

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Kajian Teoritis

2.1.1. Analisis

Benyamin S Bloom (1956) adalah ahli pendidikan yang terkenal sebagai pencetus konsep taksonomi belajar yang mengelompokkan tujuan belajar berdasarkan domain atau kawasan belajar yaitu, *Cognitive Domain* (kawasan kognitif), *Affective Domain* (kawasan afektif), *Psycomotor Domain* (kawasan psikomotor).

Analisis adalah proses kemampuan dalam domain kognitif dengan menggunakan kemampuan akal untuk memecahkan suatu masalah pokok dan menentukan bagaimana bagian – bagian saling berhubungan satu sama lain pada keseluruhan struktur.¹

2.1.2. Petir

Petir merupakan peristiwa peluahan listrik antara suatu awan bermuatan dengan bumi, atau antara awan bermuatan dengan awan bermuatan lainnya. Dalam peristiwa ini, jarak antara awan ke awan atau awan ke bumi relatif cukup tinggi dan dapat diasumsikan sebagai jarak antar elektroda. Sumber terjadinya petir adalah awan *cummulonimbus* atau awan guruh yang berbentuk gumpalan dengan ukuran vertikal dapat mencapai 14 km dan ukuran horisontal berkisar 1,5

¹ Eveline Siregar, *Teori Belajar dan Pembelajaran*, (Jakarta: Ghalia Indonesia: 2010), h.8.

sampai 7,5 km. Karena ukuran vertikalnya yang cukup besar terjadi perbedaan temperatur antara bagian bawah dengan bagian atas. Bagian bawah bisa mencapai 5°C sedangkan bagian atas -60°C. Loncatan diawali dengan berkumpulnya uap air di dalam awan. Karena perbedaan temperatur yang besar antara bagian bawah awan dengan bagian yang di atas, butiran air bagian bawah yang temperaturnya lebih hangat berusaha berpindah ke bagian atas sehingga mengalami pendinginan dan membentuk kristal es. Butir air yang bergerak naik membawa muatan positif sedangkan kristal es membawa muatan negatif sehingga terbentuk awan yang mirip dengan dipole listrik. Pada saat tegangan antara ujung awan sudah cukup besar terjadilah pelepasan muatan listrik.

Pelepasan muatan ini dapat terjadi dalam 2 (dua) kemungkinan, yaitu :

1. *Lightning Flash* yaitu pelepasan muatan diantara awan-awan ataupun antara pusat-pusat muatan di dalam awan tersebut.
2. *Lightning Strike* yaitu pelepasan muatan antara awan bermuatan dengan tanah.

Lebih banyak pelepasan muatan (*discharge*) terjadi antara awan-awan dan di dalam awan itu sendiri daripada pelepasan muatan yang terjadi antara awan bermuatan dengan tanah. Tetapi petir awan – tanah ini sudah cukup besar untuk dapat menyebabkan kerusakan pada benda-benda di permukaan tanah.

Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa petir adalah loncatan muatan dari awan ke awan atau dari awan ke bumi yang terjadi secara alamiah. Pemisahan muatan listrik dalam awan dapat menimbulkan adanya kuat medan listrik dan beda potensial diantaranya. Jika besarnya tegangan yang ditimbulkan antara awan ke

awan atau awan ke tanah ini melebihi besar tegangan tembus udara, maka akan terjadi proses tembus listrik (*discharge*) berupa peluahan muatan awan ke awan atau awan ke tanah.²



Gambar 2.1 – Petir³

2.1.2.1. Proses Terjadinya Petir

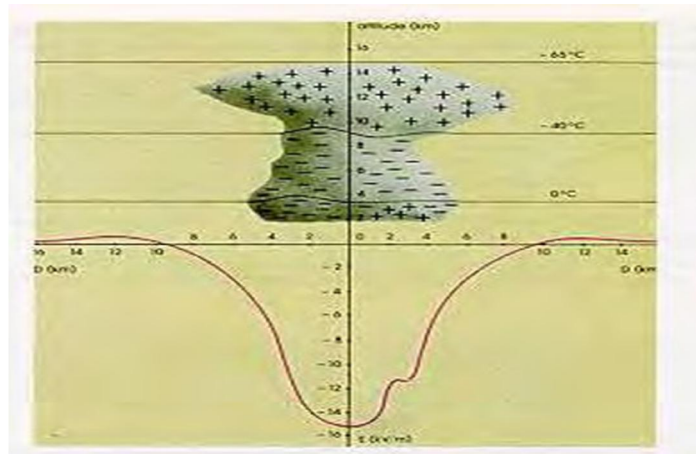
Dalam lapisan atmosfer bumi, pada keadaan tertentu akan terjadi pergerakan angin ke atas yang berlangsung terus – menerus dengan membawa udara lembab sehingga membentuk suatu muatan, karena tekanan udara dan suhu semakin rendah uap – uap air akan menjadi titik air dan membentuk awan (*Cummulonimbus*) seperti pada Gambar 2.2.

Dalam awan tersebut pergerakan arus udara ke atas (*up draft*) masih terus terjadi dengan kecepatan tinggi mencapai 120 km/jam. Gerak lurus udara ke atas ini dapat membawa butir – butir air dengan berat jenis rendah. Karena gerakan

² Irwin Lazar, *Electrical System Analysis And Design For Industrial Plants*, (United States Of America: McGraw-Hill, Inc: 1980), h. 128.

³ Asep Dadan Hermawan, *Optimalisasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Steamer (Studi Kasus UPT LAGG BPPT)*, (Depok: Universitas Indonesia: 2010), h. 5.

udara terus – menerus, butir – butir air ini mengalami pendinginan. Sebagian butir – butir air akan membeku dan mengakibatkan timbulnya gerak udara ke bawah (*down draft*) pada bagian dalam awan dengan kecepatan yang tinggi.⁴



Gambar 2.2 – Pembentukan Awan Petir⁵

Dalam cuaca normal medan listrik dapat terjadi. Medan listrik ini mempunyai arah ke bawah yang merupakan arah medan listrik positif. Intensitas medan listrik itu kira – kira 1 volt/cm di permukaan bumi dan 0,02 volt/cm pada ketinggian 30.000 kaki. Gambar 2.3 menjelaskan mengenai terbentuknya ionisasi petir yang berawal dari butir – butir air yang cukup besar, yang berada dalam medan tersebut akan terpolarisasi karena induksi dengan bagian atas dari butir air terkumpul muatan negatif dan pada bagian bawah terkumpul muatan positif.

Udara dalam keadaan normal mengandung ion – ion positif yang terdistribusi secara acak. Ion – ion tersebut dapat terjadi karena tumbukan atom – atom, radiasi

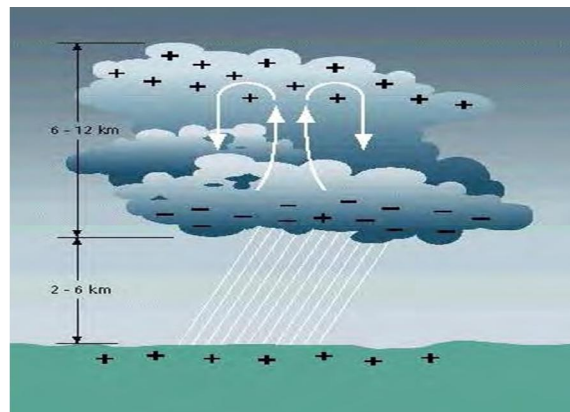
⁴ Irwin, *Op.cit.* h.128.

⁵ Asep, *Op.cit.* h.6.

sinar kosmis dan energi termis. Ion-ion positif mengalami gaya tolak, akibatnya pada butir air ini akan terkumpul muatan negatif.

Sementara itu butir – butir air lain yang relatif kecil bergerak ke bawah dengan kecepatan rendah. Maka akan lebih besar kemungkinannya bahwa butir – butir air ini menumbuk ion-ion / partikel-partikel bermuatan positif yang mempunyai pergerakan rendah dan butir – butir ini akan menjadi muatan positif. Jadi ion – ion di udara yang semula terdistribusi secara acak dan membentuk muatan yang netral dan menjadi terpisah. Dalam hal ini, butir – butir air yang besar akan membawa muatan negatif ke lapisan bawah dan butir – butir air yang berukuran kecil akan mengandung muatan positif pada lapisan atas awan.

Dengan adanya muatan negatif pada lapisan bagian bawah awan, dipermukaan bumi terinduksi muatan positif sehingga terbentuk medan listrik antara awan permukaan bumi. Bila medan listrik tersebut melebihi kekuatan medan tembus udara, akan terjadi pelepasan muatan (*discharge*) dan terjadilah kilat.



Gambar 2.3 – Pembentukan Ionisasi Petir⁶

⁶ *Ibid*, h.7.

2.1.2.2. Mekanisme Sambaran Kilat

Terbatasnya besar konsentrasi muatan listrik pada awan tergantung pada kemampuan awan itu sendiri. Jadi permukaan bumi dapat dianggap sebagai elektroda yang mempunyai luas yang tak terhingga. Gradient di permukaan bumi mempunyai intensitas medan 50 volt/cm – 100 volt/cm. Maka, pelepasan akan cenderung berasal dari awan dan lidah kilat yang tampak oleh mata sebenarnya terdiri dari beberapa macam sambaran (*stroke*) terpisah yang bergerak turun melalui jalan yang sama. Sambaran terpisah itu terdiri dari :

1. Lidah mula (*initial leader*)

Lidah dari suatau kilat didahului oleh aliran pengemudi (*pilot steamer*) yang menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah. Sesudah aliran pengemudi ini terjadi, akan diikuti oleh titik cahaya yang bergerak berupa lompatan (*stepped leader*). Kecepatan *stepped leader* kira – kira sebesar 10^5 m/detik. Arah tiap – tiap langkah dari *stepped leader* berubah – ubah, sehingga jalannya tidak lurus dan patah – patah.

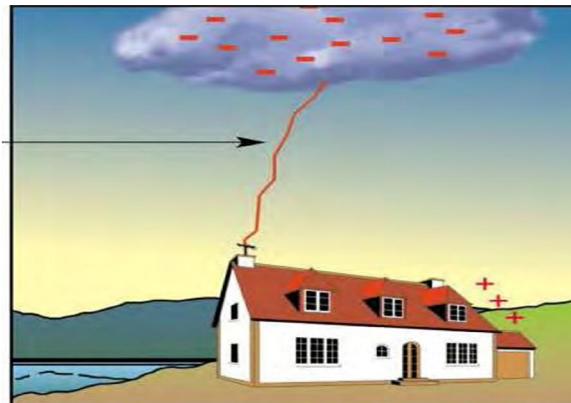
Ketika lidah kilat menuju bumi, pancaran cabang – cabang lidah utama membentuk jari – jari dan menyebar hingga terjadi kilatan pendek yang menjulur ke atas menyongsong *stepped leader* dari bumi keawan karena beda potensial yang tinggi. Jarak bertemunya ujung *stepped leader* berada pada ketinggian 20m – 70m di atas bumi sedangkan waktu *stepped leader* untuk sampai ke permukaan bumi kira – kira 20 milidetik.⁷

⁷ Irwin, *Op.cit.* h.130.

2. Sambaran kembali (*return stroke*)

Pada Gambar 2.4 menjelaskan bahwa sambaran kembali terjadi karena aliran muatan positif dari bumi ke awan atau aliran muatan negatif dari awan ke bumi. Terjadinya sambaran kembali yang pertama, biasanya disertai sambaran – sambaran berikutnya karena pada bagian lain dari awan mempunyai cukup banyak muatan. Arus kilat pada setiap sambaran rata – rata 20 KA, dalam keadaan tertentu dapat mencapai 100 KA. Arus kilat ini merupakan arus impuls dengan pencapaian waktu puncak dalam beberapa mikrodetik.

Saluran sambaran kembali ini berdiameter hanya beberapa cm, tetapi sebagian tersebar dari arus mengalir dalam saluran inti yang berdiameter beberapa milimeter. Sekitar $\frac{3}{4}$ energi yang dilepaskan oleh kilat yang besarnya sekitar 10^{10} Joule digunakan untuk pemanasan kolom udara yang sempit menjadi $\pm 30.000^{\circ}\text{C}$. Karena itu udara dalam saluran mengembang sangat cepat dan menimbulkan gelombang bunyi yang sangat kuat atau biasa disebut guntur.⁸



Gambar 2.4 – Return stroke⁹

⁸ Iwa Garniwa MK, *Analisis Distribusi Arus, Intensitas Medan Magnet, Dan Tegangan Induksi Pada Sistem Penangkal Petir Di Gedung Bertingkat*, (Depok: Universitas Indonesia: 1998), h. 7.

⁹ Asep, *Op.cit.*h.9.

3. Sambaran yang berulang – ulang (*multiple stroke*)

Terbentuknya jalur lintasan dengan konduktivitas yang tinggi dan mengalirnya muatan dari pusat muatan di dalam awan ke bumi, menyebabkan potensial pada pusat muatan itu dengan pusat muatan lain yang berada dalam awan tersebut. Perbedaan potensial ini yang menyebabkan berlanjutnya gerakan sambaran petir memasuki awan dan terjadi loncatan antar kedua pusat muatan tersebut, maka terbentuklah jalur dari pusat muatan yang kedua tadi ke bumi.

Pelepasan muatan terjadi dari pusat muatan kedua menuju bumi dan dimulai dengan pelopor yang bergerak melalui jalur yang dilalui oleh sambaran balik sebelumnya. Tidak seperti pelopor pada sambaran pertama (*step leader*), pelopor sambaran kedua ini tidak meloncat – loncat dan juga tidak ada pencabangan dan kecepatannya tinggi, berkisar 1×10^6 m/s sampai 2×10^7 m/s.

Pelopor ini disebut pelopor panah (*dart leader*), interval waktu antara sambaran balik sebelumnya dengan pelopor panah adalah 40 ms sampai 50 ms. Setelah pelopor panah mencapai bumi, akan timbul sambaran balik dari bumi ke awan seperti pada sambaran yang pertama. Muatan dari pusat muatan yang kedua itu akan tersalur ke bumi atau dinetralisir oleh sambaran balik. Kemudian pusat muatan ketiga dipengaruhi dan selanjutnya proses yang sama terulang, yang merupakan sambaran beruntun.¹⁰

2.1.2.3. Parameter dan Karakteristik Gelombang Petir

Parameter dan karakteristik petir terdiri atas besar arus dan tegangan petir, kecepatan pembangkitan serta bentuk gelombang petir tersebut. Parameter dan

¹⁰ Iwa, *Op.cit.* h.7.

karakteristik gelombang petir berkaitan dengan level atau tingkat proteksi suatu gedung.

a. Arus petir

Arus puncak petir mungkin dicapai dalam waktu $\pm 10\mu\text{s}$ kemudian gelombang arus berikutnya mengalami penurunan dalam durasi beberapa mikrodetik.

Arus petir diukur dengan menggunakan *magnetic link*, yaitu batang berbentuk silinder terbuat dari baja berlapis plastik dengan tingkat kekerasan (*coercive*) yang cukup besar. Hal ini dimaksudkan agar ketika *magnetic link* berada dalam medan magnet meskipun beberapa saat medan magnetnya hilang, magnet link tetap dapat menyimpan sisa magnet yang proporsional dengan intensitas medan magnet di tempat tersebut. *Magnetic link* umumnya dipasang pada menara telekomunikasi, bangunan tinggi atau menara transmisi.

b. Arus puncak petir

Arus puncak petir (I [kA]) merupakan harga maksimum dari arus impuls petir yang dapat menyebabkan tegangan lebih pada tempat sambaran.

c. Muatan arus petir

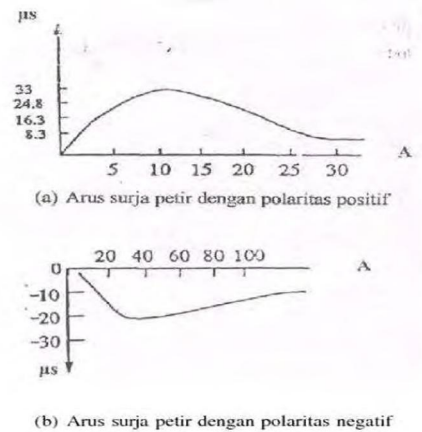
Muatan arus petir ($Q = \int i dt$ [kAs]) merupakan jumlah muatan arus petir yang dapat menyebabkan peleburan pada ujung objek sambaran.

d. Impuls muatan arus petir

Impuls muatan arus petir ($Q = \int i^2 dt$ [kA²s]) merupakan efek termos yang dapat menyebabkan panas berlebih pada penghantar.

e. Kecuraman arus petir

Kecuraman arus petir (di/dt) adalah laju kenaikan terhadap waktu yang dapat menyebabkan tegangan induksi elektromagnetik pada benda logam di dekat instalasi penyalur petir seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 – Bentuk Oscillogram Gelombang Petir¹¹

Tabel 2.1 – Kaitan Parameter Arus Petir dengan Tingkat Proteksi

Parameter Petir		Tingkat Proteksi		
		I	II	III – IV
Nilai arus puncak	I(KA)	200	150	100
Muatan ideal	QTotal (C)	300	225	150
Muatan impuls	QImpuls (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (kJ/Ω)	10000	5600	2500
Kecuraman rata – rata	Di/dt 30/90% (kA/μs)	200	150	100

¹¹Jefanya Ginting, *Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran Petir Pada Area Operasional PT. X*, (Depok: Universitas Indonesia: 2012), h. 12.

1. Tegangan petir

Transient over voltages yang disebabkan petir dapat digolongkan sebagai susatu gelombang berjalan, dengan sistematis persamaannya adalah :

$e(t) = E (e^{at} - e^{bt})$ dimana : E, a, dan b adalah konstanta.

Dengan mengganti nilai a dan b dapat diperoleh berbagai bentuk gelombang yang dapat digunakan sebagai pendekatan dari gelombang berjalan.

2. Kecepatan pembangkitan

Karakteristik petir lainnya adalah waktu untuk mencapai harga puncak dan kecepatan pembangkitannya. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hubungan amplitude arus, waktu pencapaian harga puncak dan kemungkinan terjadinya yang dijelaskan pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 – Amplitudo Arus Petir dan Kemungkinan Terjadinya

Arus petir (kA)	% terjadinya
20	45,25
40	30,48
60	15,51
80	5,35
>100	2,14

Tabel 2.3 – Waktu Pencapaian Harga Puncak dan Kemungkinan Terjadinya

Muka Gelombang	% terjadinya
0,5	34,27
1,0	26,22
1,5	18,18
2,0	12,59
2,5	8,74

3. Bentuk gelombang

Adapun bentuk gelombang berjalan yang memenuhi dan merupakan bentuk gelombang petir yang biasa disebut gelombang petir tipikal (dengan spesifikasi) :

- a. Puncak gelombang (A), E (kV), yaitu amplitude maksimum dari gelombang.
- b. Muka gelombang t_1 , yaitu waktu permulaan sampai puncak, biasanya diambil 10%E sampai 90%E.
- c. Ekor gelombang, yaitu bagian belakang puncak. Panjang gelombangnya adalah t_2 , yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50%E pada ekor gelombang.
- d. Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang tersebut, apakah positif atau negatif.¹²

2.1.2.4. Sambaran yang Dilepaskan Oleh Petir

Sambaran – sambaran yang dilepaskan oleh petir pada umumnya dapat menimbulkan tegangan abnormal yang sangat berbahaya bagi peralatan yang terpasang dan juga jiwa manusia pada area tersebut.

Berdasarkan tempat terjadinya gelombang, sambaran petir terdiri atas :

Sambaran langsung, yaitu jenis gelombang yang berjalan yang menyebabkan tegangan lebih (*over voltage*) yang sangat tinggi sehingga memungkinkan sulitnya ditahan dengan isolasi yang ada.

1. **Sambaran induksi**, yaitu jenis gelombang berjalan yang ditimbulkan akibat pelepasan muatan terikat (*bound charges*) dari penginduksian muatan listrik

¹²Asep, *Op.cit*, h.12.

dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan pada awan petir (*thunder cloud*). Tegangan ini selalu berubah tergantung pada keadaan yang besarnya 100 kV – 200 kV dengan muka gelombang (*wave front*) lebih dari 10 μ s dan ekor gelombang (*wave tail*) 50 μ s – 100 μ s.

2. **Sambaran dekat**, yaitu jenis gelombang berjalan yang ditimbulkan akibat sambaran petir pada suatu titik yang jaraknya hanya beberapa kilometer dari peralatan yang dilindungi. Sambaran ini sering terjadi pada saluran transmisi yang besarnya dibatasi tegangan lompatan isolator saluran dengan harga puncak gelombang mencapai 120 – 130% dari peralatan dan keamanan muka gelombang yang sebesar 500 kV/ μ s.¹³

2.1.2.5. Efek Sambaran Petir

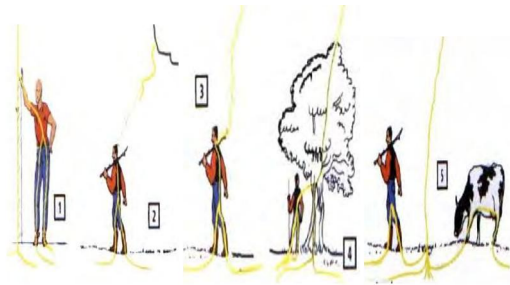
Bagian utama kilat petir yang menimbulkan kerusakan adalah sambaran balik berupa muatan petir yang diluahkan ke bumi atau ke tanah. Besar arus yang mengalir pada sambaran ini berkisar antara 2.000 A sampai 200 kA.

a. Terhadap manusia

Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia, maka organ – organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan (*shock*). Arus tersebut dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu efek rangsangan dan panas akibat arus petir pada organ – organ tubuh dapat juga melumpuhkan jaringan – jaringan / otot – otot bahkan bila energinya besar dapat menghanguskan tubuh manusia.

¹³ Irwin, *Op.cit.* h.132.

Perlu diketahui, yang menyebabkan kematian sambaran tidak langsung karena disekitar titik / tempat yang terkena sambaran akan terdapat muatan listrik dengan kerapatan muatan yang besar dimana muatan itu akan menyebar di dalam tanah dengan arah radial.¹⁴



Gambar 2.7 – Efek Sambaran Petir Terhadap Manusia

Keterangan gambar :

1. *Tegangan sentuh*
2. *Sambaran tidak langsung*
3. *Sambaran langsung*
4. *Side flash*
5. *Tegangan langkah*¹⁵

b. Terhadap bangunan

Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan termis, seperti terbakar pada bagian yang tersambar, bisa juga berupa mekanis, seperti atap runtuh, bangunan retak dan lain – lain. Bahan bangunan yang paling parah bila terkena sambaran yang bersifat kering.

¹⁴ Ibid, h. 15.

¹⁵ Ibid, h. 15.

c. Terhadap jaringan dan instalasi listrik

Gangguan jenis ini dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu sambaran petir mengenai kawat tanah dan sambaran petir mengenai kawat fasa. Sambaran petir langsung mengenai kawat tanah dapat mengakibatkan terputusnya kawat tanah, naiknya potensial kawat tanah yang diikuti oleh *backflashover* ke kawat fasa dan naiknya potensial pentanahan menara transmisi yang menyebabkan bahaya tegangan langkah.

d. Terhadap peralatan elektronik dan listrik

Sambaran petir pada suatu struktur bangunan maupun saluran transmisi mengakibatkan kerusakan peralatan elektronik, kontrol, telekomunikasi dan lainnya yang disebabkan oleh sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung.¹⁶

e. Kerusakan akibat sambaran langsung

Kerusakan terjadi karena sambaran mengenai suatu struktur bangunan dan isinya sehingga mengakibatkan kebakaran gedung, keretakan dinding, kerusakan peralatan elektronik, kontrol, jaringan data dan lainnya.

f. Kerusakan akibat sambaran tidak langsung

Kerusakan jenis ini terjadi karena petir menyambar suatu titik lokasi, misalnya suatu menara transmisi atau telekomunikasi kemudian terjadi hantaran secara induksi melalui kabel aliran listrik, kabel telekomunikasi atau peralatan yang bersifat konduktif sampai jarak tertentu yang tanpa disadari telah merusak peralatan elektronik yang jaraknya jauh dari lokasi sambaran semula. Mekanisme

¹⁶ *Ibid*, h.16.

induksi karena secara tidak langsung sambaran petir menyebabkan kenaikan potensial pada peralatan elektronika.¹⁷

2.1.2.6. Frekuensi sambaran petir

Jumlah rata rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun (Nd) dapat di hitung dengan perkalian kepadatan kilat ke bumi per tahun (Ng) dan luas daerah perlindungan efektif pada gedung (Ae)

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots(2.1)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata rata per tahun di daerah tersebut. Hal ini di tunjukan oleh hubungan sebagai berikut :

$$Ng = 4 \cdot 10^{-2} \cdot Td^{1.26} \dots\dots\dots(2.2)$$

Sedangkan besar Ae dapat di hitung sebagai berikut :

$$Ae = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Maka dengan ketiga persamaan diatas, nilai Nd dapat di cari dengan persamaan berikut :

$$Nd = 4 \cdot 10^{-6} \cdot Td^{1.26} (ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

A : panjang atap gedung (meter)

B : lebar atap gedung (meter)

H : tinggi atap gedung (meter)

Td : Hari Guruh per tahun

Ng : kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/Km²/tahun)

Ae : luas daerah dengan angka sambaran petir sebesar Nd (km²)¹⁸

¹⁷ Irwin, *Op.cit.* h.134.

2.1.2.7. Hari Guruh

Menurut definisi WMO (*World Meteorological Organization*), Hari Guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar suara petir atau guruh paling sedikit satu kali dalam jarak kira – kira 15 Km dari stasiun pengamatan.

Hari Guruh ini disebut juga Hari Badai Guntur (*Thunderstorm Days*). Data meteorologi dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia dengan jumlah Hari Guruh per tahun yang tinggi, antara lain : sebagian daerah Sumatera Utara, daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan daerah Irian Jaya dimana Hari Guruhnya lebih dari 100 hari per tahun.¹⁹

Petir yang terjadi memiliki intensitas sambaran yang harus selalu di amati setiap periode untuk dapat memperkirakan faktor resiko sambaran pada suatu wilayah, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan bangunan akan proteksi petir. Adapun hal – hal yang diperlukan dalam memperkirakan faktor resiko sambaran adalah :

1. *Isokeraunic Level* : jumlah hari sambaran per tahun
2. *Lightning Strike Rate* : jumlah sambaran ke tanah per Km² per tahun

Lightning Strike Rate / curah petir menentukan tingkat bahaya sambaran pada suatu wilayah dan besarnya ditentukan oleh *isokeraunic level*. Nilai *Lightning strike rate* ini bervariasi secara signifikan, dihitung dari rata – rata

¹⁸ *Ibid*, h. 5.

¹⁹ Soli Akbar Hutagaol, *Studi Tentang Sistem Penangkal Petir Pada BTS (Base Transceiver Station) (Aplikasi Pada PT. Telkomsel – Banda Aceh)*, (Medan: Universitas Sumatera Utara: 2010), h. 25

kerapatan annual yang dihitung berdasarkan observasi dalam satu periode selama bertahun – tahun.

2.1.3. Proteksi Petir

Proteksi petir pertama kali ditemukan oleh ilmuwan **Benjamin Franklin** sekitar tahun 1752. Sebelumnya, petir pada saat itu masih dianggap sebagai kutukan dari para dewa. Benjamin franklin mempelajari persamaan antara listrik dan petir. Akhirnya dia menemukan bahwa petir adalah pelepasan muatan listrik. Kemudian dia mulai memikirkan bagaimana cara memberikan perlindungan terhadap bahaya sambaran petir bagi orang dan bangunan.

Benjamin Franklin melakukan eksperimen dimana metal yang diikatkan ke layang – layang untuk menraik petir. Bila petir menyambar metal yang ada di layang – layang maka arus akan mengalir melalui tali / kawat layang – layang menuju bumi. Atas dasar itu beliau memasang rod/tiang penyalur petir/terminasi udara menggunakan besi/tembaga runcing (lebih disukai petir) pada bagian atas gedung kemudian menghubungkannya dengan konduktor tembaga menuju sistem pembumian. Penyalur petir yang dikenal pada saat itu disebut *franklin rod*. Saat ini dikenal dengan sistem penyalur petir konvensional. Seiring dengan perkembangan zaman ditemukan penyalur petir non konvensional.²⁰

Berdasarkan tempatnya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

²⁰ *Ibid*, h.21

2.1.3.1. Sistem proteksi petir eksternal

Sistem proteksi petir eksternal adalah instalasi dan alat – alat diluar suatu struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus surja petir ke sistem pembumian. Proteksi eksternal petir berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan leih petir jika terjadi sambaran langsung ke sistem atau bangunan yang dilindungi.

Sistem proteksi petir eksternal menghindari bahaya langsung suatu sambaran petir pada instalasi – instalasi, peralatan – peralatan yang terpasang diluar gedung/bangunan, di menara dan bagian – bagian luar bangunan lainnya. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada diluar gedung.

Adapun hal – hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan sistem proteksi petir eksternal adalah :

1. Macam, fungsi, dan bagan dari bangunan, ukuran denah bangunan, bentuk dan kemiringan atap.
2. Terminasi udara (*air termination*) dimana jumlahnya haruslah cukup untuk memberikan daerah proteksi yang diinginkan.
3. Konduktor penyalur (*down conductor*) haruslah mampu menyalurkan arus petir yang diterima dari terminasi udara menuju bumi.
4. Pembumian (*grounding*) dimana resistansi pembumian kurang dari 5 Ohm.²¹

2.1.3.2. Sistem proteksi petir internal

Sistem proteksi petir internal merupakan perlindungan terhadap sistem elektronika didalam bangunan / gedung akibat tegangan lebih yang ditimbulkan

²¹ *Ibid*, h.19.

oleh induksi elektromagnetik akibat sambaran petir tak langsung. Walaupun bangunan sudah dilindungi terhadap sambaran petir, beberapa kerusakan pada peralatan listrik khususnya peralatan elektronika dapat disebabkan. Karena masuknya surja imbas petir melalui kabel listrik dan kabel komunikasi atau masuknya arus petir pada waktu terjadi sambaran langsung.

Langkah proteksi yang dilakukan merupakan integrasi dari sarana penyama potensial, pemasangan *arrester* arus atau *arrester* tegangan serta tindakan perlindungan dengan pencadangan (*screening*). Penyamaan potensial dilakukan dengan menghubungkan konduktor *bonding* yang terbuat dari logam, instalasi dari logam, instalasi listrik dan instalasi telekomunikasi dalam bangunan yang diproteksi.

Di dalam proteksi petir dengan penyamaan potensial, *arrester* tegangan dipasang pada titik dimana kabel tenaga masuk ke dalam bangunan. *Surge arrester* atau yang disebut *surge diverter* berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berdasarkan fungsi tersebut, *arrester* harus dapat menahan tegangan untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melewatkan arus surja ke tanah tanpa mengalami kerusakan.

Sistem proteksi petir internal dapat terdiri dari satu jenis ataupun beberapa alat-alat proteksi petir, antara lain :

- a. *Arrester* : alat potong tegangan lebih pada peralatan
- b. *Shielding* : konstruksi dinding dan lantai secara khusus untuk menghilangkan induksi elektromagnetik

c. *One point earthing system* : pemasangan potensial aqualization busbar yang berfungsi sebagai terminal pembumian

d. Penggunaan kabel *optic* sebagai pengganti kabel tembaga pada instalasi listrik. Kabel *optic* tidak menyebabkan percikan antar kabel dan tidak terinduksi elektromagnetik

Penggunaan trafo isolasi untuk mentransformasikan arus besar yang terjadi akibat sambaran petir ke jala – jala menjadi arus yang sangat kecil.

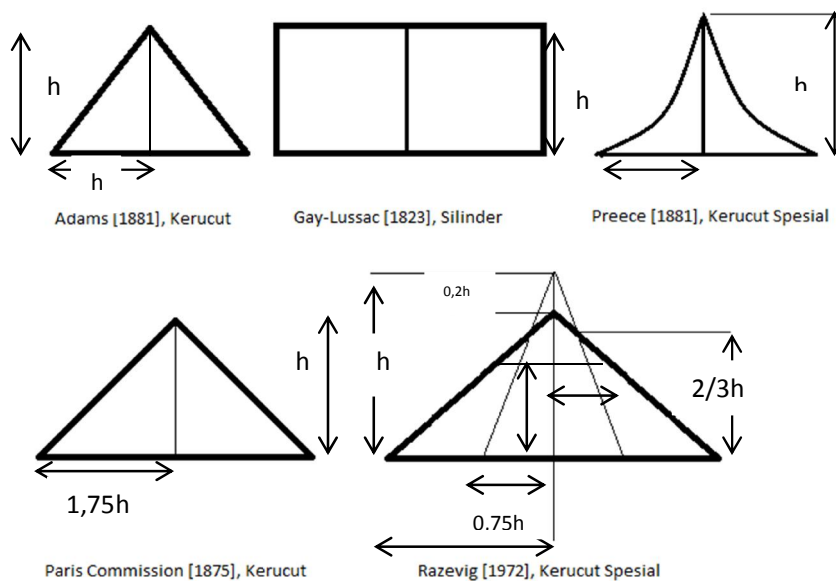
Oleh karena desain proteksi internal sangat bergantung pada instalasi listrik / elektronika maka arsitektur dalam bangunan serta perencanaan awal penggunaan bangunan harus diperhatikan.²²

2.1.3.3. Zona Proteksi Penangkal Petir

Istilah zona proteksi digunakan untuk menyatakan lingkup proteksi penangkal petir, yaitu seberapa banyak suatu daerah yang dapat dicakup oleh penangkal petir sehingga pada daerah tersebut memiliki kemungkinan yang kecil untuk disambar petir. Posisi penangkal petir yang vertikal membuat tampak atasnya dari atas manapun mengalami reaksi yang sama (tanpa konsidi khusus).

Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku penangkal petir dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volum dengan penangkal petir sebagai sumbu. Beberapa pendapat peneliti mengenai bentuk volume zona proteksi penangkal petir terlihat pada gambar 2.8.

²² Soli, *Op.cit.*h. 24.



Gambar 2.7. beberapa teori tentang zona proteksi penangkal petir²³

Bidang dasar zona proteksi merupakan suatu lingkaran dengan penangkal petir sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi penangkal petir digunakan sebutan “Radius Proteksi” atau jari-jari proteksi, yaitu jarak terluar (terjauh) dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi oleh penangkal petir.

Luas daerah proteksi merupakan kemampuan suatu penangkal petir guna melindungi daerah yang seharusnya diproteksi. Dengan menggunakan besar radius proteksi, maka luas daerah proteksi dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$A_x = \pi \cdot r_s^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

A_x= Luas daerah proteksi (meter²)

r_s = Radius proteksi (meter)

²³ *Ibid*, h.45

dengan sudut lindung :

$$a^{\circ} = \arcsin \left(1 - \frac{h}{r} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

a° = sudut proteksi

h = tinggi gedung (meter)

r = radius proteksi (meter)

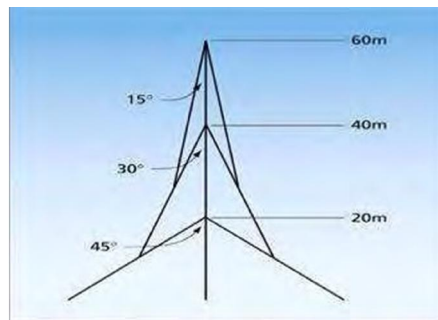
2.1.4. Jenis – jenis Proteksi Petir

2.1.4.1. Proteksi petir pasif

a. *Franklin Rod*

Pengamanan bangunan terhadap sambaran kilat dengan menggunakan sistem penangkal petir Franklin merupakan cara yang tertua namun masih sering digunakan karena hasilnya di anggap cukup memuaskan, terutama untuk bangunan–bangunan dengan bentuk tertentu, seperti misalnya : menara, gereja, dan bangunan – bangunan lain yang beratap runcing.

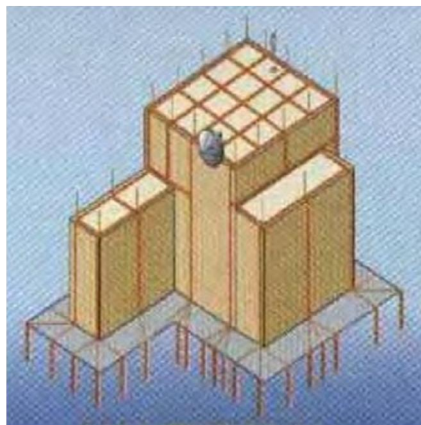
Franklin Rod (Tongkat Franklin), merupakan alat yang berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner dengan sudut puncak 112° . Agar daerah perlindungan besar, *Franklin Rod* dipasang pada pipa besi (dengan tinggi 1–3 meter). Makin jauh dari *Franklin Rod* makin lemah perlindungan di dalam daerah perlindungan tersebut. *Franklin Rod* dapat dilihat berupa tiang-tiang di atap bangunan. Sistem yang digunakan untuk mengetahui area proteksi dari penyalur petir ini adalah dengan menggunakan sistem proteksi kerucut seperti Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.8 – Sistem Proteksi Kerucut²⁴

b. Sangkar Faraday

Untuk mengatasi kelemahan *Franklin Rod* karena adanya daerah yang tidak terlindungi dan daerah perlindungan melemah bila jarak makin jauh dari *Franklin Rod*-nya maka dibuat Sistem Sangkar Faraday. Sangkar Faraday pada Gambar 2.10 memiliki sistem dan sifat seperti *Franklin Rod*, tapi pemasangannya diseluruh permukaan atap bangunan dengan tinggi tiang yang lebih rendah.



Gambar 2.9– Metode Sangkar Faraday²⁵

²⁴Asep, *Op.cit.* h.29.

²⁵ *Ibid*, h.29.

c. Non – Konvensional

Penangkal petir elektrostatis merupakan penangkal petir modern dengan menggunakan sistem E.S.E (Early Streamer Emission). Sistem E.S.E bekerja secara aktif dengan cara melepaskan ion dalam jumlah besar ke lapisan udara sebelum terjadi sambaranpetir. Pelepasan ion ke lapisan udara secara otomatis akan membuat sebuah jalan untuk menuntun petir agar selalu memilih ujung terminal penangkal petir elektrostatis ini dari pada area sekitarnya. Dengan sistem E.S.E ini akan meningkatkan area perlindungan yang lebih luas dari pada sistem penangkal petir konvensional. Komponen ini telah mendapat rekomendasi dari dinas tenaga kerja karena tidak mengandung radiasi radio aktif yang dapat berbahaya bagi manusia yang berada disekitarnya. banyak kelebihan, yaitu:

- Tidak banyak membutuhkan komponen maupun kabel
- Area perlindungan lebih luas antara 60-150 m
- Lebih murah untuk area perlindungan yang luas
- Pada umumnya hanya membutuhkan 1 arde.
- Hanya membutuhkan 1 terminal untuk radius tertentu.
- Perawatan dan pemasangan pada bangunan yang mudah. Merupakan pilihan yang tepat dan tidak mengganggu estetika bangunan anda.
- Bertindak sebagai pencegah interferensi perangkat komunikasi anda.

- Lebih aman bagi pekerja yang akan melakukan perawatan²⁶

Metode ini pertama kali dipatenkan oleh **Gusta P Carpart** tahun 1941. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, **Szillard** tahun 1931 pernah melontarkan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada *Franklin Rod* guna meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Metode ini terdiri atas *Franklin Rod* dengan bahan radioaktif radium atau sumber *thorium* sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui pengantar khusus.

2.1.4.2. Proteksi petir aktif

a. Ionisasi korona

Sistem ini bersifat menarik petir untuk menyambar ke ujung penyalur petir dengan cara memancarkan ion – ion ke udara. Kerapatan ion semakin besar bila jarak ke ujung penyalur petir semakin dekat. Pemancaran ion dapat menggunakan generator atau baterai cadangan (*generated ionization*) atau secara alami (*natural ionization*). Area perlindungan sistem ini berupa bola dengan radius mencapai 120 meter dan radius ini akan mengecil. Sistem ini, pada bagian kepalanya dikelilingi 3 bilah pembangkit beda tegangan dan dipasang pada tiang tinggi.

b. Radioaktif

Meskipun merupakan sistem penarik petir terbaik, namun jenis proteksi petir jenis ini sudah dilarang penggunaannya karena radiasi yang

²⁶ <http://mitraelektrikal.com/kelebihan-penangkal-petir-elektrostatik/> (diakses pada 21 maret 2015)

dipancarkannya dapat mengganggu kesehatan manusia. Jenis ini pernah dipasarkan sekitar tahun 1975 hingga tahun 1980. Namun karena adanya resiko bahaya radiasi radioaktif terhadap manusia dan keefektifannya sebagai penangkap petir tidak begitu jelas, maka belakangan tidak dipergunakan lagi. Bahkan khusus Indonesia, pemasangan baru dengan sistem radio aktif sampai sekarang dilarang oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN).²⁷

2.1.5. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem yang sengaja dibuat untuk menghubungkan bagian peralatan yang diamankan dengan penghantar netral yang ditanahkan untuk mengurangi bahaya *shock* pada manusia serta memberikan suatu jalan ke tanah untuk arus – arus gangguan, seperti arus – arus yang diinduksikan oleh sambaran petir.

Idealnya, tahanan sistem pentanahan harus 0 ohm untuk mengurangi setiap tegangan atau gradient tegangan yang disebabkan arus – arus kesalahan menjadi nol. Tetapi ini tidak mungkin, karena keadaan demikian memerlukan nilai konduktivitas tanah yang besarnya tak terbatas. *Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL)* mencantumkan bahwa sistem pentanahan tidak boleh melebihi 5 ohm.²⁸

2.1.5.1. Disipasi Energi Petir

Disipasi energi petir adalah elektroda dari logam yang ditanam di dalam tanah dan berfungsi untuk menyebarkan arus petir ke tanah. Disipasi energi petir ini dapat berupa elektroda batang, pita atau plat.

²⁷ *Ibid*, h.32.

²⁸ Deni Rhamdani, *Analisis Resistansi Tanah Berdasarkan Pengaruh Kelembabab, Temperatur, dan Kadar Garam*, (Depok: Universitas Indonesia: 2008), h. 5.

Sebagai bahan elektroda, digunakan tembaga atau baja galvanis atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain.

Pembumian disini dapat digunakan untuk pembumian netral sistem, pembumian bahan dari suatu benda logam yang seharusnya tidak boleh bertegangan dan pembumian penyalur petir, baik untuk menara transmisi atau bangunan tinggi.

Tahanan elektroda tanah adalah tahanan antar elektroda tanah atau sering disebut sistem pembumian dengan suatu referensi.

Tahanan pembumian adalah tahanan elektroda tanah dan hantaran hubung tanah. Sedangkan tahanan pembumian total adalah tahanan pembumian dari keseluruhan sistem pembumian yang terukur pada suatu titik.

Ada 2 macam pembumian, yaitu :

a. Pembumian netral sistem

Pembumian ini menghubungkan ke tanah pada bagian dari sistem yang dalam keadaan kerja normal dilalui oleh arus listrik. Pembumian ini bertujuan guna membatasi tegangan lebih peralihan selama terjadinya kesalahan atau hubung singkat satu fase ke tanah.

b. Pembumian peralatan

Pembumian ini menghubungkan ke tanah pada bagian dari peralatan yang dalam keadaan kerja normal tidak dilalui oleh arus listrik.

2.1.5.2. Perhitungan Pentanahan

Tahanan jenis tanah disebut juga *Hemispherical* dapat dihitung dengan perumusan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

R = tahanan (Ohm)

ρ = tahanan jenis tanah tiap lapisan (Ohm-meter)

r = jari – jari penghantar (meter)²⁹

2.1.5.3. Faktor Tahanan Pentanahan

Besarnya tahanan pentanahan sangat bergantung pada beberapa faktor , yaitu:

1. Sifat geologi tanah

Faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah adalah bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar.

Tabel 2.4 – Tahanan Spesifikasi Tanah Berdasarkan Jenisnya

Jenis Tanah	Tahanan Tanah (Ohm meter)
Tanah yang mengandung air garam	5 – 6
Rawa	30
Tanah liat	100
Pasir basah	200
Batu – batu kerikil basah	500
Pasir dan batu kerikil kering	1000
Batu	3000

Sumber :*Materi Kuliah Pembedaan Sistem Tenaga Listrik – Drs. Readyal Monantun*

²⁹ T.S. Hutahuruk, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan, (Jakarta: Erlangga: 1991)

2. Komposisi zat kimia dalam tanah

Kandungan zat – zat kimia dalam tanah terutama, 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 terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%.

Hasil test laboratorium untuk Tanah Merah, penurunan kandungan air tanah dari 20% menjadi 10%. Hal ini yang menyebabkan Tahanan Jenis Tanah naik sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah di atas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

4. Temperatur tanah

Temperatur bumi (tanah) pada kedalaman 5 *feet* (1,5 m) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan.

Bagi Indonesia yang berada di daerah tropis, perbedaan temperatur selama setahun tidak terlalu signifikan, sehingga faktor temperatur boleh dikata tidak ada pengaruhnya.³⁰

³⁰ Drs. Readysal Monantun, *Materi Kuliah Pembumihan Sistem Tenaga Listrik*, (Jakarta: Universitas Negeri Jakarta: 2011).

2.1.5.4. Elektroda Pembumian

1. Elektroda Batang

a. Pembumian satu batang elektroda

Sistem pembumian dengan elektroda batang pada Gambar 2.10 adalah suatu sistem pembumian dengan menggunakan batang – batang elektroda yang ditanam tegak lurus dengan permukaan tanah. Banyaknya batang yang ditanam di dalam tanah tergantung besar tahanan pembumian yang diinginkan. Makin kecil tahanan pembumian yang diinginkan, makin banyak batang konduktor yang harus ditanam. Batang – batang konduktor ini dihubungkan satu dengan yang lainnya. Dengan menggunakan efek bayangan elektroda terhadap permukaan tanah, maka didapat suatu persamaan :

$$R = \frac{\rho}{4\pi l} \times \ln \left(\frac{4l^2}{dh} - Q \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

R = Tahanan pembumian (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω)

h = Kedalaman elektroda (meter)

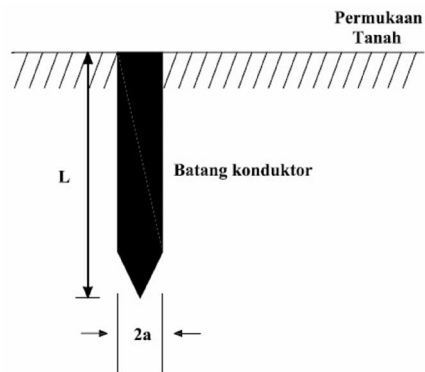
d = Diameter elektroda (meter) ($a = \frac{1}{2}d^2$)

l = Panjang elektroda (meter)

Q = Konstanta (1)

Jika dilihat dari rumus di atas, maka makin panjang konduktor yang ditanam dalam tanah, makin kecil tahanan pembumiannya. Demikian

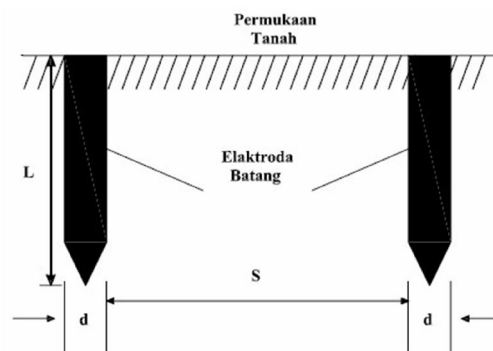
juga makin besar diameter konduktor juga makin kecil tahanan p bumiannya.



Gambar 2.10 – P embumian dengan Satu Batang Elektroda

b. P embumian dua batang elektroda

Tahanan p embumian dapat diperkecil dengan memperbanyak elektroda yang ditanam dan dihubungkan parallel seperti Gambar 2.11.



Gambar 2.11 – P embumian dengan Dua Batang Elektroda

Untuk dua batang konduktor, dapat diturunkan rumusnya sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{4\pi\ell} \left\{ \ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln(2L + \sqrt{S^2 + 4L^2}) + \frac{S}{2L} - \frac{\sqrt{S^2 + 4L^2}}{2L} \right\} \dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

S = jarak antara 2 konduktor

c. Pembedaan beberapa batang elektroda (*Multiple Rod*)

Beberapa batang elektroda (*Multiple Rod*) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah yaitu dengan metoda pembedaan bersama yaitu :

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika di asumsikan tahanan pembedaan pada daerah bangunan adalah sama, maka dapat berlaku persamaan berikut ini :

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{n \times \frac{1}{R_1}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

n = Jumlah elektroda batang

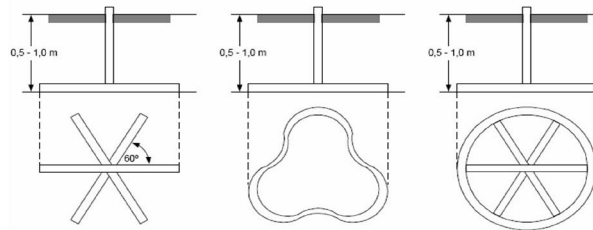
R₁ = Tahanan pembedaan sama untuk n buah (Ω)

2. Elektroda Pelat

Elektroda pelat dibuat dari pelat logam, pelat logam berlubang atau kawat kasa. Pada umumnya elektroda jenis ini ditanam secara dalam.

3. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda ini ditanam sejajar permukaan tanah dengan kedalaman antara 0,5 – 1 meter Gambar 2.12 dibawah merupakan cara pemasangan elektroda pita.



Gambar 2.12 – Cara Pemasangan Elektroda Pita³¹

2.1.5.5. Alat Ukur Tahanan Pentanahan / *Earth Ground Tester*

Alat ukur penangkal petir ini digunakan untuk mengetahui hasil dari resistans atau tahanan grounding system penangkal petir pada sebuah instalasi penangkal petir yang telah terpasang. Alat ukur penangkal petir ini digital, sehingga hasil yang ditunjukkan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi.



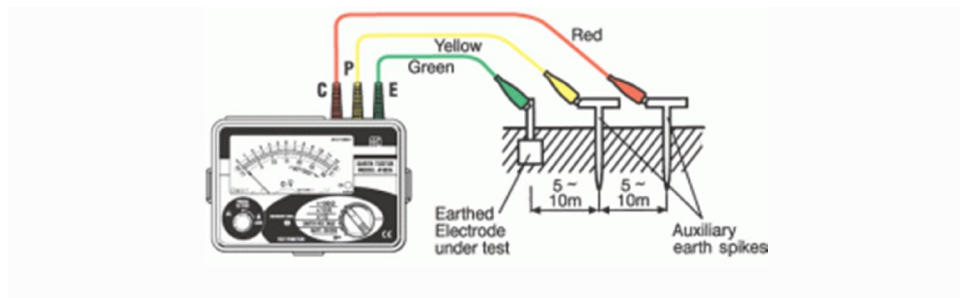
Gambar 2.13 – *Earth Ground Tester*³²

³¹Asep, *Op.cit.* h.48.

³² <http://gudangpetir.com/mengukur-resistansi-ground/> diakses pada tanggal 3 Januari 2016 pukul 21:04

Cara Mengukur Grounding dengan Earth Tester :

- Periksa kondisi kabel *grounding* BC yang akan diukur. Bila kotor bersihkan dahulu permukaan kabel tersebut dengan lap bersih / kertas amplas, agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung bagian permukaan tembaga yang sudah bersih dan untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan pada alat ukur.
- Periksa kondisi dan perlengkapan penunjang alat ukur *digital earth resistance*.
- *Earth Tester* mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kebel merah, kuning dan hijau.
- Silahkan hubungkan kabel ke *Earth Tester* dengan warna yang sudah ditentukan pada alat ukur.
- Hubungkan kabel merah setra kuning ke tanah dengan masing-masing jarak kurang lebih 5-10 meter dari pentanahan atau grounding.
- Hubungkan juga kabel hijau ke grounding yang sudah terpasang.
- Lakukan pengukuran *grounding* (tahanan pentanahan) dengan memutar knob alat ukur pada poisisi 200 ohm atau 2000 ohm tergantung dari kondisi tanah pada area setempat yang akan diukur.
- Kemudian tekan tombol tester untuk mengetahui resistansi *grounding* biasanya berwarna kuning/merah dan pada displai alat ukur akan muncul nilai tahanan pentanahan.



Gambar 2.14 – Gambar Rangkaian Pengukuran *Grounding*³³

2.1.6. BTS (Based Transceiver Station)

2.1.6.1. Pengertian BTS (Baser Transceiver Station)



Gambar 2.15 - Menara BTS (Based Transceiver Station)³⁴

BTS, terminologi ini termasuk baru dan mulai populer di era kenaikan seluler saat ini. BTS berfungsi sebagai perantara perangkat komunikasi pengguna dengan jaringan menuju jaringan lain. Satu cakupan pancaran BTS dapat disebut sel. Komunikasi seluler adalah komunikasi modern yang mendukung mobilitas yang

³³ <http://gudangpetir.com/mengukur-resistansi-ground/> diakses pada tanggal 3 Januari 2016 pukul 21:04

³⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Base_transceiver_station diakses pada tanggal 20 Juli 2015 pukul 10:20

tinggi. Dari beberapa BTS kemudian dikontrol oleh salah satu *Base Station Controller* (BSC) yang terhubung dengan koneksi *microwave* ataupun serat optik.

Meskipun istilah BTS dapat diterapkan ke salah satu standar komunikasi nirkabel, biasanya dan umumnya terkait dengan teknologi komunikasi *mobile* seperti GSM yang beroperasi di frekuensi 900 MHz dan CDMA yang beroperasi di frekuensi 800 MHz / 1900 MHz³⁵. Dalam hal ini, BTS merupakan bagian dari *Base Station Subsystem* (BSS) perkembangan untuk sistem manajemen. Ini juga mungkin memiliki peralatan untuk mengenkripsi dan mendekripsi komunikasi, spektrum penyaringan alat (band pass filter), dll.

2.1.6.2. Sistem Proteksi pada BTS (*Based Transceiver Station*)

Tidak ada teknologi yang dapat mengatasi resiko dari sambaran petir dan transiennya dengan tingkat keamanan 100 %. Enam prinsip perencanaan proteksi yang direkomendasikan :

a. Menangkap Sambaran Petir

Secara umum, titik yang paling peka pada sambaran langsung adalah pada titik tertinggi pada suatu struktur. Ini mungkin menara logam atau berbagai antena yang menonjol di puncak menara yang merupakan bagian paling peka terhadap sambaran langsung. Sistem antena satelit yang besar dan peralatan kendalinya adalah jenis yang peka terhadap sambaran langsung.

³⁵ <http://nugrahawildan.blogspot.com/> diunggah pada tanggal 27 september 2014, pukul 15.20 WIB

Dengan menerapkan suatu terminal udara yang dirancang sesuai dengan tujuan pada puncak menara komunikasi, sambaran petir langsung dapat diarahkan ke suatu titik yang dipilih yang terletak jauh dari antena dan kabel untuk mengurangi resiko kerusakan peralatan akibat energi dan kekuatan langsung dari suatu discharge petir. Suatu rancangan terminal udara baru – Dynasphere – memotong discharge petir pada titik yang dipilih lebih awal daripada teknik proteksi kilat konvensional. Terminal udara ini dikembangkan berdasar riset tentang formasi korona dan efek muatan ruang disekitar titik-titik yang di-ground dalam batasan waktu seperseribu detik terutama untuk pengembangan aliran petir.

Konstruksi ruang *floating Dynasphere* adalah pasif didekat badai, dan menghasilkan korona yang minimal. Dalam seperseribu detik, sebagai pendekatan dari datangnya petir yang lebih dahulu, menjadi aktif melalui coupling kapasitif, itu menyerap energi dan membantu memicu pemotongan discharge yang menaik untuk menangkap dan mengendalikan downleader utama. Dynasphere adalah non-radioaktif yang tidak memerlukan sumber tenaga eksternal atau baterai.

b. Menyalurkan Arus Petir ke Ground Secara Aman

Saat petir telah ditangkap di suatu titik yang dipilih, perlu untuk menyalurkan arus discharge secara aman ke ground, dan untuk meminimalkan penyaluran arus petir pada konduktor ancillary seperti kabel feeder coaxial yang dapat membawa energi petir yang berbahaya secara langsung ke rak peralatan.

c. Mendisipasi Energi ke tanah

Energi yang sangat besar dari petir dibuang petir dengan tetap menjaga agar kenaikan potensial tanah seminimal mungkin dengan menggunakan impedansi yang kecil.

d. Menghilangkan loop

Hal yang perlu diperhatikan adalah untuk menjaga casing peralatan pada referensi ground yang tetap, yang tidak menghasilkan interaksi resonansi dengan sinyal telekomunikasi itu sendiri. Oleh karena itu perlu bonding yang efektif dan menyeluruh pada semua peralatan dan system yang mengandung logam. Bonding dari berbagai casing peralatan tersebut di interkoneksi dalam satu busbar untuk diketanahkan ke ekipotensial tunggal.

Perlengkapan untuk menyusun grounding yang ideal.

- a. Setiap system grounding (petir, tenaga listrik, telekomunikasi, dll) harus secara individual dalam satu kesatuan bonding. Hal ini ditujukan untuk mengamankan pada kondisi transient.
- b. Ring Interkoneksi grounding harus dipasang di sekeliling ruangan yang berisi peralatan elektronik yang sensitif. Interkoneksi meliputi tower, ground instalasi tenaga listrik, dan peralatan logam lainnya. Sistem juga harus dihubungkan dengan ground ring di garis sekeliling (seperti pagar). Hal ini akan mengurangi resiko gradien potensial di sekitar area.
- c. Proteksi untuk petir harus dengan langsung dibonding ke ground ring.
- d. Ground ring harus terbuat dari konduktor dengan ukuran tertentu dan dikubur 900mm di bawah tanah. BC-50 sepanjang 2 meter atau rod

stainless steel dipasakkan di sekeliling ground ring dengan interval 3 sampai 4 meter. Untuk memastikan referensi grounding yang permanent.

- e. Hanya ada satu titik tunggal untuk grounding semua peralatan
- f. Sistem grounding (pengetanahan) yang efektif juga penting di mana menara diletakkan pada puncak dari atap. Beberapa kasus telah diamati di mana sebuah saluran ground tunggal dilewatkan sejauh 10-20 lantai di samping bangunan pada sebuah batang pentanahan terisolasi tunggal. Hal ini belum cukup aman.

Teknologi untuk membantu konstruksi jaringan pentanahan yang efektif atau untuk sistem grounding:

- a. Bahan campuran khusus dapat digunakan untuk memperbaiki (memperkecil) impedansi grounding pada lokasi di mana resistivitas tanah tinggi seperti di daerah berbatu, daerah berpasir atau wilayah pegunungan dengan ukuran partikel tanah yang besar. Untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan yang bervariasi, bahan yang sesuai dibutuhkan untuk menahan seperti harus tidak melepas ion konduktif ke air tanah yang tercemar atau sekeliling tanah.
- b. Molekul eksotermik (campuran tembaga dan campuran besi-tembaga) untuk grounding dan sistem proteksi petir akan memberikan keuntungan :
 - a. Permanent, tetap, kuat
 - b. Resistansi rendah
 - c. Sambungan yang bebas karat
 - d. Tidak menjadi rentan dan lemah karena usia pemakaian

2.1.7. Besarnya Kebutuhan Bangunan Akan Sistem Proteksi Petir

Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir ditentukan dengan cara klasifikasi area tempat bangunan atau dengan perhitungan menggunakan parameter hari guruh dimana gedung itu berada dan koefisien-koefisien lain yang diperlukan tergantung standar yang dipilih atau digunakan.

Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada didalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Di dalam tulisan ini akan di bahas penentuan kebutuhan bangunan akan proteksi petir menggunakan standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), *National Fire Protection and Assosiation* (NFPA 780), dan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004).

2.1.7.1. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP)

Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks – indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi, dengan rumusan dan tabel indeks seperti dibawah ini:

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

R = Perkiraan Bahaya Petir (Tabel 2.10)

A = Penggunaan dan Isi Bangunan (Tabel 2.5)

B = Konstruksi Bangunan (Tabel 2.6)

C = Tinggi Bangunan (Tabel 2.7)

D = Situasi Bangunan (Tabel 2.8)

E = Pengaruh Kilat (Tabel 2.9)³⁶

Tabel 2.5 – Indeks A : Bahaya Berdasarkan Penggunaan dan Isi Bangunan

Penggunaan dan Isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya.	-10
Bangunan dan isinya jarang dipergunakan, misalnya 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 atau 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 sejarah 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 : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

³⁶*Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk Bangunan Di Indonesia*,(Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya: 1983), h. 16.

Tabel 2.6 – Indeks B : Bahaya Berdasarkan Konstruksi Bangunan

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

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

Tabel 2.7 –Indeks C : Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan

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

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

Tabel 2.8 – Indeks D : Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan

Situasi Bangunan	Indeks A
Di tanah datar pada semua ketinggian.	0
Di kaki bukit sampai % tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter.	1
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter.	2

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

Tabel 2.9 – Indeks E : Bahaya Berdasarkan Pengaruh Kilat / Hari Guruh

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

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

Dengan memperlihatkan keadaan di tempat yang hendak dicari tingkat risikonya dan kemudian menjumlahkan indeks – indeks tersebut diperoleh suatu perkiraan bahaya yang ditanggung bangunan dan tingkat pengamanan yang harus diterapkan.

Tabel 2.10 – Indeks R : Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan PUIPP

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

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan *Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. hlm. 17

2.1.7.2. Berdasarkan Standar NFPA 780

Cara penentuan yang digunakan pada standar NFPA 780 hampir sama dengan yang digunakan pada PUIPP yaitu dengan menjumlahkan sejumlah indeks yang mewakili keadaan lokasi bangunan kemudian hasil penjumlahan dibagi dengan indeks yang mewakili *isokeraunic level* di daerah tersebut. Dengan rumusan dan tabel indeks seperti dibawah ini:

$$R = \frac{A+B+C+D+E}{F} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

R = Perkiraan Bahaya Petir(Tabel 2.17)

A = Jenis Struktur(Tabel 2.11)

B = Jenis Konstruksi(Tabel 2.12)

C = Lokasi Bangunan(Tabel 2.13)

D = Topografi(Tabel 2.14)

E = Penggunaan dan Isi Bangunan(Tabel 2.15)

F = *Isokeraunic Level* (Tabel 2.16)

Tabel 2.11 – Indeks A : Jenis Struktur

Jenis Struktur	Indeks A
Rumah kediaman yang kurang dari 465 m ²	1
Rumah kediaman yang lebih dari 465 m ²	2
Perumahan kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi kurang dari 15 meter	
- Melingkupi area kurang dari 2323 m	3
- Melingkupi area lebih dari 2323 m	5
Perumahan kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi 15 – 23 meter	4
Perumahan kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi 23 – 46 meter	5
Perumahan kantor atau bangunan pabrik dengan tinggi lebih dari 46 meter	8
Kantor pelayanan milik pemerintah misalnya pemadam kebakaran, kantor polisi, dan perusahaan air minum	7
Hangar pesawat (terbang)	7
Pembangkit listrik dan <i>central telephone</i>	8
Menara air dan <i>cooling tower</i>	8
Perpustakaan, museum, dan bangunan bersejarah	8

Jenis Struktur	Indeks A
Bangunan pertanian	9
Tempat bernaung di daerah rekreasi	9
Bangunan yang berisi banyak orang misalnya sekolah, tempat ibadah, bioskop, dan stadion olahraga	9
Struktur yang ramping dan tinggi misalnya cerobong asap, menara pengawas, dan mercu suar	10
Rumah sakit, penampungan para lansia dan penyandang cacat	10
Bangunan tempat membuat dan menyimpan bahan berbahaya misalnya zat kimia	10

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. hlm. 35

Tabel 2.12 – Indeks B : Jenis Konstruksi

Kerangka Struktur	Jenis Atap	Indeks B
Bukan logam	Kayu	5
	Campuran asphalt, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	1
Kayu	Kayu	5
	Campuran asphalt, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	2
Beton bertulang	Kayu	5
	Campuran asphalt, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	4
	Logam yang terhubung secara elektrik	2
Kerangka baja	Kayu	4
	Campuran asphalt, ter atau genteng	3
	Logam yang tidak saling terhubung	3
	Logam yang terhubung secara elektrik	1

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. hlm. 35

Tabel 2.13 – Indeks C : Lokasi Bangunan

Lokasi Bangunan	Indeks C
Bangunan dalam area bangunan yang lebih tinggi	
- Bangunan kecil. Melingkupi area kurang dari 929 m ²	1
- Bangunan besar. Melingkupi area lebih dari 929 m ²	2
Bangunan dalam area bangunan yang lebih rendah	
- Bangunan kecil. Melingkupi area kurang dari 929 m ²	4
- Bangunan besar. Melingkupi area lebih dari 929 m ²	5
Struktur diperpanjang sampai 15,2 m di atas permukaan tanah	7
Struktur diperpanjang sampai lebih dari 15,2 m di atas permukaan tanah	10

Sumber : *National Fire Protection Association* 780. hlm. 35

Tabel 2.14 – Indeks D : Topografi

Lokasi	Indeks D
Pada tanah datar	1
Pada sisi bukit	2
Di atas puncak bukit	4
Di atas puncak gunung	5

Sumber : *National Fire Protection Association* 780. hlm. 35

Tabel 2.15– Indeks E : Penggunaan dan Isi Bangunan

Penggunaan dan Isi Bangunan	Indeks E
Bahan yang tidak mudah terbakar	1
Perabotan rumah tangga	2
Perlengkapan atau perabotan biasa	2
Ternak peliharaan	3
Bangunan berisi sedikit orang (kurang dari 50 orang)	4
Bahan yang mudah terbakar	5
Bangunan berisi banyak orang (50 orang atau lebih)	6
Peralatan atau barang berharga	7
Pelayanan umum seperti pemadam kebakaran dan kantor polisi	8
Gas atau cairan yang mudah meledak	8
Peralatan operasi yang sensitive	9
Benda bersejarah	10
Peledak dan bahan pembuatnya	10

Sumber : *National Fire Protection Association* 780. hlm. 35

Tabel 2.16 – Indeks F : Isokeraunic Level

Isokeraunic Level	Indeks F
0 – 5	9
6 – 10	8
11 – 20	7

<i>Isokeraunic Level</i>	Indeks F
21 – 30	6
31 – 40	5
41 – 50	4
51 – 60	3
61 – 70	2
Lebih dari 70	1

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. hlm. 35

Tabel 2.17 – Indeks R : Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan NFPA 780

R	Pengamanan
0 – 2	Tidak perlu
2 – 3	Dianjurkan
3 – 4	Dianjurkan
4 – 7	Sangat dianjurkan
Lebih dari 7	Sangat perlu

Sumber : *National Fire Protection Association 780*. hlm. 35

2.1.7.3. Berdasarkan Standar IEC 1024-1-1

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan

sambaran petir ke tanah rata – rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada dinyatakan sebagai :

$$Ng = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T_d^{1,26} / \text{km}^2 / \text{tahun} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana T_d adalah jumlah hari guruh rata – rata per tahun di daerah tempat struktur yang akan diproteksi.

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-9} \text{ tahun} \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana Ae adalah area cakupan dari struktur (m^2) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Daerah yang diproteksi adalah daerah di sekitar struktur sejauh $3h$, dimana h adalah tinggi struktur yang diproteksi. Pengambilan keputusan perlu tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut :

- a. Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi petir.
- b. Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi : $E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$.³⁷

Kaitan efisiensi sistem proteksi petir dan tingkat proteksi dijelaskan pada Tabel 2.18 serta Tabel 2.19 menjelaskan penempatan terminasi udara berdasarkan tingkat proteksi.

³⁷Nedi Gunawan, *Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Gedung Bandara Fatmawati Soekarno Bengkulu dengan Metode Konvensional Dn Elektrogeometri*. h.14.

Tabel 2.18 – Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP (E)
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	080

Sumber : *Hosea, 2004*

Tabel 2.19 – Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Tingkat Proteksi

Tingkat Proteksi	h (m)	20	30	45	60	Lebar
	R (m)	a°	a°	a°	a°	Jala (m)
I	20	25	-	-	-	5
II	30	35	25	-	-	10
III	45	45	35	25	-	15
IV	60	55	45	35	25	20

Sumber : *Standar Nasional Indonesia. Proteksi Bangunan Terhadap Petir. (2004)*

2.1.8. Rancangan Sistem Terminasi Udara Menurut SNI 03-7015-2004

Untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi dapat menggunakan beberapa metode, yaitu:

1. Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*)
2. Metode bola bergulir (*Rolling Sphere Method*)
3. Metode jala (*Mesh Sized Method*)

Metode proteksi sebaiknya dipilih oleh perancang proteksi petir dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*) cocok untuk bangunan gedung atau bagian kecil dari bangunan gedung yang lebih besar. Metode ini tidak cocok untuk bangunan gedung yang lebih besar dari radius bola gulir yang sesuai dengan tingkat proteksi system proteksi petir (SPP) yang dipilih.
- b. Metode bola bergulir (*Rolling Sphere Method*) cocok untuk bentuk bangunan gedung yang rumit.
- c. Metode jala (*Mesh Sized Method*) dipakai untuk keperluan umum dan khususnya cocok untuk proteksi struktur dengan permukaan datar.

Dilihat dari ketiga metode diatas, maka di dalam perencanaan terminasi udara pada bangunan, ketiga metode diatas dapat dikombinasikan untuk membentuk zona proteksi dan meyakinkan bahwa bangunan tersebut terproteksi seluruhnya. Standar SNI ini tidak memberikan kriteria untuk pemilihan system terminasi udara karena dianggap batang, kawat rentang, dan konduktor jala adalah sama.

Dipertimbangkan bahwa :

1. Tinggi batang terminasi udara sebaiknya antara 2-3 meter untuk mencegah peningkatan frekuensi sambaran petir langsung.
2. Rentang kawat dapat digunakan dalam semua kasus sebelumnya dan untuk bentuk bangunan yang rendah ($a/b > 4$, dimana a : panjang bangunan, dan b : lebar bangunan).
3. System terminasi udara terdiri dari jala konduktor untuk keperluan umum.

Adapun ukuran minimum bahan system penangkal petir (SPP) yang dipakai di dalam standar ini untuk penggunaan terminasi udara dapat dilihat pada tabel 2.20.

Tabel 2.20. Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan terminasi udara

Tingkat Proteksi	Bahan	Terminasi Udara (mm ²)
I sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

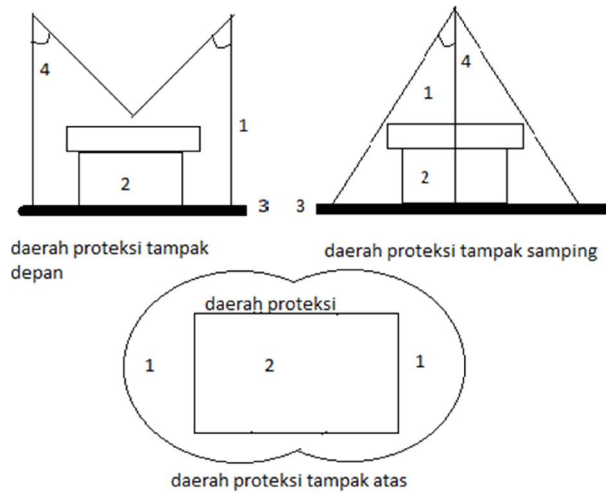
2.1.8.1. Metode Sudut Proteksi (*Angle Protection Method*)

Daerah yang di proteksi adalah daerah yang berada di dalam kerucut dengan sudut proteksi sesuai dengan tabel 2.19. Dalam metode sudut proteksi ini, terminasi udara dipasang pada setiap bagian dari struktur bangunan yang dilindungi yang tidak tercakup pada daerah proteksi yang dibentuk. Nilai sudut yang terbentuk sebagai daerah proteksi adalah bergantung dari ketinggian terminasi udara dari daerah yang diproteksi.

Metode sudut proteksi secara geometris mempunyai keterbatasan dan tidak digunakan untuk bangunan/gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang ditentukan pada tabel 2.19.

Konduktor terminasi udara sebaiknya ditempatkan sedemikian sehingga semua bagian bangunan gedung yang di proteksi berada disela permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik-titik dari konduktor terminasi udara ke bidang referensi, dengan sudut α ke garis vertikal dalam semua arah. Rancangan terminasi udara menggunakan metode sudut proteksi ini dapat dilihat

pada gambar 2.16. (dianggap bangunan mempunyai panjang dan lebar yang sama).



Keterangan: 1. Tiang terminal udara

2. bangunan yang di proteksi

3. bidang referensi

4. Sudut proteksi yang dibentuk

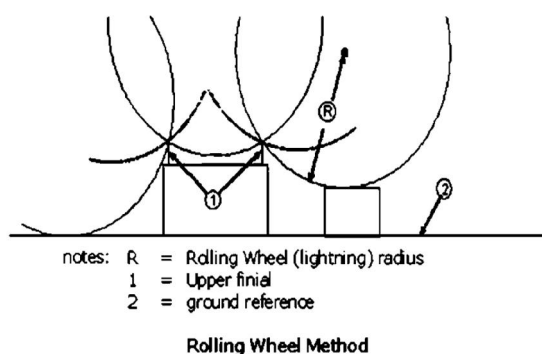
Gambar 2.16. Rancangan terminasi udara menggunakan metode sudut proteksi³⁸

2.1.8.2. Metode bola bergulir (*Rolling Sphere Method*)

Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir diatas tanag, sekeliling struktur dan diatas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang

³⁸ Ibid, h. 49

mampu bekerja sebagai penghantar (gambar 2.17). Titik sentuh bola bergulir pada struktur yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan.



Gambar 2.17. Daerah proteksi dengan metode bola bergulir³⁹

Metode bola bergulir (*Rolling Sphere*) ini sebaiknya digunakan untuk mengidentifikasi ruang yang terproteksi dari bagian atau luasan bangunan/gedung yang tidak tercakup oleh metode sudut proteksi.

metode ini, penempatan system terminasi udara dianggap memadai jika tidak ada titik pada daerah yang diproteksi oleh bola gulir dengan radius R , disekeliling dan diatas bangunan/gedung kesemua arah. Untuk itu, bola hanya boleh menyentuh tanah atau system terminasi udara.

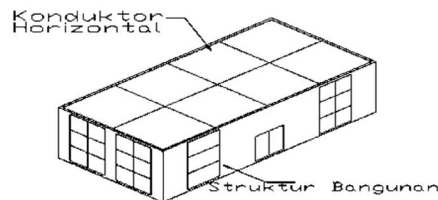
Radius bola gulir harus sesuai dengan tingkat proteksi sistem proteksi petir (SPP) yang dipilin menurut tabel 2.18. pada gambar diatas, bola dengan radius R digulirkan sekeliling dan diatas bangunan/gedung hingga bertemu dengan bidang bumi yang mampu bekerja sebagai konduktor petir. Titik sentuh bola gulir pada

³⁹ Ibid, h. 50

bangunan/gedung merupakan titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara.

2.1.8.3. Metode jala (*Mesh Sized Method*)

Metode ini digunakan untuk keperluan permukaan yang datar karena bias dilindungi seluruh permukaan bangunan. Daerah yang diproteksi adalah keseluruhan daerah yang ada didalam jala-jala (gambar 2.18). ukuran jala sesuai tingkat proteksi dapat dipilih pada tabel 2.19.



Gambar 2.18. Daerah proteksi dengan metode jala⁴⁰

Untuk keperluan perlindungan permukaan yang datar, Sistem Proteksi Petir (SPP) jala diyakini melindungi seluruh permukaan jika dapat memenuhi kondisi berikut :

- a. Konduktor terminasi udara ditempatkan pada:
 - Garis pinggir sudut atap
 - Serambi atap
 - Garis hubungan atap jika kemiringan lebih dari 1/10
- b. Permukaan samping pada bangunan/gedung yang tingginya lebih dari radius bola gulir yang relevan dengan tingkat proteksi yang dipilih sesuai tabel 2.19 harus dilengkapi dengan sistem terminasi udara.

⁴⁰ Ibid, h. 52

- c. Dimensi jala pada jaringan terminasi udara tidak lebih dari nilai yang diberikan dalam tabel 2.19.
- d. Jaringan sistem terminasi udara disempurnakan sedemikian rupa hingga arus petir akan selalu mengalir melalui dua lintasan logam berbeda, tidak boleh ada lintasan logam menonjol keluar dari volume yang dilindungi oleh sistem terminasi udara.
- e. Konduktor terminasi udara harus mengikuti lintasan terpendek yang dimungkinkan.

3.2. Kerangka Berpikir

Penelitian ini didasari pada perkembangan dan semakin menjamurnya pembangunan menara-menara BTS (*Based Transceiver Station*) indoor maupun outdoor beberapa tahun terakhir. Dengan menggunakan penangkal petir, diharapkan instalasi listrik dan sistem elektrikal lainnya serta keberadaan manusia yang ada disekitar BTS tersebut terlindungi dari sambaran petir, baik itu sambaran langsung ataupun sambaran tidak langsung.

Langkah dalam melakukan penelitian diawali dengan observasi lapangan atau lokasi yang akan ditelitidan beberapa lokasi yang pernah dilakukan pemasangan instalasi penangkal petir oleh pihak subkontraktor dengan didampingi oleh pembimbing lapangan.

Setelah observasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan pengukuran. Dalam melakukan perhitungan yaitu dengan

menggunakan sumber – sumber yang relevan guna memudahkan perhitungan taksiran resiko dan yang lainnya.

Pengukuran dilakukan guna membandingkan hasil perhitungan dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan. Pengukuran didampingi oleh dua orang pembimbing lapangan.

Setelah dilakukan perhitungan dan pengukuran, maka dilakukan penyusunan hasil penelitian dan juga pembahasannya sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan dari proses perhitungan hingga pengukuran tersebut. Barulah dibuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.