

Penelitian Muhammad Ilham tahun 2015, menjelaskan tentang perancangan sistem proteksi eksternal dengan metode sudut lindung (*Protective Angle Methode*) pada gedung Rektorat UIN Suska Riau. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode konvensional yaitu metode sudut lindung (*protective angle methode*) di gedung Rektorat UIN Suska Riau. Dari analisa yang dilakukan dengan menggunakan metode sudut lindung, maka sistem proteksi petir eksternal yang sudah ada belum melindungi gedung Rektorat secara optimal dengan panjang terminasi udara 40 cm. Namun setelah dilakukan perancangan dengan menambahkan panjang terminasi udara 3 meter dan diatur ulang peletakan terminasi udaranya gedung terproteksi dengan optimal. Penulis menjadikan penelitian ini sebagai penelitian terkait karena penelitian ini juga dilakukan di gedung Rektorat UIN Suska Riau. Kelebihan penelitian penulis terletak pada metode yang digunakan. Penelitian ini menggunakan metode konvensional dimana metode konvensional memiliki beberapa kekurangan diantaranya menunggu kedatangan petir (pasif), jumlah penangkal petir sebanding dengan luas struktur bangunan yaitu tujuh buah untuk gedung Rektorat, apabila salah satu finial mengalami kerusakan maka akan membuat sistem proteksi tersebut menjadi tidak optimal, memerlukan banyak material, serta dapat merusak estetika bangunan. Kelebihan penelitian ini adalah penelitian ini merancang sistem proteksi menggunakan Metode Non Konvensional jenis *Early Streamer Emission (ESE)* yang memiliki beberapa kelebihan diantaranya bersifat aktif, radius proteksi tinggi, mudah dalam pemasangan, tidak mengganggu estetika bangunan serta jumlah penangkal petir yang dibutuhkan cukup satu buah untuk satu bangunan.

Penelitian Irfan Kurniadi Saripudin tahun 2015, menjelaskan tentang perencanaan sistem proteksi petir eksternal pada area loading terminal PT. Pertamina Field Bunyu Kalimantan Utara aset V. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Early Stremes Emission* jenis *EF Lightning Protection System*. Untuk melindungi seluruh area loading terminal PT.Pertamina diperlukan sebanyak tiga buah saja karena satu proteksi petir saja bisa mengcover 37994 m² sedangkan luas seluruh area loading terminal yang harus dilindungi seluas 88812,11 m². Perbedaan penelitian ini dengan penelitian penulis terletak pada jenis *Early Streamer Emission* yang digunakan serta kelebihan penelitian penulis adalah merancang keseluruhan dari sistem proteksi petir eksternal dengan hasil akhir berupa gambar rancangan.

Penelitian Rian Supriadi tahun 2016, menjelaskan tentang perancangan sistem proteksi eksternal petir menggunakan metode non konvensional jenis *Early Streamer*

Emission di Masjid Al-Jami'ah UIN Suska Riau. Penelitian ini dilakukan di Masjid Al-Jami'ah UIN Suska Riau dengan melakukan evaluasi terlebih dahulu menggunakan metode konvensional yaitu metode bola bergulir. Dari hasil evaluasi didapatkan bahwa sistem proteksi petir yang terpasang saat ini hanya mampu melindungi 2,3 persen dari luas struktur bangunan. Namun setelah dilakukan perancangan sistem proteksi petir dengan Metode Non Konvensional jenis *Early Streamer Emission (ESE)* diperoleh besar daerah perlindungan yang sangat luas, yaitu sebesar 99,3 persen. Keterkaitan penelitian ini dengan penelitian penulis terletak pada metode yang digunakan yaitu menggunakan metode *Early Streamer Emission*. Namun memiliki perbedaan yaitu penelitian ini dilakukan di Masjid Al-Jami'ah UIN Suska Riau sedangkan penelitian penulis dilakukan di gedung Rektorat UIN Suska Riau. Kelebihan penelitian penulis adalah melakukan perancangan secara keseluruhan dari sistem proteksi petir eksternal yaitu terminal udara, konduktor penyalur serta terminasi bumi. Sedangkan penelitian ini hanya melakukan perancangan pada terminal udaranya saja.

Kelebihan lain penelitian ini adalah penelitian ini merancang sistem proteksi petir eksternal secara keseluruhan dengan hasil akhir berupa gambar rancangan secara lengkap dari terminal udara, konduktor penyalur serta terminasi bumi. Nantinya penelitian ini akan digunakan oleh Bapak Nurman Indra selaku ketua teknisi sebagai bahan acuan untuk melakukan rekondisi ulang proteksi petir eksternal gedung Rektorat UIN Suska Riau. Berdasarkan hal tersebut, menguatkan penulis untuk melakukan penelitian dengan judul "Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal dengan Metode *Early Streamer Emission* pada Gedung Rektorat UIN Suska Riau".

2.2 Definisi Petir

Definisi petir menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Indonesia adalah fenomena alam yang merupakan pelepasan muatan elektrostatik yang berasal dari badai guntur. Petir atau halilintar merupakan peristiwa alam yang sering terjadi di bumi, terjadinya petir biasanya mengikuti peristiwa hujan baik air maupun es, peristiwa ini dimulai dengan munculnya kilatan cahaya sesaat atau lidah api listrik yang bercahaya terang yang terus memanjang ke arah bumi dan kemudian diikuti suara yang menggelegar. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya. Dimana kecepatan cahaya sebesar 299.792.458 m/s akan lebih dulu kita tangkap di bandingkan dengan kecepatan suara yang hanya 340,29 m/s.

Petir adalah salah satu fenomena alam yang paling kuat dan menghancurkan. Petir terjadi karena adanya pemanpatan dan pemuaiian udara di sekitar sambaran kilat. Sambaran kilat sendiri lebih panas lima kali dari panas permukaan matahari atau sekitar 15.000 hingga 20.000 °C. Begitu panasnya udara tersebut membuat udara tersebut memuai dengan sangat banyak dalam waktu yang sangat singkat sehingga tumbukan udara yang memuai secara cepat tadi dengan udara sekitar akhirnya terjadilah suara guruh atau guntur yang sangat keras. Kekuatan petir yang pernah tercatat yaitu mulai dari ribuan amper sampai 200.000 amper. Meskipun arus petir hanya sesaat kira-kira selama 200 micro-detik tapi hasil kerusakan yang ditimbulkan sangat luar biasa. Kilatan cahaya petir yang mengandung arus listrik sangat kuat tersebut dapat merusak apa saja yang dilaluinya. Bagi manusia dan bangunan, petir dapat menyebabkan kematian, kerusakan pada bangunan dan kebakaran. Sedangkan bagi peralatan listrik dan elektronik sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan fatal akibat surja arus dan tegangan dari sambaran petir (Suprijono, 2014).

Pada lapisan atmosfer bertebaran gumpalan-gumpalan awan yang diantaranya terdapat awan yang bermuatan listrik. Awan bermuatan listrik tersebut terbentuk pada suatu daerah dengan persyaratan:

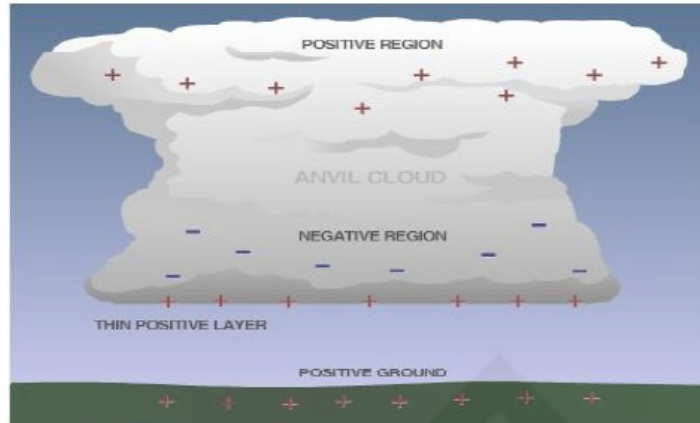
1. Kondisi udara yang lembab (konsentrasi air yang banyak)
2. Gerakan angin ke atas
3. Terdapat inti Higroskopis

Kelembaban terjadi karena adanya pengaruh sinar matahari yang menyebabkan terjadinya penguapan air di atas permukaan tanah (daerah laut, danau). Sedangkan pergerakan udara ke atas disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan akibat daerah yang terkena panas matahari bertekanan lebih tinggi atau karena pengaruh angin. Di samping itu terdapat Inti Higroskopis sebagai inti butir-butir air di awan akibat proses kondensasi. Ketiga unsur inilah yang diperlukan untuk menghasilkan awan guruh/awan *Commulonimbus* yang bermuatan negatif yang karakteristiknya berbeda-beda sesuai dengan kondisi tempatnya. Muatan awan bawah yang negatif akan menginduksi permukaan tanah menjadi positif maka terbentuklah medan listrik antara awan dan tanah (permukaan bumi). Semakin besar muatan yang terdapat di awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi dan bila kuat medan tersebut telah melebihi kuat medan tembus udara ke tanah, maka akan terjadi pelepasan muatan listrik sesuai dengan hukum kelistrikan, peristiwa inilah yang disebut petir (Putra, 2009).

2.3 Mekanisme terjadinya petir

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

Ketika langit berawan, tidak semua awan adalah awan petir. Hanya awan *Cummulonimbus* yang menghasilkan petir. Sumber terjadinya petir adalah awan guruh atau awan *Cummulonimbus* yang berbentuk gumpalan dengan ukuran vertikal lebih besar dari ukuran horizontal. Ukuran vertikal dapat mencapai 14 km dan ukuran horizontal berkisar 1,5 sampai 7,5 km. Karena ukuran vertikalnya jauh lebih besar maka 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 lebih di atas, butiran air bagian bawah yang temperturnya 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 maka terjadilah pelepasan muatan listrik. Petir terjadi karena pelepasan muatan listrik dari satu awan *Cummulonimbus* ke awan lainnya, atau dari awan langsung ke bumi (Hutagaol, 2010).



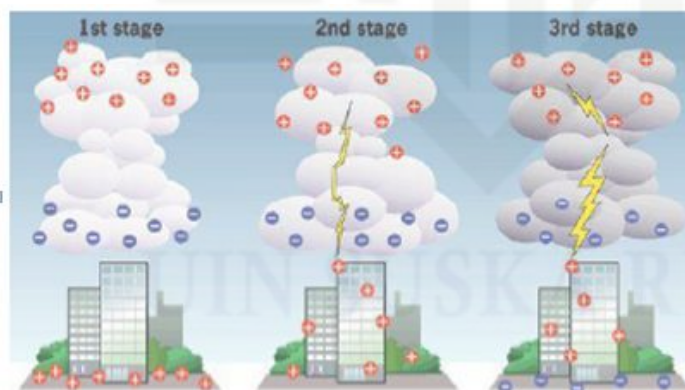
Gambar 2.1 Proses terjadinya petir
(Sumber : Sekti, 2015)

Ada 2 dasar teori yang menjelaskan proses terjadinya petir yaitu :

1. Proses Ionisasi

Petir terjadi diakibatkan terkumpulnya ion bebas bermuatan negatif dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair.

Ion bebas menempati permukaan awan dan bergerak mengikuti angin yang berhembus, bila awan-awan terkumpul di suatu tempat maka awan bermuatan akan memiliki beda potensial yang cukup untuk menyambar permukaan bumi maka inilah yang disebut petir.



Gambar 2.2 Proses ionisasi terjadinya petir
(Sumber : Sekti, 2015)

2. Proses gesekan antar awan

Pada awalnya awan bergerak mengikuti arah angin, selama proses pergerakan ini awan saling bergesekan antara satu dengan yang lainnya, dari proses inilah timbulnya elektron-elektron bebas yang memenuhi permukaan awan. Proses ini seperti kita

menggosokkan penggaris plastik pada rambut. Penggaris ini akan mampu menarik potongan-potongan kertas dalam beberapa saat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti serta di tambah dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda, misalnya muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehingga menimbulkan pelepasan di antara awan itu sendiri atau proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya sehingga menyebabkan arah peluahan atau petirnya juga terbalik (Hutagaol, 2010).

2.4 Macam-Macam Petir

Secara garis besar jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan polaritas muatan, yakni :
 - a. Muatan Positif
 - b. Muatan negatif
2. Berdasarkan arah sambaran, yakni :
 - a. Arah ke bawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
 - b. Arah ke atas (awan), disebut *upward lightning*
3. Berdasarkan jenis sambaran, yakni :
 - a. Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*)
 - b. Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*)
 - c. Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*)

2.5 Parameter Petir

Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir terutama yang berkaitan dengan usaha-usaha sistem proteksi petir. Parameter petir terdiri atas beberapa hal, antara lain :

1. Bentuk gelombang arus petir

Bentuk gelombang arus petir menggambarkan besar arus, kecuraman kenaikan arus, serta durasi gelombang. Pada kenyataannya, bentuk gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya, bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian lainnya, akan tetapi pada satu kilat dengan sambaran ganda. Bentuk gelombang arus petir bisa berbeda cukup lumayan antara sambaran petir pertama dengan sambaran susulan. Bentuk gelombang arus petir dinyatakan dalam dua besaran, yakni waktu muka (T_f) yang menyatakan lamanya muka gelombang dan kecuraman arus petir (T_r).

2. Arus puncak petir

Parameter arus puncak petir menentukan kenaikan temperatur pada peralatan yang disambar. Biasanya, nilai arus puncak ini digunakan dalam menyatakan suatu gelombang impuls petir. Arus puncak petir akan menentukan jarak sambaran petir terhadap bangunan.

Menurut standar SNI 03-7015 tahun 2004, hubungan antara parameter-parameter arus petir dengan tingkat proteksi bangunan terhadap sambaran petir akan ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.1. Hubungan parameter arus petir dengan Tingkat Proteksi bangunan

Parameter Arus Petir		Tingkat Proteksi		
		I	II	III – IV
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan ideal	Q total (C)	300	225	150
Muatan impuls	Q impuls (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (kJ/Ω)	10000	5600	2500
Kecuraman rata-rata	di/dt 30/90% (kJ/μS)	200	150	100

Sumber : SNI 03-7015 (2004)

3. Kerapatan sambaran petir (N_g)

Kerapatan sambaran petir ke bumi (N_g) menyatakan aktifitas petir atau sambaran petir ke bumi dalam rentang satu tahun di suatu wilayah. Parameter ini dinyatakan dalam sambaran ke bumi per kilometer persegi pertahun.

Kerapatan sambaran petir (N_g) berdasarkan SNI 03-7015 tahun 2004 dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} / \text{km}^2 / \text{tahun} \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan :

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (/km²/tahun)

T_d = Jumlah hari guruh pertahun

4. Kecuraman gelombang

Kecuraman gelombang merupakan parameter petir yang menyatakan kecepatan kenaikan arus petir dalam setiap satuan waktu (di/dt). Semakin besar nilai arus dalam setiap satuan waktu, berarti semakin curam bentuk gelombang arusnya dan makin pendek durasi muka gelombang (Hutagaol, 2010).

2.6 Efek Sambaran Petir

Seerti yang kita ketahui efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, terhadap bangunan, terhadap telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi peralatan tersebut yang berakibat buruk seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup.

2.6.1 Efek Sambaran Petir Secara Langsung

Kerusakan akibat sambaran petir secara langsung biasanya mudah diketahui, di karena sambaran petir terlihat jelas dengan mata kita sendiri seperti sambaran petir menyambar sebuah gedung dan sekaligus peralatan listrik atau elektronik yang ada di dalamnya yang mengakibatkan kebakaran gedung dan kerusakan yang parah pada peralatan elektronik, kontrol, komputer, jaringan data dan sebagainya.

1. Sambaran Petir Langsung Melalui Bangunan

Sambaran petir yang langsung mengenai struktur bangunan rumah, kantor dan gedung, tentu saja hal ini sangat membahayakan bangunan tersebut beserta seluruh isinya karena dapat menimbulkan kebakaran, kerusakan perangkat elektrik/elektronik atau bahkan korban jiwa.

2. Kerusakan terhadap manusia

Tubuh manusia merupakan jenis penghantar listrik yang baik di karenakan di dalam tubuh manusia terdapat 95% kandungan air, sehingga apabila aliran listrik dari sambaran petir mengenai tubuh manusia, maka organ-organ tubuh yang dilalui oleh aliran listrik tersebut akan mengalami kejutan, bahkan dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung yang berujung kematian dan dapat menghanguskan tubuh manusia (Putra, 2009).

2.6.2 Efek Sambaran Petir Secara Tidak Langsung

Kerusakan akibat sambaran tidak langsung terjadi karena petir menyambar suatu lokasi yang berdampak ke lokasi lainnya, misalnya suatu menara transmisi atau telekomunikasi yang 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.

1. Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik

Bahaya sambaran ini terjadi karena petir menyambar dan mengenai sesuatu di luar area bangunan akan tetapi berdampak pada jaringan listrik di dalam bangunan tersebut. Hal

ini karena sistem jaringan distribusi listrik atau PLN memakai kabel udara terbuka dan letaknya sangat tinggi, bilamana ada petir yang menyambar pada kabel terbuka ini maka arus petir akan tersalurkan ke pemakai langsung. Cara penanganannya adalah dengan cara memasang perangkat arrester sebagai pengaman tegangan lebih (*over voltage*).

2. Sambaran Petir Melalui Jaringan Telekomunikasi

Bahaya sambaran petir jenis ini berdampak pada perangkat telekomunikasi seperti telepon dan PABX. Penanganannya dengan cara pemasangan arrester khusus untuk jaringan PABX yang di hubungkan dengan grounding. Bila bangunan yang akan di lindungi mempunyai jaringan internet yang koneksinya melalui jaringan telepon maka alat ini juga dapat melindungi jaringan internet tersebut.

2.7 Besarnya Kebutuhan Bangunan Akan Sistem Proteksi Petir

Banyaknya kerusakan yang terjadi akibat sambaran petir langsung maupun tidak langsung menyebabkan suatu bangunan membutuhkan perlindungan berupa suatu sistem proteksi petir. Kebutuhan bangunan akan sistem 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 dari standar yang dipilih dan digunakan.

Perlindungan pada bangunan terhadap sambaran petir sangat dianjurkan, karena akibat sambaran petir pada bangunan bukan hanya akan merusak struktur bangunan, melainkan manusia dan peralatan elektronik yang ada di dalamnya. Letak, ukuran dan bentuk bangunan akan mempengaruhi sukar atau mudahnya bangunan tersebut tersambar dan apakah sambaran akan menimbulkan kerusakan yang parah atau tidak (Tabrani, 2009).

Instalasi-instalasi bangunan berdasarkan tata letak, bentuk, dan penggunaannya dianggap mudah terkena sambaran petir maka perlu diberikan penangkal petir adalah :

1. Bangunan-bangunan tinggi, seperti menara, gedung bertingkat, cerobong pabrik.
2. Bangunan-bangunan penyimpanan yang bahan nya mudah terbakar atau meledak, seperti pabrik amunisi, gudang penyimpanan bahan peledak, gudang penyimpanan cairan atau gas yang mudah terbakar, dan lain-lain.
3. Bangunan-bangunan untuk umum, seperti gedung pertunjukan, gedung sekolah, stasiun, dan lain-lain.
4. Bangunan-bangunan yang berdasarkan fungsi khusus perlu dilindungi secara baik, misalnya museum, gedung arsip negara, dan lain-lain.

Ada beberapa standar untuk menentukan besarnya kebutuhan bangunan akan sistem proteksi petir. Dalam hal ini, penulis menggunakan 2 standar, yaitu perkiraan bahaya bangunan menurut Standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) tahun 1983 dan tingkat proteksi bangunan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015 tahun 2004.

2.7.1 Menurut Standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP)

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan instalasi penangkal petir, ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang ditimbulkan apabila bangunan tersebut tersambar petir. Besarnya keperluan pemasangan sistem penangkal petir pada suatu bangunan ditentukan oleh penjumlahan indeks-indeks berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) tahun 1983 yang mewakili keadaan dilokasi gedung tersebut.

Penjumlahan indeks-indeks ini akan menghasilkan nilai perkiraan bahaya bangunan akibat sambaran petir. Nilai-nilai indeks yang terdapat dalam standar PUIPP akan ditunjukkan pada tabel-tabel di bawah ini :

Tabel 2.2. Indeks A – Berdasarkan penggunaan dan isi

No	Penggunaan dan isi	Indeks A
1	Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	-10
2	Bangunan dan isinya jarang digunakan	0
3	Bangunan tempat tinggal, toko, pabrik kecil	1
4	Bangunan dan isinya cukup penting misalnya menara air, pabrik, gedung pemerintahan	2
5	Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monumen sejarah yang penting	3
6	Instalasi gas, minyak atau bensin, dan Rumah Sakit	5
7	Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya, misalnya instalasi nuklir	15

Sumber : PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Tabel 2.3. Indeks B - Macam konstruksi bangunan

No	Konstruksi bangunan	Indeks B
1	Seluruh bangunan terbuat dari logam (mudah menyalurkan arus listrik)	0
2	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam	1
3	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap bukan logam	2
4	Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Sumber: PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Tabel 2.4. Indeks C - Tinggi bangunan

No	Tinggi bangunan (m)	Indeks C
1	0 sampai dengan 6	0
2	> 6 sampai dengan 12	2
3	> 12 sampai dengan 17	3
4	> 17 sampai dengan 25	4
5	> 25 sampai dengan 35	5
6	> 35 sampai dengan 50	6
7	> 50 sampai dengan 70	7
8	> 70 sampai dengan 100	8
9	> 100 sampai dengan 140	9
10	> 140 sampai dengan 200	10

Sumber: PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Tabel 2.5. Indeks D - Situasi bangunan

No	Tinggi bangunan sampai dengan.....(m)	Indeks D
1	Pada tanah datar di semua ketinggian	0
2	Di kaki bukit sampai $\frac{3}{4}$ tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter	1
3	Di puncak gunung atau pegunungan lebih dari 1000 meter	2

Sumber: PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Tabel 2.6. Indeks E – Hari guruh pertahun

No	Jumlah hari guruh pertahun	Indeks E
1	2	0
2	4	1
3	8	2
4	16	3
5	32	4
6	64	5
7	128	6
8	256	7

Sumber : PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Tabel 2.7. Indeks F - Perkiraan bahaya

R=A+B+C+D+E	Prakiraan Bahaya	Pengamanan
<11	Diabaikan	Tidak Perlu
11	Kecil	Tidak Perlu
12	Sedang	Dianjurkan
13	Agak Besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat Dianjurkan
>14	Sangat Besar	Sangat Perlu

Sumber : PUIPP untuk bangunan di Indonesia

Nilai indeks-indeks pada tabel 2.2 sampai dengan tabel 2.6 di atas kemudian dijumlahkan untuk menentukan nilai prakiraan bahaya bangunan akibat sambaran petir berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) tahun 1983 dengan persamaan berikut :

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots (2.2)$$

keterangan :

- R = Perkiraan bahaya bangunan akibat sambaran petir
- A = Bahaya berdasarkan jenis bangunan
- B = Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
- C = Bahaya berdasarkan tinggi bangunan
- D = Bahaya berdasarkan situasi bangunan
- E = Bahaya berdasarkan hari guruh yang terjadi

Apabila data-data yang ada dimasukkan dalam persamaan diatas, maka selanjutnya dapat diambil kesimpulan mengenai perlu atau tidaknya sistem proteksi petir eksternal yang digunakan. Jika nilai $R > 13$, maka bangunan tersebut dianjurkan menggunakan sistem proteksi petir. 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 proteksi petir.

2.7.2 Tingkat Proteksi Bangunan Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004

Maksud dari pemilihan tingkat proteksi adalah untuk mengurangi resiko kerusakan oleh sambaran petir langsung ke bangunan atau ke ruang yang diproteksi. Tingkat proteksi bangunan yang memadai untuk sistem proteksi petir ditentukan berdasarkan parameter-parameter menurut SNI 03-7015 tahun 2004. Standar ini memuat ketentuan-ketentuan mengenai sistem proteksi petir pada bangunan gedung.

Terdapat beberapa parameter dalam standar SNI 03-7015 tahun 2004 untuk menentukan tingkat proteksi bangunan terhadap sambaran petir, antara lain :

1. Area cakupan ekivalen (A_e)

Area cakupan ekivalen dari bangunan gedung adalah area permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan. Nilai A_e berdasarkan SNI-03-7015 tahun 2004 dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

A_e = Area cakupan akivalen (m^2)

a = Panjang bangunan (m)

b = Lebar bangunan (m)

h = Tinggi bangunan (m)

Sedangkan kerapatan sambaran petir ketanah dipengaruhi oleh rata-rata guruh tahunan di daerah tersebut, hal ini ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T_d^{1.56} / km^2 \text{tahun} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/ Km^2 /tahun)

T_d = Jumlah hari guruh pertahun

2. Frekuensi tahunan sambaran petir langsung (N_d)

Frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung (N_d) ke bangunan berdasarkan SNI-03-7015 tahun 2004 dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

N_d = Frekuensi tahunan sambaran petir langsung (per tahun)

3. Efisiensi sistem proteksi petir (E)

Nilai efisiensi sistem proteksi petir bangunan yang dikehendaki sebaiknya ditentukan sebagai fungsi frekuensi sambaran petir langsung (N_d) ke bangunan, dan frekuensi tahunan rata-rata sambaran petir langsung (N_c). Nilai N_c berdasarkan SNI-03-7015 tahun 2004 adalah sebesar 10^{-1} . Efisiensi sistem proteksi petir (E) berdasarkan SNI-03-7015 tahun 2004 dihitung dengan persamaan berikut :

$$E > 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Nilai efisiensi sistem proteksi petir (E) dapat menentukan tingkat proteksi bangunan yang ditunjukkan tabel berikut :

Tabel 2.8. Efisiensi sistem proteksi petir dengan tingkat proteksi

Efisiensi (E) (%)	Tingkat Proteksi
0,98	I
0.95	II
0.90	III
0,80	IV

Sumber : SNI-03-7015 (2004)

2.8 Rancangan Sistem Proteksi Petir (SPP)

Perancangan instalasi sistem proteksi petir meliputi sistem proteksi internal dan sistem proteksi eksternal. Sistem proteksi internal berarti proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Sedangkan sistem proteksi eksternal adalah instalasi alat-alat proteksi di luar struktur bangunan. Hal-hal yang berkaitan dengan sistem proteksi, teknologi dan biaya investasi yang diperlukan ditentukan oleh tingkat perlindungan sistem proteksi petir yang diinginkan. Sedangkan tingkat perlindungan ditentukan oleh jenis, tipe dan fungsi bangunan dari peralatan yang akan dilindungi serta resiko yang timbul jika terjadi kegagalan perlindungannya.

- Tingkat perlindungan suatu sistem proteksi sambaran petir dikelompokkan menjadi:
1. Tingkat perlindungan biasa atau normal, yaitu untuk bangunan-bangunan biasa yang bila terjadi kegagalan perlindungan tidak menyebabkan bahaya beruntun.
 2. Tingkat perlindungan tinggi, yaitu untuk bangunan-bangunan atau instalasi lain jika terjadi kegagalan perlindungan dapat berbahaya bagi keselamatan jiwa, atau dapat menimbulkan bahaya ikutan yang lebih besar, seperti instalasi peralatan yang mudah meledak, banyak orang berada di dalamnya, dan lain-lain.
 3. Tingkat perlindungan sangat tinggi, yaitu untuk bangunan atau instalasi yang jika terjadi kegagalan perlindungan dapat menyebabkan bahaya yang tidak terkendali seperti pusat instalasi nuklir (Tabrani, 2009).

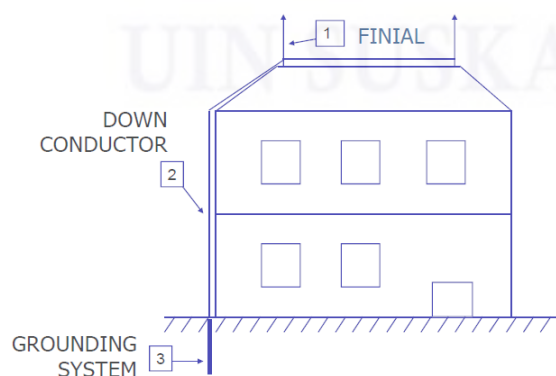
2.9 Sistem Proteksi Petir

Banyaknya kerusakan dan bahaya yang ditimbulkan akibat sambaran petir, maka muncullah berbagai ide dan usaha dalam mengatasi bahaya yang diakibatkan sambaran petir tersebut. Sistem proteksi yang dilakukan bertujuan untuk melindungi bangunan dari sambaran langsung maupun tidak langsung.

2.10 Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem Proteksi Petir Eksternal merupakan instalasi dan alat-alat yang berada di luar suatu struktur bangunan/gedung untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pembumian. Proteksi petir eksternal berfungsi sebagai proteksi tegangan lebih akibat sambaran langsung dari petir yang menuju ke suatu sistem atau bangunan yang di lindungi. Dalam hal ini sistem proteksi petir eksternal pada dasarnya terdiri dari :

- a. Terminasi Udara (*Air Terminal*)
- b. Konduktor Penyalur Arus Petir (*Down Conductor*)
- c. Pembumian (*Grounding*)



Gambar 2.3 Sistem proteksi petir eksternal

(Sumber: Zoro, 2014)

2.11 Terminasi Udara (*Air Terminal*)

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

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

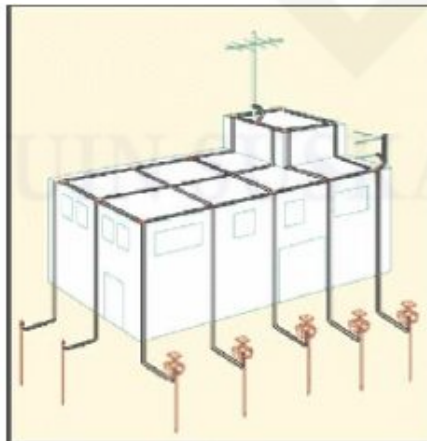
1. Mengalami peningkatan yang signifikan dari metode sebelumnya.
2. Memiliki landasan ilmiah.
3. Telah dipraktekkan dan teruji lebih dari satu dekade.
4. Mempertahankan kesederhanaan sehingga dapat dilakukan penggunaannya secara umum. (Ugahari, 2008)

Dalam penerapannya, ada 2 jenis metode perancangan sistem terminal udara yang digunakan, yaitu Metode Konvensional dan Metode Non Konvensional.

2.11.1 Metode Konvensional

1. Metode jala (*mesh size method*)

Metode ini digunakan untuk keperluan perlindungan permukaan yang datar karena bisa melindungi seluruh permukaan bangunan. Daerah yang diproteksi adalah keseluruhan daerah yang ada di dalam jala-jala.

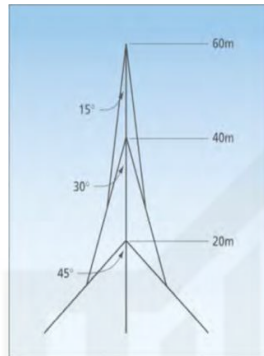


Gambar 2.4 Metode Jala

(Sumber : Zoro, 2014)

2. Metode sudut lindung (*protective angle method*)

Metode Sudut Lindung pertama kali diperkenalkan oleh Benjamin Franklin dengan *Franklin rod*, yaitu alat proteksi petir berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut.



Gambar 2.5 Sistem Metode Sudut Lindung

(Sumber : Ugahari, 2008)

Terminal udara ditempatkan sedemikian rupa sehingga semua bagian bangunan diproteksi berada di sebelah dalam permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik-titik dari terminal udara tersebut dengan sudut α ke garis vertikal dalam semua arah.

Tabel 2.9. Perancangan terminal udara dengan Metode Sudut Lindung

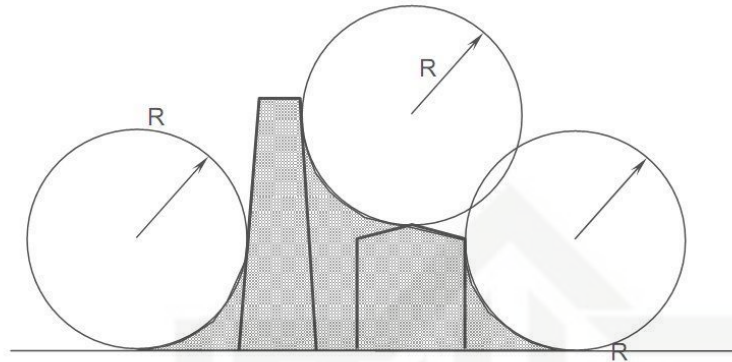
Tingkat Proteksi	Besarnya Sudut Terminal Udara ($^{\circ}$)			
	Ketinggian Bangunan			
	20 m	30 m	45 m	60 m
I	25	-	-	-
II	35	25	-	-
III	45	35	25	-
IV	55	45	35	25

Sumber : SNI-03-7015 (2004)

3. Metode bola bergulir

Untuk menyempurnakan metode terdahulu (Metode Sudut Lindung dan Metode Jala), maka dikembangkanlah suatu metode yang dianggap lebih efisien dan optimal, yaitu Metode Bola Bergulir. Metode bola bergulir sebaiknya digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik 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 (Hosea, 2004).



Gambar. 2.6. Sistem proteksi Metode Bola Bergulir

(Sumber : Prabandoko, 2008)

Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R (Tabel 2.10) yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi.

Tabel 2.10 Perancangan terminal udara dengan Metode Bola Bergulir

Tingkat Proteksi	Radius Bola Bergulir (R) (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Sumber : SNI-03-7015 (2004)

2.11.2 Metode Non Konvensional

Ada beberapa Metode Non Konvensional yang biasa digunakan, antara lain :

1. Ionisasi *Corona*

Sistem ini bersifat menarik 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 atau secara alami. Kelebihan penerapan sistem Ionisasi Korona adalah radius perlindungan yang diberikan terhadap sambaran petir pada bangunan berupa bola radius mencapai 120 meter. Kelemahan penerapan sistem Ionisasi *Corona* adalah radius perlindungan yang diberikan akan melemah seiring bertambahnya umur peralatan (Hermawan, 2010).

2. Radiokatif

Prinsip kerja penangkal petir ini adalah menarik sambaran petir dengan memancarkan bahan radioaktif ke udara. Jenis penangkal petir ini pernah dipasarkan sekitar tahun 1975 hingga tahun 1980. Kelebihan sistem penangkal petir ini adalah membuat jalur petir untuk menyambar penangkal petir agar tidak mengenai struktur bangunan. Kelemahan dari penerapan sistem ini adalah berkurangnya radius perlindungan seiring waktu, dan adanya resiko bahaya radiasi dari bahan radioaktif terhadap kesehatan manusia sehingga belakangan ini tidak digunakan lagi. Bahkan di Indonesia, pemasangan penangkal petir dengan sistem radioaktif sampai sekarang dilarang oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (Hermawan, 2010).

3. *Early Streamer Emission (ESE)*

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

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

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

Prinsip kerja penangkal petir *ESE* sama dengan penangkal petir konvensional, yaitu sebagai tameng atau perisai yang mengambil alih sambaran petir. Perbedaannya terletak pada bagaimana cara mengalihkan sambaran petir tersebut. Penangkal petir konvensional bersifat pasif, yaitu menunggu petir menyambar dengan mengandalkan posisinya yang

lebih tinggi dari objek sekitar, sedangkan penangkal petir non konvensional jenis *ESE* adalah bersifat aktif, yaitu menciptakan emisi keatas untuk menarik sambaran petir.

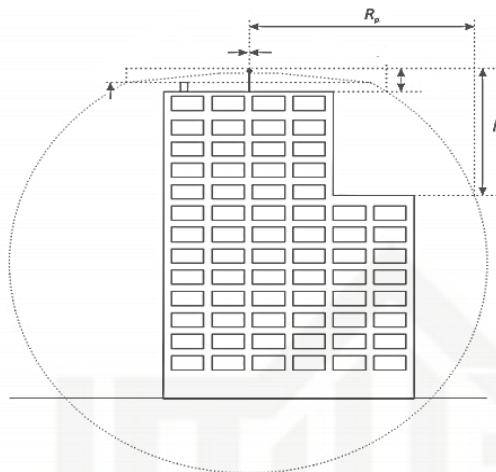
Mekanisme kerja penangkal petir jenis *Early Streamer Emission (ESE)* yakni dengan memanfaatkan energi awan yang melintas. Elektroda yang terpasang di dalam peralatan akan mengumpulkan dan menyimpan energi dari awan yang bermuatan listrik ke dalam kapasitor yang mampu diisi ulang (*Re Load*). Setelah cukup besar baru kemudian dikirim ke unit Ion Generator. Disaat banyak energi petir di atmosfer maka awan menginduksi unit Ion Generator. Informasi ini diolah dalam unit Ion Generator untuk di manfaatkan sebagai pemicu pelepasan energi. Akibat dari pelepasan energi yang menghentak ini akan menghasilkan ionisasi berbentuk lidah api penuntun ke udara (*Streamer Leader*) melalui batang utama penangkal petir jenis *Early Streamer Emission (ESE)*, lidah api penuntun inilah yang kemudian disambut oleh petir. Sambutan sambaran petir akan meniti dari jalur bekas *streamer* yang terjadi sebelumnya, mengikuti sampai ke unit terminal udara yang terpasang. Dengan demikian sambaran petir dapat diamankan menuju satu titik sambaran yang kemudian disalurkan melalui kabel penghantar terminasi bumi (Djafar, 2015).

Penangkal petir jenis *ESE* non konvensional yang banyak digunakan saat ini adalah *Pulsar* (dikembangkan oleh *Helita*, Perancis), *EF* (dikembangkan oleh *EF International*, Swiss) dan *LPI Stormaster* (dikembangkan oleh *LPI*, Australia). Produk *LPI Stormaster* telah lulus uji standar NF C 17 – 102 (Perancis). *LPI Stormaster ESE (Early Streamer Emission)* adalah sistem head terminal yang aman dan efisien untuk melindungi fasilitas dari sambaran petir langsung. Terminal *LPI Stormaster ESE* menangkap energi petir pada titik sambaran utama. *LPI Stormaster ESE* terbagi menjadi 4 tipe yaitu *Stormaster Tipe ESE –15* dengan radius proteksi hingga 75 meter, *Stormaster Tipe ESE – 30* dengan radius proteksi hingga 90 meter, *Stormaster Tipe ESE – 45* dengan radius proteksi hingga 110 meter, dan *Stormaster Tipe ESE – 60* dengan radius proteksi hingga 120 meter (*Lightning Protection International*, 2010).



Gambar 2.7 Perbedaan Sistem Konvensional / SR (*Simple Rod*) dengan *ESE*
(Sumber : *Franklin France*, 2006)

Berdasarkan standar Perancis *NF C 17-102* tahun 2011, sistem proteksi dengan penangkal petir jenis *ESE* ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 2.8 Sistem proteksi dengan penangkal petir jenis *ESE*

(Sumber : *NF C 17-102*, 2011)

Dalam pemasangan penangkal petir jenis *ESE*, tidak terlalu rumit dan konduktor penyalur ke sistem terminasi bumi yang dibutuhkan cukup satu titik saja, sehingga induksi dari sambaran petir yang terjadi ke struktur bangunan akan semakin kecil kemungkinannya.

Berdasarkan standar Perancis *NFC 17-102* tahun 2011, untuk mengetahui besar daerah perlindungan dari penangkal petir jenis *ESE* adalah menghitung parameter-parameter berikut :

1. Ketinggian penangkal petir jenis *ESE* (h)

Ketinggian penangkal petir jenis *ESE* dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$h = \text{puncak ketinggian penangkal petir ESE} - \text{tinggi bangunan terendah} \quad \dots\dots(2.7)$$

2. Nilai r berdasarkan tingkat proteksi

Nilai r telah ditentukan berdasar tabel 2.11 berikut :

Tabel 2.11. Nilai r berdasarkan tingkat proteksi bangunan

Tingkat Proteksi	Nilai r (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Sumber : *NF C 17-102* (2011)

3. Menentukan nilai Δ

Untuk menghitung nilai Δ , digunakan persamaan :

$$\Delta = \Delta T \times 10^6 \dots\dots\dots (2.8)$$

keterangan :

Δ = Efisiensi penangkal petir jenis *ESE* (s)

ΔT = Efisiensi penangkal petir jenis *ESE* dari spesifikasi peralatan

4. Radius perlindungan (R_p)

Besar radius perlindungan (R_p) penangkal petir jenis *ESE* dihitung berdasarkan persamaan :

$$R_p = \sqrt{h(2r - h) + \Delta(2r + \Delta)} \dots\dots\dots (2.9)$$

keterangan :

R_p = Radius perlindungan (m)

Radius perlindungan (R_p) dari sistem terminal udara dengan Metode Konvensional (Metode Bola Bergulir) dan Metode Non Konvensional jenis *ESE* akan menentukan luas daerah perlindungan yang diberikan penangkal petir berupa lingkaran, dengan nilai R_p sebagai jari-jari lingkaran.

Luas daerah perlindungan (A_x) penangkal petir konvensional ataupun penangkal petir jenis *ESE* dihitung dengan persamaan berikut (Sukmawidjaja, 2015) :

$$A_x = \pi \cdot R_p^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

keterangan :

A_x = Luas daerah perlindungan (m²)

Nilai luas daerah perlindungan (A_x) menentukan suatu bangunan dengan luas tertentu akan terproteksi seluruhnya atau tidak yang dinyatakan dalam persen. Untuk mengetahui presentase luas daerah perlindungan yang dari penangkal petir konvensional atau penangkal petir jenis *ESE* dihitung dengan persamaan (Rahmadan, 2016) :

$$\text{Persentase perlindungan} = \frac{A_x}{\text{Luas bangunan}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.11)$$

2.12 Perbedaan Proteksi Petir Konvensional dan Non Konvensional Jenis *Early Streamer Emission (ESE)*

Berikut ini adalah tabel perbandingan proteksi petir konvensional dan non konvensional jenis *ESE* (*Early Streamer Emission*) :

Tabel 2.12 perbandingan proteksi petir konvensional dan non konvensional jenis *ESE*

Proteksi Petir Konvensional	Proteksi Petir Non Konvensional jenis <i>Early Streamer Emission</i>
Pasif	Aktif
Mebutuhkan banyak kabel	Tidak banyak membutuhkan komponen maupun kabel
Daerah perlindungan terbatas, area perlindungan hanya sebatas air terminal yang melekat pada bangunan	Area perlindungan lebih luas antara 50-150 m
Lebih mahal bila diterapkan untuk area perlindungan yang luas	Lebih murah untuk area perlindungan yang luas
Mebutuhkan banyak terminal udara di atap	Hanya membutuhkan 1 terminal udara untuk radius tertentu.
Memiliki kecenderungan mengganggu estetika bangunan	Tidak mengganggu estetika bangunan
Bentuk ujung terminal yang runcing dalam jumlah banyak akan sangat berbahaya bagi pekerja yang bekerja di atap	Lebih aman bagi pekerja yang akan melakukan perawatan

(Sumber : Lasut, 2015)

2.13 Konduktor Penyalur Arus Petir (*Down Conductor*)

Konduktor penyalur (*Down Conductor*) merupakan bagian sistem proteksi eksternal yang berfungsi sebagai penyalur arus petir dari sistem terminasi udara dan diteruskan ke pembumian (*grounding*). Jenis-jenis penghantar penyalur antara lain yaitu :

1. Kawat Tembaga (*BBC = Bare Cooper Cable*)
2. Aluminium (*AAC = All Aluminium Cable*)
3. Campuran Aluminium dan Baja (*ACSR= Aluminium Cable Steel Reinforced*)
4. Kawat Baja yang diberi lapisan tembaga (*Cooper Weld*)
5. Aluminium Puntir Berisolasi (*Twisted Wire*)
6. Kawat baja, dipakai pada kawat petir dan pentanahan

Ukuran diameter atau luasan penampang konduktor khusus untuk konduktor yang akan digunakan pada proteksi petir adapun persamaan yang dapat digunakan yaitu :

$$A_o = I_o \times \sqrt{\frac{8,5 \times 10^{-6} \times S}{\log_{10}\left(\frac{T}{274} + 1\right)}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

A_o = Luas Penampang Minimum

I_o = Arus Puncak Petir

S = Lamanya waktu sambaran petir

T = Temperatur Konduktor yang diijinkan

Adapun standar ukuran minimum bahan sistem proteksi petir penggunaan konduktor penyalur (*Down Conductor*) bisa dilihat dari tabel 2.13 berikut.

Tabel 2.13 Standar Bahan Konduktor Penyalur

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

Sumber : SNI 03-7015-2004

Setelah mengetahui tingkat proteksi bahan konduktor penyalur, maka perlu diketahui cara penempatan yang tepat dengan melihat kondisi bangunan/gedung yang ada agar sambaran petir tidak mengenai gedung, adapun diantaranya bisa dilihat sebagai berikut (Supriadi, 2016):

1. Jika dinding terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar, konduktor penyalur dapat ditempatkan pada permukaan atau di dalam dinding tersebut.
2. Jika dinding tersebut terbuat dari bahan yang mudah terbakar, konduktor penyalur dapat ditempatkan pada permukaan dinding, asalkan kenaikan suhu karena lewatnya arus petir tidak berbahaya untuk bahan dinding.
3. Jika dinding terbuat dari bahan yang mudah terbakar dan kenaikan suhu konduktor penyalur berbahaya, maka konduktor penyalur harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga jarak antara konduktor penyalur dengan ruang terproteksi selalu lebih besar 0,1 m, braket pemasang yang terbuat dari logam boleh melekat pada dinding.

Cara penempatan konduktor penyalur dengan melihat kondisi bangunan yang diproteksi adalah sebagai berikut :

1. Konduktor penyalur eksternal sebaiknya dipasang antara terminasi udara dan sistem terminasi bumi.
2. Konduktor penyalur sebaiknya disambung pada titik simpul sambungan jaringan terminasi udara dan dipasang secara vertical ke titik simpul dari sistem terminasi bumi.

2.14 Sistem Terminasi Bumi (*Grounding System*)

Sistem terminasi bumi ialah menanamkan beberapa elektroda ke dalam tanah dengan cara tertentu untuk mendapatkan tahanan pembumian yang diinginkan, dan berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah/bumi tanpa menyebabkan tegangan lebih yang berbahaya pada manusia maupun peralatan yang terdapat disekitar daerah yang di proteksi. Pada dasarnya ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan jenis elektroda yang digunakan pada sistem pembumian/pentanahan, yaitu sebagai berikut :

1. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang di tanam vertikal di dalam tanah, biasanya dibuat dari bahan tembaga, *stainless steel* atau *galvanized steel*.

2. Elektroda Pelat

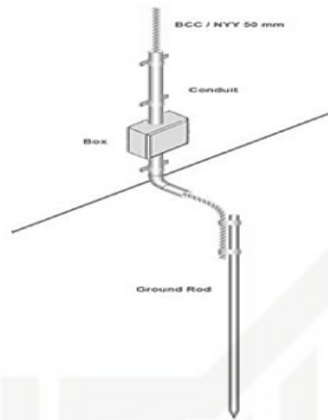
Elektroda pelat biasanya berbentuk empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah yang cara penanaman biasanya secara vertikal, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertikal. Penanaman secara vertikal adalah lebih praktis dan ekonomis.

3. Elektroda Pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang di tanam di dalam tanah secara horizontal sedalam ± 2 feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah – daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

Sistem terminasi bumi (*Grounding System*) terbagi dalam 3 bentuk, diantaranya:

1. *Single Grounding Rod*

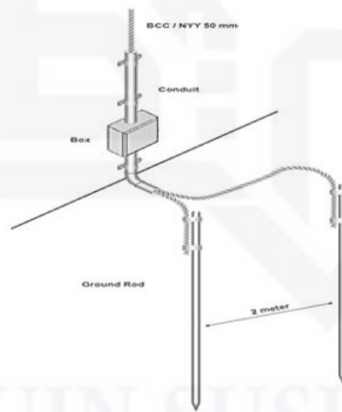


Gambar 2.9 *Single Grounding Rod*

(Sumber : Lasut, 2015)

Grounding system yang hanya terdiri atas satu buah titik penancapan batang (*rod*) pelepas arus atau *ground rod* di dalam tanah dengan kedalaman tertentu (misalnya 6 meter). Untuk daerah yang memiliki karakteristik tanah yang konduktif, biasanya mudah untuk didapatkan tahanan sebaran tanah di bawah 5 ohm dengan satu buah *ground rod*.

2. *Paralel Grounding Rod*

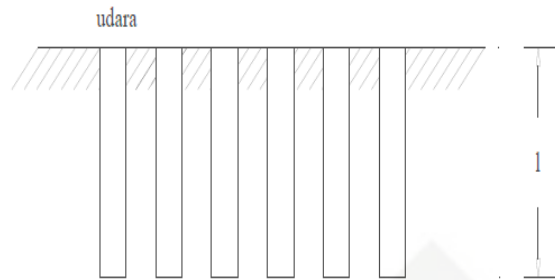


Gambar 2.10 *Paralel Grounding Rod*

(Sumber : Lasut, 2015)

Jika sistem *single grounding rod* masih mendapatkan hasil kurang baik (nilai tahanan sebaran >5 ohm), maka perlu ditambahkan *ground rod* ke dalam tanah yang jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan *ground rod* dapat juga ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa diterapkan secara

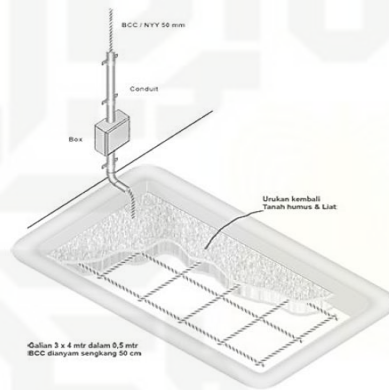
bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistansi kurang dari 5 ohm setelah pengukuran dengan *earth ground tester*.



Gambar 2.11 Susunan beberapa Elektroda secara Paralel

(Sumber : Lasut, 2015)

3. Multi Grounding System



Gambar 2.12 Multi Grounding Rod

(Sumber : Lasut, 2015)

Bila didapati kondisi tanah yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Kering atau air tanah dalam
2. Kandungan logam sedikit
3. Basa (berkapur)
4. Pasir dan berpori (*porous*).

Maka penggunaan 2 cara sebelumnya akan sulit dan besar kemungkinan gagal untuk mendapatkan resistans kecil. Maka dari itu, teknis yang digunakan adalah dengan cara penggantian tanah dengan tanah yang mempunyai sifat menyimpan air atau tanah yang kandungan mineral garam dapat menghantar listrik dengan baik. *Ground rod* ditancapkan pada daerah titik logam dan di kisaran kabel penghubung antar *ground rod*-nya. Tanah humus, tanah dari kotoran ternak, dan tanah liat sawah cukup memenuhi standar hantar tanah yang baik.

Adapun cara pembuatannya adalah sebagai berikut.

1. Letak titik *ground rod* dibor dengan lebar kisaran 2 inci ($\approx 0,0508$ meter) atau lebih.
2. Kemudian, diisi dengan tanah humus sampai penuh.
3. Kemudian, diisi air.
4. Kemudian, *ground rod* dimasukkan.
5. Parit penghubung antar *ground rod* yang sudah terpasang kabel penghubung (BC) ditimbun kembali dengan tanah humus.

Ada beberapa variabel yang dapat memengaruhi performa *grounding system* pada jaringan listrik. Salah satu yang menjadi acuan, yaitu NEC code (1987, 250-83-3), mensyaratkan panjang elektroda *grounding system* minimum 2,5 meter (8 kaki) dihubungkan dengan tanah. Ada empat variabel yang memengaruhi tahanan *grounding system*. Adapun empat variabel tersebut adalah sebagai berikut (Lasut, 2015):

1. Panjang/Kedalaman Elektroda

Satu cara yang sangat efektif untuk menurunkan tahanan tanah adalah memperdalam elektroda. Tanah tidak tetap tahanannya dan tidak dapat diprediksi. Maka dari itu, ketika memasang elektroda, elektroda berada di bawah garis beku (*frosting line*). Ini dilakukan sehingga tahanan tanah tidak akan dipengaruhi oleh pembekuan tanah di sekitarnya. Secara umum, menggandakan panjang elektroda bisa mengurangi tingkat tahanan 40%. Ada kejadian-kejadian di mana secara fisik tidak mungkin dilakukan pendalaman batang elektroda di daerah-daerah yang terdiri atas batu, granit, dan sebagainya. Dalam keadaan demikian, metode alternatif yang dapat digunakan adalah *grounding cement*.

2. Diameter Elektroda

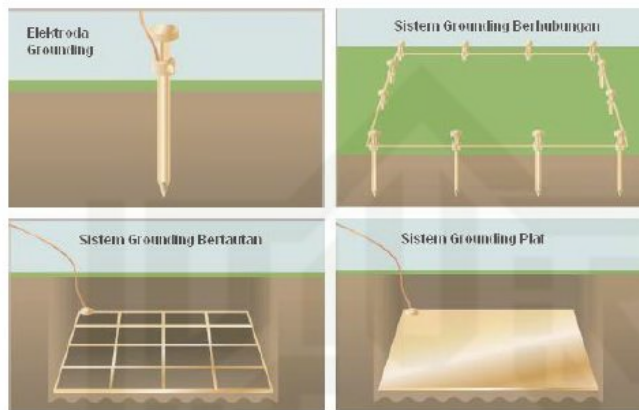
Menambah diameter elektroda berpengaruh sangat kecil dalam menurunkan tahanan. Misalnya, bila diameter elektroda digandakan, maka tahanan *grounding system* hanya menurun sebesar 10%.

3. Jumlah Elektroda

Cara lain menurunkan tahanan tanah adalah dengan menggunakan banyak elektroda. Dalam desain ini, lebih dari satu elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah dan dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan yang lebih rendah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam. Tanpa pengaturan jarak elektroda yang tepat, bidang pengaruhnya akan berpotongan dan tahanan tidak akan menurun.

4. Desain

Grounding system sederhana terdiri atas satu elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah. Penggunaan satu elektroda adalah hal yang umum dilakukan dalam pembuatan *grounding system* dan bisa ditemukan di luar rumah atau tempat usaha perorangan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.13 Desain Sistem Pentanahan (*Grounding System*)

(Sumber : Lasut, 2015)

Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) tahanan pentanahan diusahakan lebih kecil dari 5 ohm, untuk itu perhitungan dalam merancang sistem pentanahan berdasarkan persamaan standar yang sudah ada yaitu sebagai berikut:

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \left[\frac{4l}{a} \right] \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

- R_p = Tahanan pentanahan (Ω)
- ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)
- ℓ = Panjang batang pentanah (m)
- a = Jari-jari batang pentanah (m)

Jarak aman sistem pentanahan dari gedung atau logam terdekat dan tidak terhubung ke sistem penangkap petir dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$D = \frac{1}{5} \times R \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

- R = Tahanan Pentanahan (Ω)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sistem terminasi bumi (*grounding system*) perlu dirancang sedemikian rupa sehingga memperkecil tegangan sentuh agar aman bagi manusia dan peralatan yang terdapat di sekitar daerah bangunan yang diproteksi. Sistem terminasi bumi terdiri dari satu atau lebih elektroda bumi yang dianggap mampu mengalirkan arus petir ke tanah tanpa adanya lompatan tegangan yang berbahaya. Syarat-syarat pemasangan elektroda bumi berdasarkan SNI 03-7015 tahun 2004 antara lain :

1. elektroda bumi harus dipasang di luar ruang terproteksi dengan kedalaman minimal 0,5 meter dan didistribusikan merata mungkin.
2. kedalaman dan jenis elektroda bumi yang harus ditanam sedemikian rupa sehingga mengurangi efek kerusakan seperti korosi.

Adapun ukuran minimum bahan terminasi bumi berdasarkan SNI 03-7015 tahun 2004 yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.14. Ukuran minimum bahan terminasi bumi

Tingkat Proteksi	Bahan	Terminasi bumi (mm ²)
I sampai IV	Tembaga (Cu)	50
	Aluminium (Al)	-
	Besi (Fe)	80

Sumber : SNI 03-7015 (2004)

Tahanan jenis tanah (ρ) dan tahanan pembumian (R_{bt}) suatu elektroda dalam sistem terminasi bumi harus dipertimbangkan.

Nilai tahanan jenis tanah (ρ) ditentukan berdasarkan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000 yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.15. Nilai tahanan jenis tanah (ρ)

No	Jenis Tanah	Nilai Tahanan Tanah (ρ) (Ω m)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan Tanah lading	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan Kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

Sumber : PUIL (2000)

Adapun nilai tahanan pembumian suatu elektroda ditentukan berdasarkan SNI 03-7015 tahun 2004 sesuai dengan tingkat proteksi bangunan ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.16. Standar nilai tahanan pembumian elektroda (R_{bt})

No.	Tahanan jenis tanah (ρ)	Tahanan pembumian (Ω) sehubungan dengan Tingkat Proteksi		
		I	II	III – IV
1	100	4	4	6
2	200	6	6	4
3	500	10	10	10
4	1000	10	15	20
5	2000	10	15	40
6	3000	10	15	60

Sumber : SNI 03-7015 (2004)

Nilai tahanan pembumian elektroda (R_{bt}) yang akan ditanam harus dihitung untuk mencapai standar sesuai Tabel 2.16 di atas. Untuk menentukan nilai tahanan pembumian (R_{bt}) dari elektroda batang tunggal (*single rod*) dihitung dengan persamaan berikut (Hermawan, 2010) :

$$R_{bt} = \frac{\rho}{4\pi l} \times \ln\left(\frac{4(l \cdot l)}{d \cdot h}\right) - 1 \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

keterangan :

R_{bt} = Tahanan pembumian elektroda (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

l = Panjang elektroda (m)

d = diameter bahan elektroda (m)

h = Kedalaman penanaman elektroda (m)

Jika tahanan pembumian yang dihasilkan elektroda batang tunggal (*single rod*) tidak mencapai ohm standar sesuai tabel 2.16 di atas, maka sebaiknya elektroda batang dikombinasikan (*multi rod*) dengan persamaan berikut (Hermawan, 2010) :

$$R_{bt \text{ total}} = \frac{1}{n \times \frac{1}{R_{bt}}} \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

keterangan :

R_{bt} = Tahanan pembumian elektroda (Ω)

n = jumlah elektroda bumi

2.15 Alat Sistem Pentanahan (*Grounding System*)

Adapun beberapa macam alat yang digunakan untuk membuat sistem pentanahan atau terminasi bumi sebagai berikut (Lasut, 2015) :

1. Alat Ukur Resistansi / *Earth Ground Tester*

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui hasil dari resistansi atau tahanan *grounding system* pada sebuah instalasi penangkal petir yang telah terpasang. Alat ukur ini digital, sehingga hasil yang ditunjukkan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Diketahui bahwa pihak Dinas Tenaga Kerja (disnaker) juga menggunakan alat ini untuk mengukur resistansi, sehingga pengukuran oleh pihak kontraktor sama dengan hasil pengukuran pihak disnaker.

2. *Bus Bar Grounding*

Alat ini digunakan sebagai titik temu antara kabel penyalur petir dengan kabel *grounding*. Biasanya terbuat dari plat tembaga atau logam yang berfungsi sebagai konduktor, sehingga kualitas dan fungsi instalasi penangkal petir yang terpasang dapat terjamin.

3. *Copper Butter Connector*

Alat ini digunakan untuk menyambung kabel, dan biasanya kabel yang disambung pada instalasi penangkal petir adalah kabel *grounding system*, karena kabel penyalur pada penangkal petir tidak boleh terputus atau tidak boleh ada sambungan. Setelah kabel tersambung oleh alat ini tentunya harus diperkuat dengan isolasi sehingga daya rekat dan kualitas sambungannya dapat terjaga dengan baik. Penyambungan kabel instalasi penyalur petir konvensional umumnya menggunakan alat ini, karena pada penangkal petir konvensional jalur kabel terbuka hanya dilindungi oleh *conduct* dari PVC.

4. *Ground Rod Drilling Head*

Alat ini berfungsi untuk membantu mempercepat pembuatan *grounding* suatu instalasi penangkal petir, yaitu dengan cara memasang di bagian bawah *copper rod* atau *ground rod* yang akan dimasukkan ke dalam tanah, sehingga *copper rod* atau *ground rod* tersebut: ketika didorong ke dalam tanah akan cepat masuk karena bagian ujung alat ini runcing. Selain itu, alat ini juga dapat menghindari kerusakan *copper rod* ketika dipukul ke dalam tanah.

5. *Ground Rod Drive Head*

Alat ini dipasang di bagian atas *copper rod* atau *ground rod* dan berfungsi untuk menghindari kerusakan *copper rod* atau *ground rod* bagian atas yang akan dimasukkan ke

dalam tanah. Hal tersebut karena pada saat *copper rod* didorong ke dalam tanah dengan cara dipukul, alat pemukul tersebut tidak mengenai *copper rod*, akan tetapi mengenai alat ini.

6. Bentonit

Dalam aplikasi *grounding system*, bentonit digunakan untuk membantu menurunkan nilai resistansi atau tahanan tanah. Bentonit digunakan saat pembuatan *grounding* (jika sudah tidak ada cara lain untuk menurunkan nilai resistansi). Pada umumnya, para kontraktor cenderung memilih menggunakan cara *pararel grounding rod* atau *multi grounding system* untuk menurunkan resistansi.

7. Ground Rod Coupler

Alat ini digunakan ketika kita akan menyambung beberapa segmen *copper rod* atau *ground rod* yang dimasukkan ke dalam tanah, sehingga *copper rod* atau *ground rod* yang masuk ke dalam tanah akan lebih panjang. Misalnya, ketika kita akan membuat *grounding* penangkal petir sedalam 12 meter dengan menggunakan *copper rod*, maka alat ini sangat diperlukan karena *copper rod* yang umumnya ada dipasaran paling panjang hanya 4 meter.

Hak cipta dilindungi undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.