjurkan
	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat besar	Sangat perlu

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP))

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004 dan *International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1*. Pemilihan tingkat proteksi memadai untuk suatu sistem perlindungan terhadap petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat yang diperkirakan mengenai struktur bangunan yang dilindungi (N_d) persamaan (6) dan data BMKG D.I.Y 2017 menyebutkan nilai frekuensi sambaran tahunan setempat (N_c) yang diperoleh sebesar 0,723 / tahun.

Jika $N_d \leq N_c$ tidak memerlukan sistem perlingungan terhadap petir

Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi :

$$E \geq 1 - N_c / N_d \dots \dots \dots (13)$$

Tingkat perlindungan ditentukan sesuai 2.9

Tabel 2.9 Efisiensi Sistem

Tingkat proteksi	Efisiensi SPP <i>E</i>
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

(Sumber : SNI 03-0715-2004 : 13)

2.2.10 Metode Ruang Perlindungan Konvensional

Berdasarkan SNI 03-0715-2004, ruang perlindungan terhadap petir konvensional adalah ruang perlindungan terhadap sambaran petir berbentuk kerucut dengan sudut puncak 25^0 sampai 55^0 . Hal ini dapat dilihat pada table 2.10.

Pemilihan besar sudut perlindungan terhadap petir ini berdasar tingkat proteksi. Setelah itu dapat dihitung jari-jari (r) zona perlindungan dengan persamaan (13) yakni :

$$\tan \alpha = r/h \dots \dots \dots (14)$$

Dimana

$\alpha = \theta =$ Besar sudut perlindungan berdasar table 2.10 ($^{\circ}$)

r = Jari jari zona proteksi (m)

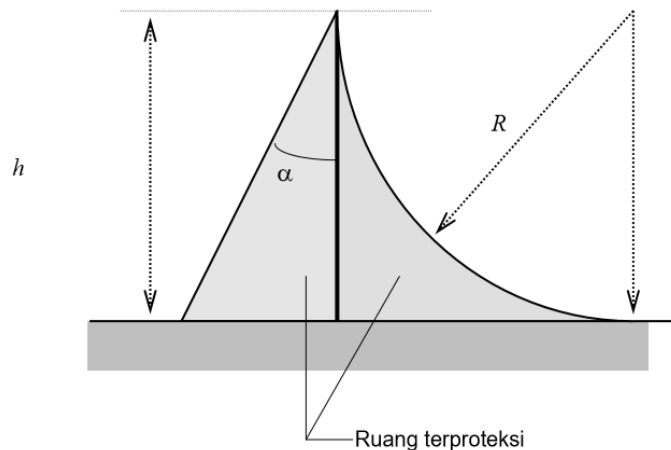
h = Tinggi dari tanah ke ujung finial (m)

Tabel 2.10 Penempatan terminasi Udara Sesuai dengan Tingkat Proteksi

Protecton level Tingkat proteksi	h (m) R (m)	20	30	45	60	Mesh width (m) Lebar mata jala (m)
		α°	α°	α°	α°	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Rolling sphere and mesh only apply in these cases.
* Hanya menggunakan bola bergulir dan jala dalam kasus ini.

(Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir.)



Gambar 2.11 Sudut dan ruang proteksi petir.

Semua benda yang berada di ruang proteksi akan terhindar dai sambaran petir. Sedangkan benda-benda yang berada didaerah kerucut proteksi tidak akan terlindungi. (SNI 03-0715, 2004: 25).

2.2.11 Standar yang Digunakan pada Sistem Pentanahan

Menurut PUIL 2000 pasal 7 ayat 1 no 1 tentang persyaratan umum penghantar, menerangkan bahwa “semua penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai dengan tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan diuji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi yang berwenang.”

Adapun jenis-jenis kabel listrik adalah sebagai berikut :

1. Kabel NYA

Biasanya digunakan untuk instalasi rumah dan sistem tenaga. Dalam instalasi rumah digunakan ukuran 1,5 mm² dan 2,5 mm². Berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, dan seringnya untuk instalasi kabel udara. Kode warna isolasi ada warna merah, kuning, biru dan hitam. Kabel tipe ini umum dipergunakan di perumahan karena harganya yang relatif murah. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air dan mudah digigit tikus. Agar aman memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/conduit jenis PVC atau saluran tertutup. Sehingga tidak mudah menjadi sasaran gigitan tikus, dan apabila ada isolasi yang terkelupas tidak tersentuh langsung oleh orang.

2. Kabel NYM

Digunakan untuk kabel instalasi listrik rumah atau gedung dan sistem tenaga. Kabel NYM berinti lebih dari 1, memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel ini dapat dipergunakan dilingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh ditanam.

3. Kabel NYY

Memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya warna hitam), ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY dipergunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY memiliki isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.

4. Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.

5. Kabel BCC

Kabel ini dipilin/stranded, disatukan. Ukuran / tegangan maksimal = 6 – 500 mm² / 500 V. Pemakaian kabel jenis ini di saluran diatas tanah dan penghantar pentanahan / penangkal petir.

6. Penghantar Rel (*Busbar*)

Sistem Rel yang dipakai pada panel induk sistem 3 fasa di gedung bertingkat bias disebut dengan “Sitem 5 rel”. Tiga rel diperuntukkan untuk penghantar 3 fasa masing-masing fasa R, fasa S, dan fasa T, satu rel diperuntukkan untuk hantaran netral dan satu rel lagi untuk hantaran pentanahan (grounding), yang diletakkan di bagian bawah di dalam panel. Sedangkan untuk rel fasanya di pasang dibagian atas.

Dasar untuk menentukan ukuran rel diantaranya adalah kondisi operasi normal dan rating arusnya, kondisi hubung singkat (berupa panas yang dibangkitkan akibat arus hubung singkat tersebut) dan besarnya ketegangan dinamis. Dengan demikian data-data dari pabrik pembuat rel harus relevan dengan standar desain panel yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan.

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja hal hal yang terkait tentang pengawasan instalasi penyalur petir menyebutkan bahwa :

Pasal 14 ayat 1-3 bahwasanya batasan ruang perlindungan dengan metode konvensional berbebetuk kerucut sudut proteksi tidak boleh lebih dari 112⁰ dari sisi ke sisi. Pasal 20 a dan b menjelaskan bahwa Bahan penghantar pentanahan yang dipasang khusus harus digunakan kawat tembaga atau bahan yang sederajat dengan ketentuan a. minimal penampang 50 mm² dan b. semua penampang hantaran dapat dipakai dengan serendah-rendah tebalnya 2 mm.