

IMPLEMENTASI PENANGKAL PETIR TIPE EMISI ALIRAN MULA (*EARLY STREAMER EMISSION*) GUNA MENGURANGI DAMPAK SAMBARAN PETIR PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT

SUJITO

Abstrak: Petir merupakan fenomena alam yang mempunyai dampak yang sangat membahayakan objek yang terkena sambaran dan objek yang berada disekitar sambaran. Sambaran petir dapat terjadi antara awan dengan bumi, awan dengan awan, atau sambaran yang terjadi di dalam awan. Sambaran awan dengan bumi mempunyai dampak yang paling tinggi dibanding dengan jenis sambaran yang lain. Gedung bertingkat (menjulung tinggi) mempunyai resiko sambaran lebih tinggi dibandingkan gedung tidak bertingkat. Pencegahan sambaran petir pada gedung bertingkat dapat dilakukan dengan merancang penangkal petir yang baik dan benar. Aplikasi penangkal petir tipe emisi mula (*Early streamer emission*) pada gedung wisma MM UGM meliputi beberapa perhitungan antara lain: perhitungan tahanan tanah lokasi, tahanan pentanahan, sudut proteksi, jumlah terminal udara yang dibutuhkan. Berdasarkan pengukuran langsung, tahanan tanah di lokasi wisma MM UGM bernilai tahanan jenis tanah ρ : 32,65 Ω /meter ohm, sedangkan nilai tahanan pentanahan dengan sebaran tanah (R_d) sebesar 2 Ω /meter. Untuk Gedung Wisma Mahasiswa Program Studi Magister Manajemen UGM dengan ketinggian penangkal petir dari atap 10 meter dapat diketahui jarak yang mampu dilindungi yaitu 100 meter dengan besar ΔL yaitu 51,8 (meter).

Kata kunci: Petir, emisi mula, tanahan jenis tanah, sudut proteksi.

Ketika sambaran petir terjadi antara awan dengan bumi, akan terjadi pelepasan muatan ke bumi, muatan yang dilepaskan bisa mencapai 200 kA. Aliran arus yang besar tersebut dapat menyebabkan kerusakan yang fatal terhadap bangunan, manusia, maupun peralatan listrik yang dekat dengan pusat sambaran petir atau yang terkena sambaran petir secara langsung. Petir merupakan fenomena atau kejadian alam yang tidak dapat dicegah dan juga merupakan gejala kelistrikan yang dapat membahayakan objek yang ada dimuka bumi, dimana petir telah banyak membuat kerugian harta benda dan manusia. Hasil pelepasan dari sambaran petir ini dapat mengakibatkan kerusakan yang bisa dianggap fatal terhadap bangunan itu sendiri maupun terhadap isi dari bangunan itu serta terhadap manusia.

Fenomena Pelepasan Petir

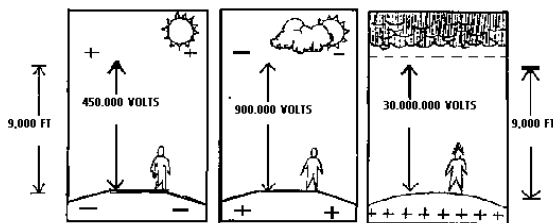
Bumi merupakan konduktor listrik yang sangat besar yang dapat menghasilkan ion negatif apabila pada atmosfer bumi berisi ion kebalikannya yaitu ion positif pada cuaca normal. Pada atmosfer dihasilkan beda potensial kurang lebih 100 sampai 600 volt per meter. Pada keadaan ini, bumi akan kehilangan polaritas negatifnya dan mengambil polaritas positif dari atmosfer seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Medan listrik antara bumi dan sel petir tersebut adalah terbalik dan potensial listrik dari tengah-tengah ion akan membumbung tinggi. Pengukuran ini dilakukan hanya pada tengah awan ion, dan juga medan negatif pada bumi ke awan bisa menghasilkan harga tertinggi kira-kira 10.000 sampai 20.000 volt per meter atau lebih (Frydenlund). Gambar 2 memperlihatkan nilai tegangan antara bumi pada ketinggian 9000 ft untuk bermacam-macam kondisi

cuaca. Tegangan tertinggi terjadi pada kondisi awan hitam mencapai tegangan 30 Mvolt.

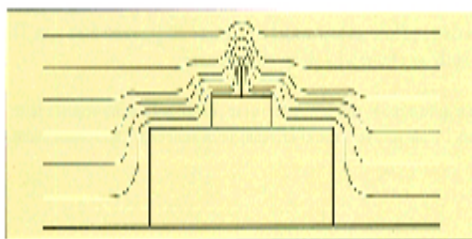


Gambar 1. Perpindahan Polaritas Bumi

Gambaran medan listrik sering digambarkan sebagai jalur horizontal. Hal ini dapat diketahui pada saat sambaran medan listrik menyambar objek-objek tegak atau vertikal seperti: gedung bertingkat, menara, tiang bendera, manusia, menara transmisi dan lain-lain. Kejadian ini dapat dilihat pada Gambar 3, dimana pada kenyataannya, angin merupakan salah satu komponen dari badai. Angin ini menjadikan suatu badai petir pada suatu tempat, angin akan membawa ion positif yang terdapat pada awan petir dan hasil pergerakan tadi akan menghasilkan pelepasan petir ke bumi.



Gambar 2 Perbandingan Potensial Listrik pada Berbagai Cuaca



Gambar 3. Medan Listrik pada Jalur Horizontal

Indeks Kebutuhan Penangkal Petir

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan suatu instalasi penangkal petir, ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang ditimbulkan bila bangunan tersebut tersambar petir. Besarnya kebutuhan tersebut dapat ditentukan secara empiris berdasarkan indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 sampai Tabel 5 sedangkan Tabel 6 merupakan penjumlahan dari indeks-indeks yang dipilih dari tabel-tabel sebelumnya dimana hasil penjumlahan tersebut "**R**" merupakan indeks-indeks perkiraan bahaya akibat sambaran petir.

$$R = A + B + C + D + E \quad (1)$$

Jelas bahwa semakin besar nilai R, semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir, berarti semakin besar pula kebutuhan bangunan tersebut akan adanya suatu sistem penangkal petir.

Tabel 1. Macam Penggunaan Bangunan

Penggunaan dan isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	- 10
Bangunan dan isi jarang dipergunakan, seperti dangau ditengah sawah, gudang, menara atau tiang metal	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal orang, seperti tempat tinggal rumah tangga, toko, pabrik kecil, tenda atau stasiun kereta api	1
Bangunan atau isinya cukup penting, seperti menara air, tenda yang berisi cukup banyak orang tinggal, toko barang-barang berharga, kantor, gedung pemerintah, tiang atau menara non metal	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, seperti bioskop, masjid, gereja, monumen bersejarah yang sangat penting	3
Instalasi gas, minyak atau bensin, rumah sakit	5
Bangunan yang mudah meledak	15

Tabel 2. Konstruksi Bangunan

Konstruksi	Indeks B
Seluruh bangunan terbuat dari logam (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. Bangunan kayu dengan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Tabel 3. Tinggi Bangunan

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

Tabel 4. Situasi Bangunan

Situasi bangunan	Indek D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai tiga perempat tinggi bukit atau dipegunungan sampai 1000 m	1
Di puncak gunung atau pahununhan lebih dari 1000 m.	2

Tabel 5 Pengaruh Kilat

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

Tabel 6 Perkiraan Bahaya (R)

R	Perkiraan bahaya	Pengamanan
< 11	Diabaikan	tidak perlu
= 11	kecil	tidak perlu
12	sedang	agakdianjurkan
13	agak besar	dianjurkan
14	besar	sangat dianjurkan
> 14	sangat besar	sangat perlu

Penangkal Petir Tipe Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*)

Pada era yang maju inovasi terus berkembang dimana banyak para ilmuwan membuat suatu penangkal petir yang handal. Belum lama ini ditemukan sistem penangkal petir yang menggunakan unsur radioaktif. Pada sistem ini terdapat pada kepala finialnya atau penangkap petir yaitu menggunakan unsur radioaktif, seperti yang dikembangkan oleh *Lightning Preventor of America*, adapun bentuk finial yang mengandung radioaktif dapat dilihat pada Gambar 4.



Preventor, Radioactive ESE

Gambar 4. Terminal Udara yang Menggunakan Unsur Radioaktif

Penangkal petir jenis emisi aliran mula yang menggunakan unsur radioaktif dilarang di Indonesia, penangkal petir ini dilarang oleh pihak Badan Tenaga Atom Nasional atau BATAN dikarenakan resiko yang ditimbulkan akan lebih besar dibandingkan fungsi dari penangkal petir tersebut, sehingga pada saat ini digunakan penangkal petir yang menggunakan Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*) yang bebas dari radioaktif. Bentuk finial sangat beragam, namun hampir seluruh bagian dari konstruksi dan bahan penangkal petir ini tidak jauh

berbeda dimana kepala finial ini dilengkapi oleh unsur emisi yang berfungsi sebagai sumber pembangkitan ion-ion yang dihubungkan dengan penghantar khusus ke dalam bumi.

Sistem penangkal petir Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*) secara umum merupakan perpaduan dari beberapa peralatan utamanya, dimana peralatan utamanya antara lain :

1. *Early Streamer Emission Lightning Control Terminal*, merupakan alat penangkal petir (*Finial*).
2. *Early Streamer Emission Lightning Carrier*, merupakan penghantar pentanahan.
3. *Early Streamer Emission Lightning Counter*, merupakan alat penghitung jumlah sambaran petir yang masuk.

Ketiga peralatan di atas merupakan peralatan umum utama dari penangkal petir Tipe Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*), dan penjelasan dari peralatan utama sebagai berikut:

1. ***Early Streamer Emission Lightning Control Terminal***

Peralatan ini berfungsi sama dengan penangkal petir yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu sebagai penangkap sambaran petir yang kemudian disalurkan melalui hantaran penyalur menuju ke dalam tanah. Peralatan ini (*Finial*) dilengkapi dengan unsur emisi yang berfungsi sebagai sumber pembangkitan ion-ion yang dihubungkan dengan penghantar khusus kedalam bumi. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar lebih menambah panjangnya atau tingginya batang franklin untuk menangkap sambaran petir.

Bentuk dari peralatan ini sangat berbeda dengan penangkal petir yang lainnya, sehingga daerah perlindungan yang dapat dilindungi atau dihasilkan cukup besar kira-kira 100 meter, hal ini diakibatkan karena peralatan ini bekerja dengan cara mengeluarkan unsur yang terdapat pada peralatan ini sebelum sambaran petir sampai pada suatu bangunan. Salah satu keuntungan yang diperoleh dari sistem penangkal petir jenis ini dapat mengurangi jumlah penangkal petir dan juga penghantar pentanahan yang diperlukan untuk melindungi suatu bangunan atau gedung. Contoh gambar *Early Streamer Emission Lightning Terminal* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Early Streamer Emission Lightning Terminal*

2. ***Early Streamer Emission Lightning Carrier***

Early Streamer Emission Lightning Carrier merupakan konduktor pentanahan dari sistem penangkal petir *Early Streamer Emission* yang memiliki fungsi sebagai pembawa sambaran petir kedalam tanah tanpa menimbulkan bahaya kabel yang digunakan pada

penangkal petir jenis ini, dimana konduktor ini berlapis-lapis, konduktor dalam membawa arus petir sedangkan kabel luarnya bertindak sebagai pelindung. Keuntungan dari kabel atau penghantar ini yaitu dapat membawa sambaran petir untuk di netralkan ke tanah tanpa menimbulkan bahaya pada bangunan yang dilindungi. Contoh dari gambar *Early Streamer Emission Lightning Carrier* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Early Streamer Emission Lightning Carrier*

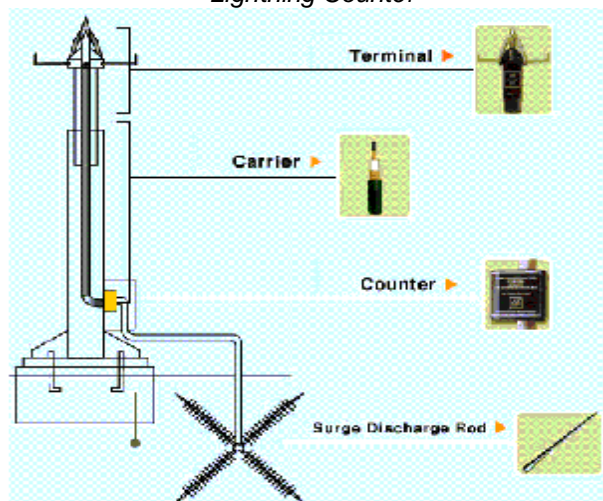
3. *Early Streamer Emission Lightning Counter*

Early Streamer Emission Lightning Counter merupakan suatu alat yang dibuat khusus dari pembuat untuk dapat menghitung atau menyimpan jejak langkah banyaknya sambaran petir yang masuk, bentuknya sangat kecil dan tahan terhadap berbagai cuaca, jumlah tertinggi yang dapat dihitung bisa mencapai 999,999 sambaran petir, counter ini adalah alat yang dapat mengencounter sampai 1,5 KA arus impuls dalam durasi 1,5 microsecond dan counter tidak perlu di pasang lagi (*reset*). Namun tidak semua pabrik pembuat penangkal petir menggunakan alat

counter ini. Gambar 7 merupakan gambar *Early Streamer Emission Lightning Counter* ini mengambil contoh buatan *E F* International.



Gambar 7. *Early Streamer Emission Lightning Counter*



Gambar 8. *Early Streamer Emission*

Bentuk dari sistem penangkal petir jenis emisi aliran mula (*Early Streamer Emission*) tidaklah sama antara yang satu dengan yang lain, banyak ragam variasi sebenarnya namun secara umum ketiga komponen diatas merupakan komponen yang sangat penting dan dari ketiga komponen penangkal petir diatas mengambil jenis dari E*F* International yang mana semua yang telah dijelaskan untuk komponen penangkal petir jenis *Early Streamer Emission* di atas

dapat kita lihat secara utuh seperti Gambar 8.

Sistem Pentanahan Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*) Menurut NFPA

Pada sistem pentanahan atau pengebumian yang ada pada sistem Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*) sama dengan sistem konvensional yaitu dengan elektroda pengebumian yang terbuat dari tembaga, baja yang dilapisi oleh tembaga, stainless steel atau baja galvanis dan tahanan resistan tanah maksimum 10 ohm untuk pengebumian. Rangkaian pentanahan secara diperlihatkan pada Gambar 9, sedangkan Gambar 10 memperlihatkan pentanahan linear yang dipasang pada penangkal petir. Gambar 9.a memperlihatkan teknik penyambungan konduktor yang baik dan benar serta komponen yang digunakan.

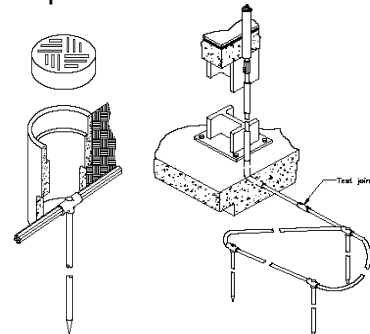
Daerah Perlindungan Menurut NFPA

Daerah Perlindungan setiap penangkal petir tidaklah sama, namun para ilmuwan memiliki hipotesa perbandingan luas daerah perlindungan baik yang menggunakan sistem batang franklin biasa atau konvensional dengan tipe Emisi Aliran Mula (*Early Streamer Emission*) tidaklah jauh berbeda, berdasarkan rumus yang mereka gunakan dan ciptakan dalam perhitungan, dimana rumus tersebut telah diperdebatkan dan melalui riset yang mereka lakukan maka berdasar NFPA dapat dilihat perbandingan zona proteksi dari kedua sistem, dan ini yang menjadikan penulis mampu menyatakan suatu hipotesa.

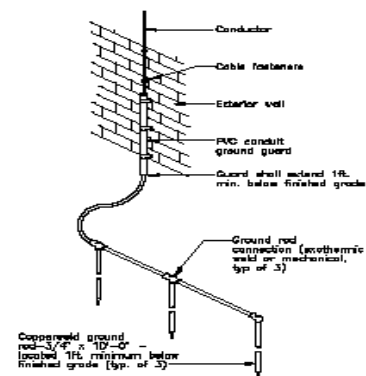
METODE

Tahapan dalam penelitian ini dimulai dengan menentukan tahanan pentanahan

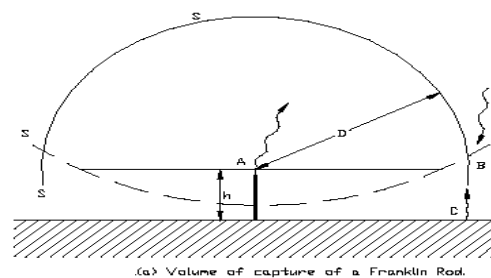
pada lokasi yang akan di pasang peralatan penangkal petir.



a. Test Joint b. Rangkaian pentanahan
Gambar 9. Konduktor Sistem Pentanahan Secara Jelas



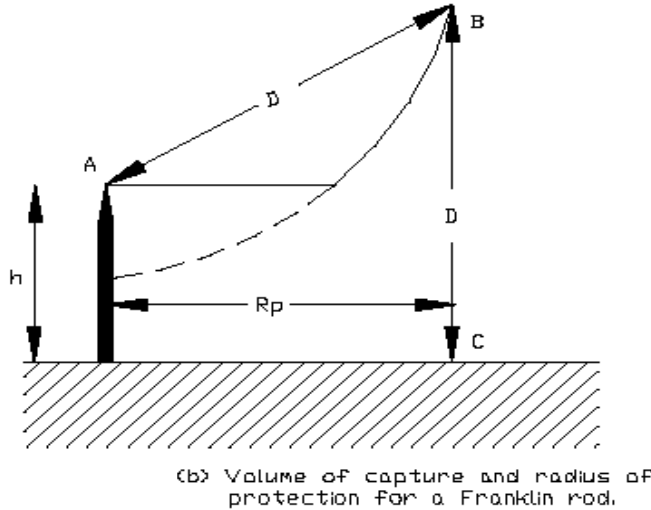
Gambar 10. Pentanahan Linear



Gambar 11. Volume Tangkapan Batang

Tahanan pentanahan ditentukan dengan dua cara yaitu dengan perhitungan dengan mengetahui karakteristik tanah lokasi, spesifikasi komponen penangkal petir yang digunakan dan pengukuran langsung di lokasi. Pada penelitian ini nilai tahanan jenis tanah diukur dengan menggunakan Earth

Tester atau alat ukur resistant Japan, Model 4102 dengan rangkaian pengebumian dengan merk Kyoritsu – pengukuran diperlihatkan pada Gambar 14.

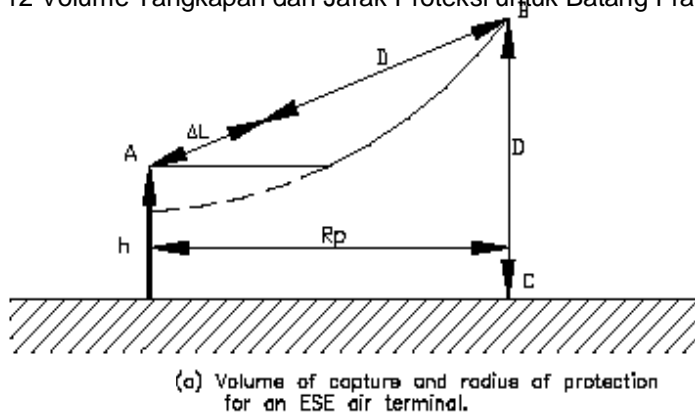


Where:

$$R_p = h \sqrt{\pm \frac{D}{h} - 1} \quad (1)$$

D = Initiation distance

Gambar 12 Volume Tangkapan dan Jarak Proteksi untuk Batang Franklin



$$R_p = h \sqrt{\left[2 \frac{D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[2 \frac{D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]} \quad (2)$$

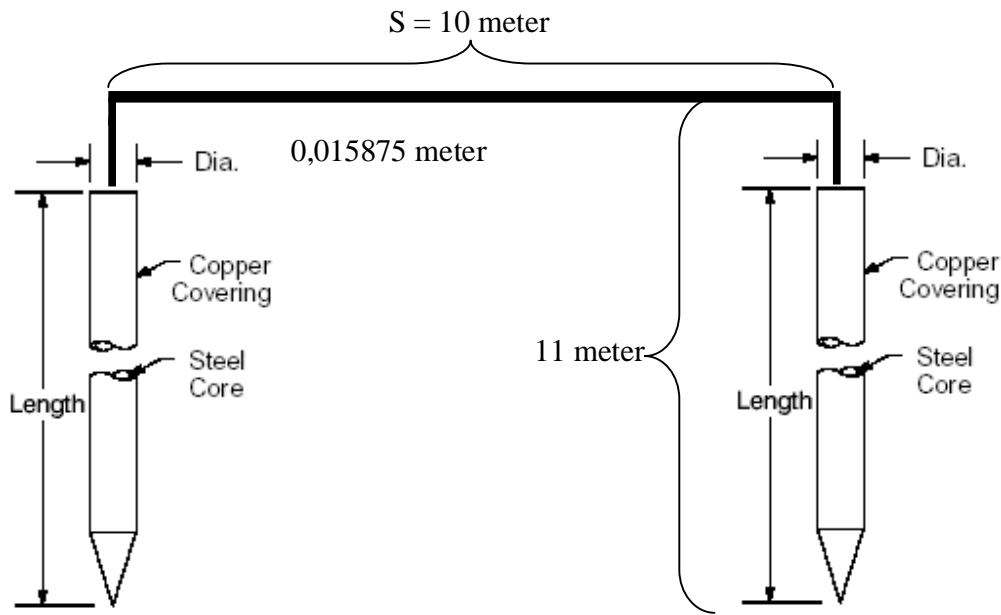
h = Height between the tip of the ESE air terminal and the areas to be protected.

D = Initiation distance from 4-2.3

ΔL = The assigned numerical value for the ESE air terminal

R_p = Radius of protection

Gambar 13. Volume Tangkapan dan Jarak Proteksi yang Menggunakan Terminal Udara Emisi Aliran Mula



Gambar 14. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah

Analisa Pentanahan pada gedung yang diteliti mempunyai spesifikasi:

Lokasi Gedung : Daerah pemukiman, tanah liat

Penghantar Elektroda : BC 50

Panjang Elektroda L : 11 meter (ditanam sedalam 11 meter sampai air)

Diameter Elektroda D : 5/8 Inchi : 0,015875 meter

Jari-jari Elektroda a : 0,0079375 meter

Jarak antar Elektroda pentanahan S = 10 meter

Setelah tahanan jenis tanah diperoleh, maka langkah selanjutnya menentukan nilai tahanan pembumian sistem. Nilai tahanan sistem dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$R_d = \frac{\rho}{4pL} \left(L \ln \frac{4L}{a} + L \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \quad (1)$$

Dimana ρ = Tahanan jenis tanah rata-rata (Ohm-meter)

R_d = Tahanan (Ohm)

L = Panjang Elektroda (meter)

D = Diameter Elektroda (meter)

a = Jari-jari elektroda (meter)

S = Jarak antar elektroda (meter)

Tahapan berikutnya adalah menentukan jumlah finial yang dibutuhkan berdasarkan luas zona proteksi. Analisa Zona proteksi pada sistem penangkal petir tidaklah sama, tiap merk penangkal petir sangatlah berbeda-beda tergantung dari merk pembuatnya. namun disini penulis akan memaparkan zona proteksi dari merk yang dipakai oleh gedung yang diteliti yaitu *EF* International dengan menggunakan persamaan (2).

$$R_p = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1 \right]} + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h} \right] \quad (2)$$

Untuk zona proteksi *EF* international (pada catalog *EF* International) ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Radius *E F* International

Tinggi dalam meter	Radius dalam meter
5	95
10	100
20	110
30	120
40	130

50	140
60	150
70	160
80	170
90	180
100	190
110	200

HASIL

Tahanan Pentanahan

Berdasarkan spesifikasi tanah pada lokasi yang di ukur dengan menggunakan Earth Tester atau alat ukur resistant pengebumian dengan merk Kyoritsu – Japan, Model 4102 nilai tahanan jenis tanah ρ : 32,65 Ω /meter. Nilai tahanan pentanahan dihitung dengan mengaplikasikan persamaan (2), sehingga diperoleh nilai sebaran tanah (R_d) sebesar 2 Ω /meter.

Zona Proteksi

Zona proteksi dihitung dengan menggunakan persamaan (2), pada objek penelitian yang digunakan dimana Gedung Wisma Mahasiswa Program Studi Magister Manajemen UGM mempunyai ketinggian penangkal petir dari atap 10 meter, sehingga jarak yang mampu dilindungi yaitu 100 meter dengan besar ΔL yaitu 51,8 (meter).

PEMBAHASAN

Nilai sebaran tanah (R_d) sebesar 2 ohm dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Nilai sebaran tanah ini berada di bawah nilai yang disyaratkan (PUIL/PUIPP) yaitu sebesar 30 ohm sampai 100 ohm untuk jenis tanah yang sama, yaitu tanah liat, lembab. Luas zona proteksi pada aplikasi emisi mula dipengaruhi oleh tinggi penangkal petir h , dengan mengaplikasikan persamaan (2) dan Tabel 10. Berikut perhitungan zona proteksi pada ketinggian penangkal petir yang berbeda-beda.

Hasil ini kemudian dibandingkan dengan nilai pada Tabel 10.

Untuk $h = 5$ meter

$D =$ Level I yaitu 60 meter untuk zona proteksi standart (NFPA 781 Chapter 3(b))

$\Delta L = 50$ (Up-Ward Streamer Emission)

$$R_p = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$R_p = 5 \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 60}{5} - 1\right] + \frac{50}{5} \left[\frac{2 \cdot 60}{5} + \frac{50}{5}\right]}$$

$$R_p = 5 \sqrt{[23] + 10[24 + 10]}$$

$$R_p = 5 \sqrt{363}$$

$$R_p = 95,3 \text{ meter}$$

Untuk $h = 10$ meter

$D =$ Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 51,8$ (Up-ward Streamer Emission)

$$R_p = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$R_p = 10 \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 60}{10} - 1\right] + \frac{51,8}{10} \left[\frac{2 \cdot 60}{10} + \frac{51,8}{10}\right]}$$

$$R_p = 10 \sqrt{[11] + 5,18[12 + 5,18]}$$

$$R_p = 10 \sqrt{99,99}$$

$$R_p = 100 \text{ meter}$$

Untuk $h = 20$ meter

$D =$ Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 57$ (Up-ward Streamer Emission)

$$R_p = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$R_p = 20 \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 60}{20} - 1\right] + \frac{57}{20} \left[\frac{2 \cdot 60}{20} + \frac{57}{20}\right]}$$

$$R_p = 20 \sqrt{[5] + 2,85[6 + 2,85]}$$

$$R_p = 20 \sqrt{30,22}$$

$$R_p = 110 \text{ meter}$$

Untuk h = 30 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 64$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 30 \sqrt{\left[\frac{2.60}{30} - 1\right] + \frac{64}{30} \left[\frac{2.60}{30} + \frac{64}{30}\right]}$$

$$Rp = 30 \sqrt{[3] + 2,13[4 + 2,13]}$$

$$Rp = 30 \sqrt{16,056}$$

$$Rp = 120 \text{ meter}$$

Untuk h = 40 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 71,5$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 40 \sqrt{\left[\frac{2.60}{40} - 1\right] + \frac{71,5}{40} \left[\frac{2.60}{40} + \frac{71,5}{40}\right]}$$

$$Rp = 40 \sqrt{2 + 1,7875 [3 + 1,7875]}$$

$$Rp = 40 \sqrt{10,56}$$

$$Rp = 130 \text{ meter}$$

Untuk h = 50 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 80$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 50 \sqrt{\left[\frac{2.60}{50} - 1\right] + \frac{80}{50} \left[\frac{2.60}{50} + \frac{80}{50}\right]}$$

$$Rp = 50 \sqrt{1,4 + 1,6 [2,4 + 1,6]}$$

$$Rp = 50 \sqrt{7,8}$$

$$Rp = 140 \text{ meter}$$

Untuk h = 60 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 90$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 60 \sqrt{\left[\frac{2.60}{60} - 1\right] + \frac{90}{60} \left[\frac{2.60}{60} + \frac{90}{60}\right]}$$

$$Rp = 60 \sqrt{1 + 1,5 [2 + 1,5]}$$

$$Rp = 60 \sqrt{6,25}$$

$$Rp = 150 \text{ meter}$$

Untuk h = 70 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 100$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 70 \sqrt{\left[\frac{2.60}{70} - 1\right] + \frac{100}{70} \left[\frac{2.60}{70} + \frac{100}{70}\right]}$$

$$Rp = 70 \sqrt{0,71 + 1,43 [1,71 + 1,43]}$$

$$Rp = 70 \sqrt{5,2002}$$

$$Rp = 160 \text{ meter}$$

Untuk h = 80 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 111$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 80 \sqrt{\left[\frac{2.60}{80} - 1\right] + \frac{111}{80} \left[\frac{2.60}{80} + \frac{111}{80}\right]}$$

$$Rp = 80 \sqrt{0,5 + 1,3875 [1,5 + 1,3875]}$$

$$Rp = 80 \sqrt{4,51}$$

$$Rp = 170 \text{ meter}$$

Untuk h = 90 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 123$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1\right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h}\right]}$$

$$Rp = 90 \sqrt{\left[\frac{2.60}{90} - 1 \right] + \frac{123}{90} \left[\frac{2.60}{90} + \frac{123}{90} \right]}$$

$$Rp = 90 \sqrt{0,33 + 1,366 [1,33 + 1,366]}$$

$$Rp = 90 \sqrt{4,01}$$

$$Rp = 180 \text{ meter}$$

Untuk h = 100 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 134$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1 \right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h} \right]}$$

$$Rp = 100 \sqrt{\left[\frac{2.60}{100} - 1 \right] + \frac{134}{100} \left[\frac{2.60}{100} + \frac{134}{100} \right]}$$

$$Rp = 100 \sqrt{0,2 + 1,34 [1,2 + 1,34]}$$

$$Rp = 100 \sqrt{3,6036}$$

$$Rp = 190 \text{ meter}$$

Untuk h = 110 meter

D = Level I yaitu 60 meter

$\Delta L = 146$ (Up-ward Streamer Emission)

$$Rp = h \sqrt{\left[\frac{2D}{h} - 1 \right] + \frac{\Delta L}{h} \left[\frac{2D}{h} + \frac{\Delta L}{h} \right]}$$

$$Rp = 110 \sqrt{\left[\frac{2.60}{110} - 1 \right] + \frac{146}{110} \left[\frac{2.60}{110} + \frac{146}{110} \right]}$$

$$Rp = 110 \sqrt{0,091 + 1,327 [1,09 + 1,327]}$$

$$Rp = 110 \sqrt{3,298}$$

$$Rp = 200 \text{ meter}$$

Untuk Gedung Wisma Mahasiswa Program Studi Magister Manajemen UGM dengan ketinggian penangkal petir dari atap 10 meter dapat diketahui jarak yang mampu dilindungi yaitu 100 meter dengan besar ΔL yaitu 51,8 (meter). Persamaan yang dipakai yaitu bersumber dari *The National Fire Protection Association* (NFPA 781) tahun 1994 (*Adopted Manufacturer's Instalation Standard For Instalation Of*

Early Streamer Emission Lightning Rod Systems)

Tabel 10 Radius *E F* International pada Gedung

Tinggi dalam meter	ΔL	Radius dalam meter
5	50	95
10	51,8	100
20	57	110
30	64	120
40	71,5	130
50	80	140
60	90	150
70	100	160
80	111	170
90	123	180
100	134	190
110	146	200

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka jumlah terminal udara yang digunakan sebanyak 8 sampai 9 batang dengan ketinggian penangkal petir 10 meter.

KESIMPULAN

Perancangan instalasi penangkal petir harus memperhatikan beberapa hal antara lain:

1. Intensitas dan besar arus yang dialirkan ketika terjadi sambaran petir.
2. Spesifikasi komponen peralatan penangkal petir yang digunakan.
3. Tahanan jenis tanah lokasi harus memenuhi standar.
4. Nilai tahanan pentanahan harus memenuhi standar yang berlaku.
5. Peralatan yang ada di dalam gedung atau fungsi gedung.

DAFTAR RUJUKAN

Arismunandar, Artono, 1994 *Teknik Tegangan Tinggi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta

- Frydenlund. 1993. *Lightning Protection for People and Property*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Harten, Van 1999. *Instalasi Listrik Arus Kuat 3*. CV. Trimitra Mandiri. Jakarta
- Heary bross *Lightning Protection Master Specification Lightning Protection Systems For Early Streamer Emission Air Terminal Systems – Faraday Multy – Point Systems* – Springville, New York 14141
- Hutauruk T.S 1991 *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*, Penerbit Erlangga. Jakarta
- Internet. 1996 *Introduction About *E.F* Lightning Protection*
- Internet. 1995 *Introduction About Lightning Prevecron*
- Internet, 1995 *Introduction About Indelec Prevecron*
- Karel, Pijpaert, *Peraturan Umum Untuk Elektrode Bumi dan Penghantar Bumi* Published at the Internet, Januari 1999 [Http://www:elektroindonesia.com](http://www:elektroindonesia.com)
- Martin A. Uman, Rakov. Vladimir. 1997 *Learning About Lightning* University of Florida Research Explore magazine Volume 3 Issue
- Martin A.Uman. 1995 *About Lightning Bolt*. Inc Publised at the Internet
- NFPA.781-1994 *Installation Of A Lightning System Using ESE Air Terminal* Lightning Prevetron USA
- NF C 17-102 *Standard Apendix B* Indelec Prevecron. France
- Published at the Internet – July 1995
- Panitia Penyusun PUIPP Maret 1983. *Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) Untuk Bangunan Di Indonesia*.
- PUIL 1977 (*Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia*), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta
- PT. Aman Berkah Sejahtera *System Proteksi Terpadu* ([Http://www:petir.com](http://www:petir.com))
- Zoro, Reynaldo, 1987, *Perlindungan Terhadap Tegangan Lebih Petir*. Badan Pelaksana Prokerma PLN-ITB Pendidikan Sarjana Elektro ITB
- Zoro, Reynaldo, Hidayat Syarif, Laksmiwati Hira, *Sistem Deteksi Petir Dan Sistem Informasi Petir Indonesia – JADPEN* Jurnal Teknik Tegangan Tinggi Indonesia, FOSTU, Vol. 1 No. 1 September 1999