

Analisa Perlindungan Efektif Terhadap Sambaran Petir Pada Tegangan 70/20 KV Gardu Induk Ploso

¹Muhlasin, ²M. Habibi, ³Dwi Ajiatmo, ⁴Rusclin

^{1,2,3,4}Teknik Elektro Universitas Darul 'Ulum, Jombang

Muhlasin.ttg@gmail.com, habibi.m@gmail.com, ajiatmo@gmail.com, ruksli@gmail.com

ABSTRAK

Petir adalah suatu fenomena alam yang timbul bila terjadi banyak kondensasi dari uap air dan ada udara yang naik dengan arus sangat kuat. Hal ini diyakini oleh dunia ilmu pengetahuan dan teknologi setelah melalui banyak pembuktian dan pengamatan. Masalah utama yang menjadi kendala adalah tidak diketahuinya dengan pasti pada detik kapan peristiwa sambarannya terjadi, seberapa besar intensitasnya dan di titik mana sambaran itu mengenai obyeknya, sehingga akan jauh lebih mudah upaya pengamanan bisa dilakukan. Walaupun demikian, ternyata dari banyak pembuktian atas hipotesa-hipotesa yang ada, dapat dilakukan penangkalan terhadap kemungkinan terjadinya sambaran petir dalam suatu ruang lindung tertentu. Dengan pertolongan hipotesa-hipotesa yang ada tersebut, secara teoritis dapat diperhitungkan suatu perencanaan pengamanan terhadap obyek sambaran, misalnya bangunan gedung, pabrik, gudang dan sebagainya. Mengingat Gardu Induk Ploso merupakan fasilitas penting, maka tidak mengherankan jika segala antisipasi telah dilakukan untuk menciptakan rasa aman dan nyaman bagi para karyawan yang ada di dalamnya, terutama terhadap gangguan yang membahayakan, misalnya sambaran petir. Sejauh mana rancangan instalasi petir dalam memproteksi Gardu Induk Ploso. Arrester adalah suatu peralatan yang dirancang untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih dengan jalan membatasi tegangan lebih yang datang dan mengalirkan arus surja ke tanah tanpa mempengaruhi kelangsungan kerja sistem. Dengan kata lain dalam keadaan tidak ada gangguan, arrester bersifat sebagai isolator yang dapat menahan tegangan kerja. Sedang bila suatu saat timbul arus atau tegangan surja maka arrester bersifat sebagai konduktor yang meyalurkan surja tersebut ke tanah.

Kata Kunci : Gardu Induk, Pengaman, Arrester

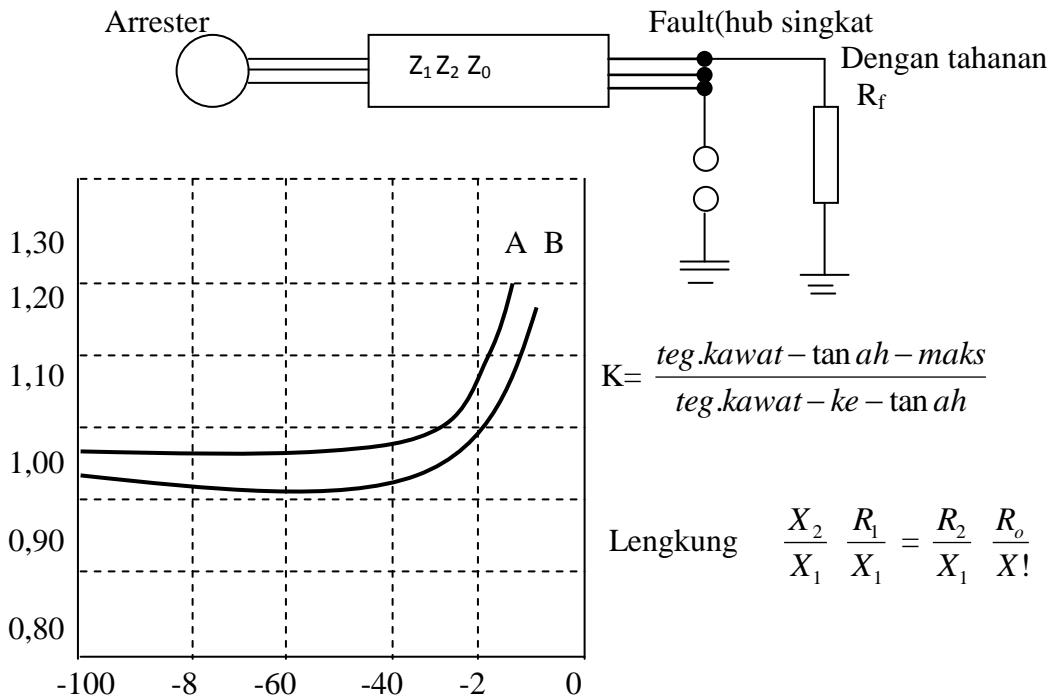
1. PENDAHULUAN

Petir merupakan suatu fenomena alamiah yang terjadi pada atmosfer bawah. Terjadinya suatu kilat atau petir didahului oleh adanya awan petir yang pada kejadiannya kita kenal dengan thunderstorm (hujan angin ribut disertai petir dan guruh). Suatu kilat pada umumnya selalu berhubungan erat dengan adanya awan kumulonimbus yang berada dari dasar ke atas: “300 sampai 18.999 meter”, dan juga dapat muncul pada awan nimbostratus yang berada di “bawah 2500 meter”, dan terkadang terdapat dalam emisi gas dan debu akibat erupsi suatu gunung berapi. Pada sistem tenaga listrik yang dipasang diatas tanah maka, kemungkinannya akan sangat besar sekali terkena sambaran petir. Dan karena arus listrik yang terjadi sangat besar, maka perlu diberi perlindungan terhadap adanya sambaran petir. Dan karena arus listrik yang terjadi sangat besar, maka sistem tenaga listrik, perlu diberi perlindungan terhadap adanya sambaran petir.

Utamanya pada fasilitas-fasilitas umum instansi atau lembaga baik pemerintah maupun swasta telah jauh-jauh hari mengantisipasi gangguan-gangguan. Hal ini juga dilakukan pada GI Ploso, sebagaimana diketahui bahwa GI Ploso sangat memungkinkan akan terjadinya gangguan yang berupa gangguan alam seperti surja hubung atau petir. Arrester adalah suatu peralatan yang dirancang untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih dengan jalan membatasi tegangan lebih yang datang dan mengalirkan arus surja ke tanah tanpa mempengaruhi kelangsungan kerja sistem. Dengan kata lain dalam keadaan tidak ada gangguan, arrester bersifat sebagai isolator yang dapat menahan tegangan kerja. Sedangkan bila suatu saat timbul arus atau tegangan surja maka arrester bersifat sebagai konduktor yang mengalirkan surja tersebut ke tanah. Oleh karena GI Ploso merupakan fasilitas yang sangat diperlukan kesetabilan dan kontinuitas penyaluran sistem tenaga, maka GI harus dilengkapi dengan pengamanan tegangan lebih dan surja hubung dari sambaran petir. Adapun sistem pengamanan tersebut bertujuan untuk menjaga kerusakan serta kebakaran yang diakibatkan sambaran petir.

Pemilihan Arrester

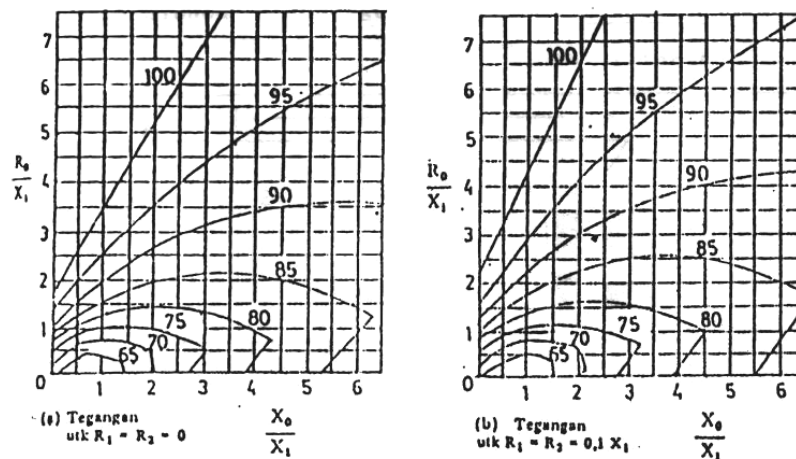
Faktor utama yang menentukan dalam pemilihan arrester adalah macam pembumian oleh karena hal ini menentukan besarnya tegangan kawat maksimum (terhadap tanah) dalam keadaan hubung singkat. Tegangan maksimum ini dapat dihitung bila diketahui konstanta komponen simetris daripada sistem macam hubung singkat dan tanahnya dan macam perbumian. Bila tegangan tidak dapat dihitung dengan teliti maka gambar 3.15. dan gambar 3.16. dapat dijadikan pegangan dalam pemilihan arrester. Lengkung dari gambar 3.15. menunjukkan tegangan kawat ketanah maksimum dalam keadaan hubung singkat untuk sistem tak dibumikan sebagai fungsi dari X_0/X_1 dengan konstanta lain sebagai parameter.



Gambar 1
Tegangan Kawat ketanah Maksimum Dalam keadaan Hubung Singkat

Dalam gambar 3.16. yang berlaku bagi sistem yang dibumikan ditunjukkan R_0/X_1 sebagai fungsi dari X_0/X_1 dengan konstanta lain sebagai parameter. Dalam gambar 3.16. yang berlaku bagi sistem yang dibumikan ditunjukkan R_0/X_1 sebagai fungsi dari X_0/X_1 untuk beberapa harga tegangan kawat ke tanah maksimum dalam keadaan hubung singkat dengan R_1/X_1 sebagai parameter kedua. Lengkung-lengkung menyatakan tegangan maksimum ditempat terjadinya hubung singkat.

Dalam pengetrapan arrester biasanya diberikan kelebihan dari tegangan (5-10%) dari tegangan keadaan normal. Misalnya arrester yang mempunyai tegangan dasar 105 % dari tegangan kawat normal dipakai bila tegangan kawat ketanah dalam keadaan hubung singkat akan menyamai tegangan kawat (V_{LL}). Demikian pula untuk sistem yang dibumikan penuh dimana tegangan kawat ketanah (V_{LG}) tak akan melebihi 80 % V_{LL} , tegangan dasar arrester adalah $1,05 \times 80 \% = 84 \% V_{LL}$, bila $X_0/X_1 = 1$ tegangan kawat ketanah V_{LG} kurang dari 80 % V_{LL} sehingga arrester dengan tegangan dasar kurang dari 84 % dapat dipakai. Adalah tidak ekonomis untuk memberikan tegangan dasar yang selalu tinggi pada arrester untuk menanggulangi semua tegangan lebih. Meskipun demikian kemungkinan rusaknya arrester oleh sebab-sebab itu harus diperhitungkan. Pada prinsipnya bila- ada keragu-raguan mengenai tegangan dasar V_{LG} maksimum harus dihitung.



Gambar 2 Hubungan X_0/X_1 dan R_0/R_1

Untuk menyelidiki kemungkinan pemakaian tingkat isolasi yang lebih rendah karena dipakainya arrester tersebut perhitungan tegangan lebih dilakukan ditempat arrester. Sesudah itu ditambahkan 10 % dari harga yang dihitung dan dicarikan tegangan dasar arrester yang terdekat dengan hasilnya.

Dalam memilih arrester yang sesuai untuk suatu keperluan tertentu beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah :

- Kebutuhan perlindungan : ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arrester.
- Tegangan sistem tegangan yang mungkin timbul pada jepitan arrester.
- Arus hubung singkat sistem
- Jenis arrester apakah arrester jenis gardu, jenis saluran atau jenis distribusi untuk tegangan 69 KV keatas dipakai jenis gardu sedangkan untuk tegangan 23 KV sampai

69 KV salah satu jenis yang telah disebutkan diatas dapat dipakai tergantung pada segi ekonomisnya.

- e. Faktor kondisi luar- apakah normal atau tidak normal (2.000 meter atau lebih diatas permukaan laut) temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran.
- f. Faktor ekonomi ialah perbandingan antara ongkos Pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester atau bila dipasang arrester yang lebih rendah mutunya.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Penangkal Petir Konvensional

Bentuk-bentuk fisik dari petir telah diketahui orang sejak dahulu kala, yang menimbulkan berbagai macam dongeng dan takhayul di kalangan manusia, dan masing-masing bangsa berlainan cara menafsirkannya. Baru pada tahun 1719 seorang ahli fisika keturunan Perancis yang dilahirkan di Boston yang kemudian menetap di Philadelphia (USA) yaitu Benjamin Franklin (1706 – 1790) dengan eksperimennya membuktikan bahwa petir adalah suatu fenomena listrik alam, yaitu terjadinya pelepasan muatan antara awan dengan awan atau antara awan dengan tanah (bumi).

Dengan eksperimen-eksperimen selanjutnya (1752) Benjamin Franklin menemukan cara untuk pengamanan terhadap sambaran petir pada suatu bangunan, yaitu berdasarkan pada proses terjadinya petir itu sendiri. Pada saat *leader* menyambar dari awan, medan elektrostatis antara ujung *leader* dan awan akan naik harganya sehingga akan menimbulkan *upward streamer* dari tanah ke atas menyambut *leader* yang turun dari awan tadi. Untuk selanjutnya dua buah *discharge* tersebut akan saling tarik menarik dan setelah keduanya bertemu maka *discharge* dari awan tersebut diteruskan ke tanah. Demikian pula dengan prinsip kerja penangkal petir Benjamin Franklin, ia memasang batang metal (tembaga) setinggi 9 ft di atas atap rumahnya (September 1752) dan menghubungkannya dengan kawat konduktor ke tanah. Dengan demikian *discharge* yang turun dari awan akan ditarik oleh batang metal tersebut dan diteruskan ke tanah, maka bebaslah bangunan itu dari gaya mekanis maupun elektris dari petir yang menyambar. Sejak itu bangunan-bangunan di Amerika dan Eropa menggunakan penangkal petir versi Franklin.

Dengan adanya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, maka sampai saat ini dikenal tiga jenis penangkal petir yaitu :

1. Penangkal petir konvensional.
2. Penangkal petir radioaktif.
3. Penangkal petir berdasarkan emisi.

Disini hanya akan dibahas dan diuraikan tentang jenis penangkal petir konvensional yang bentuknya sederhana dan sering dipakai serta aman dari bahaya radiasi, yaitu terdiri dari batang metal yang ujungnya runcing dan kawat konduktor yang menghubungkan dengan elektroda tanah. Jenis ini masih banyak digunakan dan cukup efektif, hanya saja daerah perlindungannya (*zone protection*) tidak terlalu luas sehingga perlu digunakan batang penangkal yang banyak untuk memperluas daerah perlindungannya. Sedangkan jenis penangkal petir jenis inkonvensional yaitu penangkal petir radioaktif dan penangkal petir emisi sengaja tidak dibahas di sini.

2.1.1. Jenis Penangkal Petir Konvensional

Penangkal petir konvensional dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

- A. *Franklin Lightning Rod* (batang Franklin)
- B. *Farady Cage* (sangkar Farady)

Pada praktek di lapangan ada juga yang menggunakan gabungan dari kedua jenis tersebut, yang pada hakekatnya mempunyai sifat :

1. Harus dapat mengalirkan petir dengan baik ke tanah.
2. Harus mempunyai daya hantar yang baik.
3. Harus dapat melindungi seluruh bagian dari bangunan yang dilindungi.
4. Harus tahan lama.

2.1.2. *Franklin Lightning Rod (Batang Franklin)*

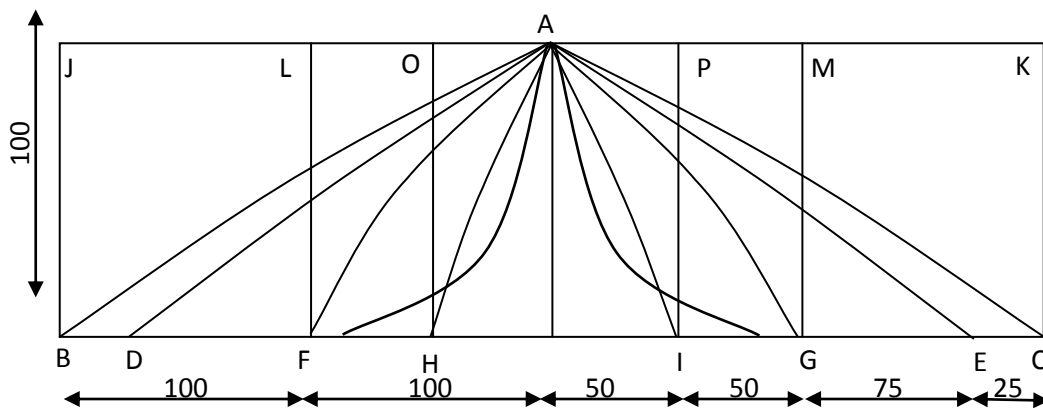
Penemu jenis ini adalah Benjamin Franklin, komponennya terdiri dari sebuah batang metal (tembaga) yang berujung runcing yang dipasang vertikal di puncak sebuah bangunan dan kawat konduktor yang menghubungkannya dengan elektroda tanah. *Franklin lightning rod* mempunyai daerah perlindungan berupa ruang kerucut atau silinder, sehingga untuk satu penangkal tunggal kurang mencukupi untuk melindungi suatu bangunan yang mempunyai area yang luas. Jenis ini (batang tunggal) lebih tepat dipakai pada bangunan-bangunan yang menjulang tinggi seperti menara, cerobong asap dan bangunan lain yang dapat terlindungi oleh daerah perlindungannya. Dengan begitu untuk bangunan yang luas, dibutuhkan lebih dari sebuah batang konduktor vertikal (penangkal)

2.1.3. *Farady Cage (sangkar Farady)*

Kalau pada jenis batang Franklin, batang metal (konduktor) yang dipakai sebagai *air termination* dipasang vertikal, sedangkan pada jenis sangkar Farady ini batang konduktor tersebut dipasang horizontal di atas atap bangunan atau di sepanjang pinggiran atap bangunan. Bangunan-bangunan dengan konstruksi besi dan konstruksi beton bertulang pada dasarnya merupakan sangkar Farady, juga yang bisa memungkinkan sebagai suatu sistem penangkal petir, yaitu seluruh konstruksi terhubung baik dengan elektroda pertanahan.

2.2. Daerah Perlindungan (*Zone Proteccion*) Penangkal Petir Konvensional

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh para pakar, ada banyak hipotesa mengenai daerah perlindungan dari *Franklin Lightning Rod*, yang semuanya saling mempertahankan kebenaran pada penemuan masing-masing.



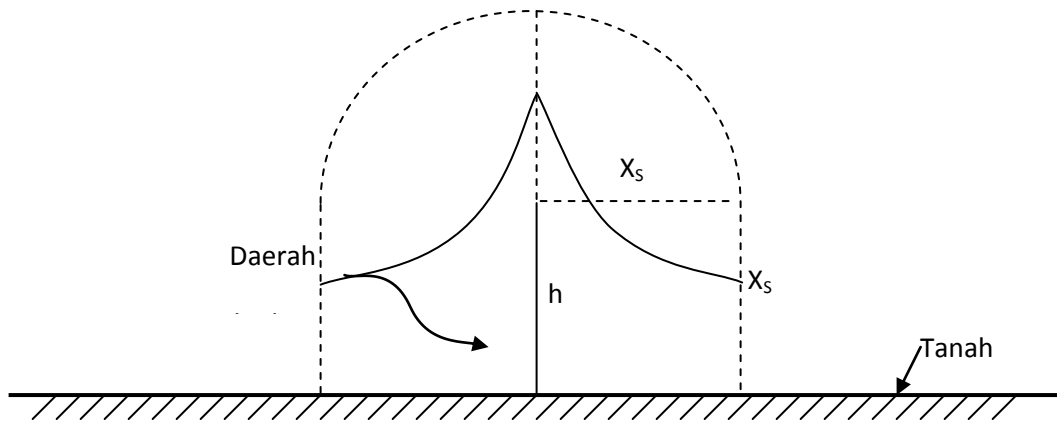
Gambar 3

Beberapa Hipotesa Daerah Perlindungan Penangkal Petir Vertikal
(*Vertical Lightning Rod*)

Diantara hipotesa-hipotesa tersebut yang paling populer adalah hipotesa menurut:

1. Gay Lussac 1823, menyatakan bahwa daerah perlindungan berupa silinder JBCK.
2. De Fonville 1871, menyimpulkan bahwa daerah perlindungan berupa kerucut BAC.
3. Paris Commision 1975, daerah perlindungan berupa kerucut DAE.
4. Chapman 1875, daerah perlindungan berupa silinder LFGM
5. Adam 1881, daerah perlindungan berupa kerucut FAG.
6. Hypothesis, daerah perlindungan berupa silinder OHIP
7. Preece 1881, daerah perlindungan berupa kerucut FAG.
8. Nelsens, daerah perlindungan berupa kerucut HAI.

Dari sekian banyak hipotesa yang ada, Preece adalah orang yang pertama kali menggunakan teori pendekatan geometrik (*Geometrical approach*) dari Franklin. *Leader* yang menyambar dari awan menginduksikan medan listrik di permukaan tanah dibawahnya, sehingga disekitar sebuah penangkal petir timbul medan listrik dengan polaritas yang berlawanan dengan polaritas *leader* yang turun dan distribusi kerapatan (*gradien*) muatan listriknya lebih besar diujungnya yang runcing. Seperti telah diuraikan terdahulu, *leader* ini akan disambut oleh *upward streamer* yang timbul dari ujung penangkal petir atau dari tanah pada suatu jarak yang besarnya tergantung pada besarnya *Stricking Distance* yang terjadi, sehingga *leader* yang turun akan memilih daerah (obyek) yang terdekat untuk melepaskan muatannya. Dalam hal ini obyek yang terdekat adalah ujung penangkal petir atau ke tanah jika jarak ke tanah lebih dekat. Dari kejadian tersebut Preece menyimpulkan bahwa daerah perlindungan sebuah *Vertical Lightning Rod* setinggi (h) adalah sebuah kerucut dengan tinggi (h), radius lingkaran alasnya sama dengan tingginya dan sisinya adalah busur lingkaran dengan jari-jari (h) dari ujung penangkal hingga menyinggung tanah. (seperti terlihat pada gambar 2.2).



Gambar 4.
Daerah Perlindungan Sebuah Vertical Lightning Rod Setinggi (h) dimana X_s = Stricking Distance

Dari uraian tersebut dapat didefinisikan bahwa daerah perlindungan penangkal petir adalah ruang di sekeliling tiang penangkal dimana kemungkinan terkena sambaran petir adalah sangat kecil.

Tinggi di permukaan bumi sampai ujung *leader* yang mampu menimbulkan sambaran petir ke bumi disebut tinggi orientasi (H) dimana tinggi ini sebanding dengan tinggi penangkal (h) atau dapat ditulis sebagai

$$H = kh \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (5)$$

Untuk $h \geq 30$ m, untuk harga konstanta kesebandingan

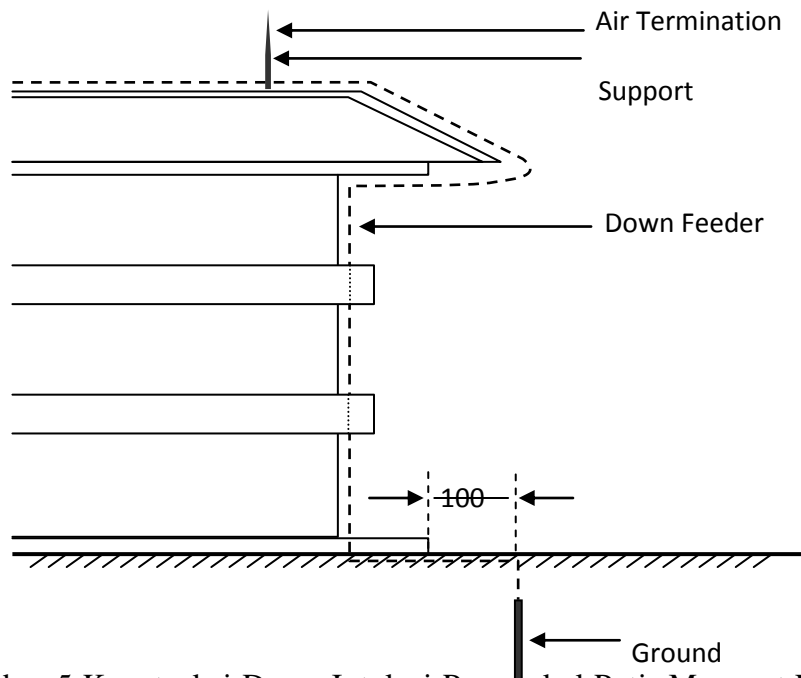
Leader yang menuju bumi dapat melalui saluran-saluran yang berbeda. Jika dimisalkan titik orientasi bergeser sepanjang garis horizontal pada bidang yang sama dengan penangkal. Tetapi sebanding dengan pergeseran titik orientasi kemungkinan *discharge* petir ke tanah semakin besar dan posisi kritis tercapai bila tegangan tembus (breakdown voltage) terhadap ujung penangkal (Vd_1) sama dengan tegangan tembus terhadap bumi (Vd_2). Bila titik orientasi melewati titik kritis kebanyakan *discharge* akan mengenai bumi.

2.3. Model dan Konstruksi Komponen

Telah dijelaskan, bahwa bahan komponen penangkal petir harus dipilih dari jenis logam yang tahan karat. Pilihan ini diperlukan agar komponen tersebut memiliki kemampuan daya hantar yang baik (karena oksida logam atau karat memiliki sifat yang lebih resistif), dan mampu bertahan dalam umur teknis yang lama. Bahan komponen yang selama ini biasa dipakai adalah tembaga, karena ditinjau dari segi teknis memenuhi syarat, dan dari segi ekonomis harganya terjangkau. Tetapi dengan semakin majunya perkembangan teknologi bahan, bahan alumunium dan baja yang dilapisi khrom atau nikel, atau yang digalvanisir bahan anti karat lainnya juga merupakan bahan yang dijual pula di pasaran.

2.3.1. Air Termination

Air Termination atau batang penangkal yang fungsinya sebagai ujung tombak untuk menjemput kelebihan muatan dalam proses sambaran petir, terbuat dari bahan logam seperti telah disebutkan, dipilih bahan logam yang masif (pejal). Bahan ini dibuat dalam bentuk silinder yang salah satu ujungnya lancip (bagian ujung atas) dan bagian ujung (bawah) berbentuk silinder dengan ukuran sama dengan ukuran pipa supportnya. Ujung atas sengaja dibuat lancip agar diperoleh kerapatan muatan yang tinggi, sehingga muatan-muatan yang relatif lebih negatif dari muatan awan lebih banyak terkumpul di bagian lancip itu dibandingkan dengan di bagian lainnya.



Gambar 5. Konstruksi Dasar Instalasi Penangkal Petir Menurut Franklin

2.3.2. Down Feeder (Down Conductor)

Fungsi dari bagian ini adalah sebagai saluran arus petir yang menghubungkan antara *Air termination* dengan *Ground elektroda*. Seperti halnya komponen konduktor dalam sistem kelistrikan yang lain untuk keperluan *down conductor* ini juga dipilih bahan dan ukuran konduktor yang sesuai yaitu :

- a. Memiliki tahanan jenis yang kecil.
- b. Memiliki ukuran/luas penampang yang sesuai.
- c. Memiliki umur teknis yang panjang (tahan cuaca, tahan karat)
- d. Mudah dikerjakan
- e. Secara ekonomis terjangkau

Konduktor yang biasa dipakai adalah jenis BC (*Bare Copper*) atau tembaga telanjang ukuran 50 mm². Tetapi akhir-akhir ini mulai dikembangkan pula penggunaan aluminium (ACSR) ukuran 90 mm².

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pemasangan *down conductor* penangkal petir ini adalah :

1. Bila ada sambungan, maka sambungan tersebut tidak boleh disolder, melainkan harus diklaim dengan baik.
2. Bila ada pemasangan yang arahnya membelok, maka belokan tersebut tidak boleh patah atau membentuk sudut lancip, melainkan harus berbentuk lengkung.

Pada bagian konduktor yang membentuk sudut lancip kerapatan listrik akan cenderung mengumpul lebih banyak disitu dibanding dengan di bagian lain yang lurus atau lengkung, dan pada keadaan demikian dikhawatirkan akan terjadi *gradien* tegangan yang lebih besar, sehingga akan timbul loncatan (*discharge*) di bagian lancip tersebut.

2.3.3. Ground Elektroda

Komponen ini ditanam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu, tergantung pada struktur tanah dimana elektroda tersebut ditanam. Tujuannya adalah memperoleh harga resistansi pertanahan maksimum tertentu yang disyaratkan untuk pentanahan penangkal petir bangunan gedung maksimum 5 ohm, dan lebih kecil lebih baik. Secara umum dikenal ada beberapa tipe, bentuk dan ukuran elektroda pentanahan, tetapi untuk keperluan bangunan gedung yang paling banyak dipakai adalah tipe *rod* (batang), tipe pita dan tipe lempengan.

Kedalaman penanaman elektroda dalam hal ini berpengaruh terhadap harga resistansi pentanahan, dan kedalaman ini dipengaruhi pula oleh struktur tanahnya. Tanah pasir atau lumpur berair yang mengandung garam, resistansi tanahnya lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah lumpur kering, bebatuan, kapur dan sebagainya. Sehingga pada tanah yang mengandung garam tersebut cukup digunakan elektroda tipe rod, dengan kedalaman tanam yang cukup dangkal, misalnya hanya pada kedalaman 2 – 6 meter. Dengan resistansi pentanahan yang cukup rendah, diharapkan arus petir yang mengalir menuju ke tanah tidak terlalu mengalami hambatan, sehingga proses netralisasi muatan listrik berlangsung cepat dan mudah.

Dalam praktek di lapangan, biasanya bila satu atau lebih elektroda ternyata secara total masih memiliki harga pentanahan yang terlalu besar, maka dipasang lagi (ditambah) beberapa elektroda, kemudian saling dihubungkan paralel satu sama lain. Selain untuk memperoleh harga resistansi yang lebih kecil, hubungan paralel beberapa elektroda ini juga akan meningkatkan keandalan sistem pentanahan, sebab bila salah satu elektroda yang lain.

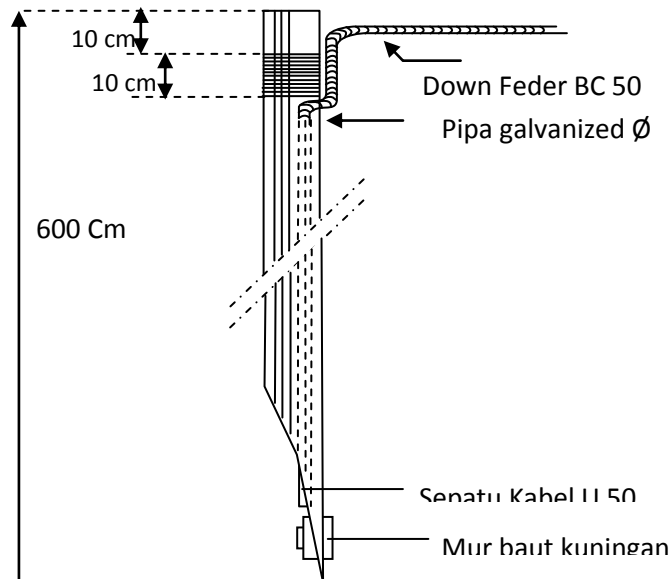
Secara umum bentuk dan tipe elektroda pentanahan terdiri dari :

1. Elektroda tipe batang (rod)
2. Elektroda tipe pita
3. Elektroda tipe plat
4. Elektroda tipe mesh
5. Elektroda tipe grid
6. elektroda tipe counter poise
7. Elektroda tipe kombinasi diantara tipe yang ada.

Pada dasarnya penggunaan masing-masing tipe adalah bertujuan untuk memperoleh harga resistansi pentanahan sekecil mungkin secara efektif, yang tergantung pada struktur tanah setempat. Sebab dengan cara demikian proses netralisasi muatan listrik yang terjadi pada saat sambaran petir berlangsung akan sangat singkat waktunya, sehingga tujuan pengamanan dapat tercapai. Meskipun ada beberapa tipe dan bentuk *ground elektroda*, tetapi yang paling banyak digunakan dalam sistem penangkal petir untuk bangunan gedung adalah tipe rod (batang), yang memiliki konstruksi sederhana dan relatif murah serta mudah penanamannya. Tipe ini ditanam pada struktur tanah yang memiliki nilai resistansi tanah rendah, lunak dan mudah digali (dengan bor tanah) hingga mencapai air tanah pada kedalaman sekitar 6 meter. Tanah demikian biasanya terdapat di pantai dan dataran rendah.

Tipe berikutnya adalah tipe pita, biasanya digunakan pada struktur yang resistansinya rendah, tetapi lebih sulit digali, misalnya tanah padas. Tipe demikian bisa ditanam pada kedalaman sekitar 1 meter atau lebih, mengelilingi bangunan yang akan dilindungi terhadap sambaran petir. Karenanya tipe ini hanya cocok (ekonomis) bila bangunan tersebut menempati lahan yang tidak luas.

Tipe-tipe elektroda yang lain kecuali tiga tipe yang telah disebutkan terdahulu, biasanya digunakan untuk keperluan yang lebih spesifik, misalnya untuk pentanahan kaki menara pada tranmisi tegangan tinggi dan di gardu-gardu induk, antara lain bertujuan meredam perluasan tegangan langkah agar tidak membahayakan lingkungan dan manusia disekitarnya. Tipe elektroda yang lain tersebut tidak dibahas disini.



Gambar 6.
Elektroda Pentanahan Tipe Rod (batang)

2.4. Sistem Penangkal Petir Dengan Unsur Radioaktif Sebagai Ujung Penangkal

Penggunaan unsur radioaktif dalam sistem penangkal petir baru dikenal orang pada tahun 1914, inspirasi penggunaan radioaktif dalam sistem penangkal petir pertama kali dikemukakan oleh seseorang dari Hungaria yaitu Szillard J.B. pada “ Academy of Sciences “ di Paris pada tanggal 9 Maret 1914 dalam papernya yang berjudul Sur un paratonnerre au Radium. Sejak saat itu bermacam-macam sistem penangkal petir menggunakan unsur radioaktif dikembangkan lebih dalam. Pada Tahun 1972, Baatz mengembangkannya dengan Americium 241 dan tentunya melalui berbagai penelitian dengan mempertimbangkan hasil penelitian dari Müller Hillebrand (1962) dianggap lebih tidak berbahaya dibanding sumber ionisasi lain seperti Cobalt, Krypton, Radium dan Plutonium.

Pada prinsipnya, sistem penangkal petir diatas sama dengan sistem penangkal petir Franklin, hanya dikembangkan lebih lanjut yaitu dengan memperlengkapi kepala dari batang penangkal petirnya dengan unsur radioaktif yang memancarkan sinar alpha dengan intensitas yang cukup besar sehingga mampu mengionisasi udara di sekitar kepala batang penangkal petir tersebut.

Ada tiga pokok yang penting untuk diketahui, yaitu :

a. Ionisasi :

Proses disintegrasi dari unsur radioaktif biasanya disertai oleh pancaran sinar alpha, beta dan gamma. Sinar alpha mempunyai susunan atom yang sama dengan unsur helium, bermuatan positif sebesar + 2 atau $q = 3.2 \times 10^{-19}$ C dengan massa 6.65×10^{-27} kg. Sinar beta terdiri atas elektron-elektron dengan muatan $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C dan massanya 9.1×10^{-31} kg. Sinar alpha serupa dengan sinar X.

Kemampuan mengionisasi dari sinar-sinar $\alpha : \beta : \gamma$ adalah 10000 : 100 : 1, jadi walaupun jarak radiasi dari sinar α hanya beberapa cm saja, namun karena kemampuan mengionisasi udara sinar α sangat besar maka dalam penggunaan unsur radioaktif pada sistem penangkal petir, sinar α mempunyai arti yang paling penting.

Ionisasi tumbukan pada keadaan dimana terjadi penumpukan muatan di awan, antara awan dan bumi timbul medan listrik yang kuat. Ion-ion yang berasal dari udara yang diionisasi oleh sinar α , dengan adanya medan listrik tersebut akan mendapat percepatan yang sanggup melepaskan ion-ion dari atom-atom udara yang berada di sekitarnya. Demikianlah terjadi tumbukan secara terus-menerus yang merupakan reaksi berantai yang disebut ionisasi tumbukan.

Gradien tegangan di udara : pada keadaan terjadi penumpukan muatan di awan., gradien tegangan udara antara awan dan bumi akan naik, sedangkan gradien tegangan yang besar ini sangat mempengaruhi pembentukan ion-ion di udara. Gradien tegangan yang diperlukan agar terjadi ionisasi tumbukan adalah minimum 40 kV, dengan ketinggian kepala dari batang penangkal petir 20 m dari permukaan tanah, terlihat bahwa gradien di tempat tersebut dapat mencapai 400 kV sehingga hal ini dapat memastikan ionisasi tumbukan terjadi.

Resiko yang terjadi selama pemasangan adalah disaat terjadi lecet/kelainan/ tergores karena kesalahan manusia, tiupan angin, penyinaran partikel berat alpha dan pengaruh lainnya pada pelindung zat radioaktif tersebut. Ketika terjadi hujan maka wadah radionuklida akan tercuci sehingga menghasilkan air encer yang terkontaminasi yang selanjutnya dapat mencemari tanah.

Pada waktu kilat menyambar kawat tanah/fasa akan timbul arus yang besar dan sepasang gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar ini dapat membahayakan peralatan-peralatan yang ada pada saluran. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran ini tergantung pada besarnya arus kilat dan jenis tiang saluran

2. Sambaran tidak langsung

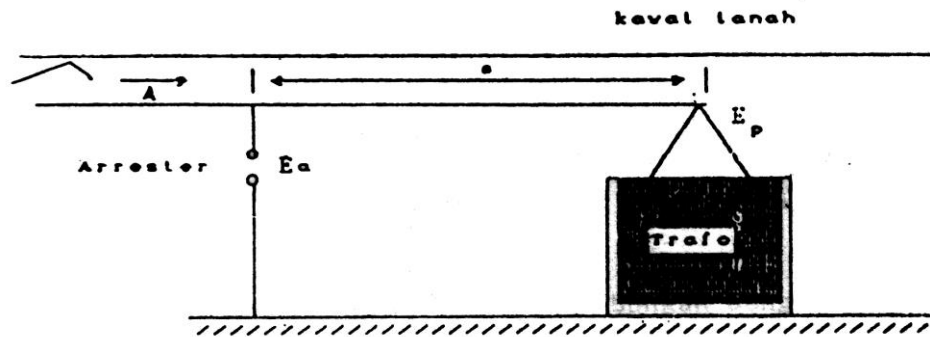
Bila terjadi sambaran kilat ke tanah didekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dan kanal kilat. Fenomena kilat ini terjadi pada kawat pengantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat ditempat sambaran berlangsung.

3.1. Perlindungan dengan Arrester

- 1 Arrester ditempatkan pada sisi hantaran transmisi dari seluruh peralatan
- 2 Kawat tanah sebagai perisai dipasang sampai jarak kira-kira 800 meter dari gardu pada setiap saluran yang masuk ke gardu.
- 3 Perisai yang baik untuk gardu dengan kawat tanah atau menara
- 4 Tahanan tanah Gardu rendah
- 5 Celah Eksplusi (*Expulsion Gap*) ditempatkan pada jalan masuk daerah yang dilindungi

3.2. Jarak maksimum antara arrester

Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator atau peralatan gardu induk. Tetapi dalam praktek sering arrester itu ditempatkan sejauh s dari transformator atau peralatan yang dilindungi. Karena itu jarak tersebut harus ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik. Dan jika arrester dipasang terlalu jauh, maka tegangan yang sampai pada peralatan



Hubungan antara tegangan pada peralatan yang dilindungi dengan jarak lokasi arrester, adalah sebagai berikut :

$$E_p = E_a + 2 A (S / v)$$

Dimana :

E_a = Tegangan percik arrester (KV)

E_p = Tegangan pada jepitan transformator atau peralatan yang dilindungi (KV)

A = Kecuraman gelombang datang, (KV/ μ s)

S = Jarak antara arrester dan transformator (m)

v = Kecepatan merambat gelombang (m/ μ s)

Bila tegangan terminal peralatan = E_p maka E_p harus lebih besar dari ($E_a + 2AS/v$) agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga E_p cukup dengan mengubah S , yaitu semakin kecil S makin kecil E_p , adapun harga maksimum yang diijinkan $E_p = 2E_a$.

Tabel 1
TEGANGAN DASAR ARRESTER

Arrester Voltage Rating KV,RMS	Withstand Voltage Up to 10 KA Arrester	Impulse Sparkover (1,2/50 s, KV, Crest 10 KA Front to the wave, KV/ s	KV, Kredit Residual Voltaga
150	28B	500/577 at 1080	500
174	334	570/660 1160	570
186	2BO	610/702 1180	610
196	288	649/746 1200	649
196	1,9 x Rated Arrester Voltage		
To 225		3,28/3.7B 1200 Rated Voltage	3,2B x Rated Voltage
To 396		3.26/ 3.76 1200 Rated Voltage	3.26 x Reted Voltage
> 396		No Values are agreed upon	No Values are Specified

Tabel 2
DATA ARRESTER

1.	Manufacture	: Bowthorpe EMP England
2.	Type of desonation	: MB 1505
3.	Rating	: 150 KV
4.	Class	: Station class
5.	Freg	: 50 KV
6.	Rated nominal discharge current	: 10 KV
7.	Max residual Voltage	: 416
8.	Impulse withstand voltage	
	- Switchgear	: 750
	- Transfomer	: 650
9.	Total Height	: 2934 mm
10.	Total Weight	: 114 Kg

Dari table (4-1) dan (4-2) diperoleh :

$E_p = 650$ KV

$E_a = 500$ KV

$A = 1080$ KV/ μs

Untuk mendapatkan cepat rambat gelombang dalam kabel (v), yaitu :

$$\begin{aligned}
 L &= \left(2Ln\frac{R}{r}\right) 10^{-9} \text{ H/cm,} \\
 C &= \frac{\Sigma 10^{-11}}{18Ln2\frac{h}{r}} \text{ Farad / cm} \\
 V^2 &= \frac{1}{L.C} \\
 &= \frac{1}{\left(2Ln\frac{R}{r}\right)10^{-9} \frac{\Sigma 10^{-11}}{18Ln\frac{R}{r}}} \\
 &= \frac{10^{20}}{\left(2Ln\frac{R}{r}\right) \frac{\Sigma}{18Ln\frac{R}{r}}} \\
 &= \frac{10^{10}}{1/3 (\sqrt{\Sigma})} \\
 &= 3 \frac{10^{10}}{\sqrt{\Sigma}} \text{ cm/ s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk saluran kabel konduktor pada permitivitas akan mempengaruhi kecepatan rambat gelombang surja. Untuk kabel-kabel yang tersedia umumnya harga permetivitas antara 2,5 – 4. Jika diambil rata-rata didapat :

$$\Sigma = \frac{2,5+4}{2} = 3,25$$

$$\text{Jadi cepat rambat gelombang dalam kabel (v)} = \frac{3.10^8}{\sqrt{\Sigma}}$$

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{3.10^8}{\sqrt{\Sigma}} \\
 &= \frac{3.10^8}{\sqrt{3,25}} \\
 &= 1,66 \times 10^8 \text{ m/s} \\
 &= 166 \text{ m/ } \mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (4-1) maka dapat ditentukan jarak yang efektif arrester dengan trafo (S)

$$\begin{aligned}
 EP &= E a + 2 A (S / v) \\
 650 &= 500 + 2 (1080) \frac{S}{166} \\
 651 &= 500 + \frac{2160 \times S}{166}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{2160(S)}{166} &= 650 - 500 \\ 13,01(S) &= 150 \\ S &= \frac{150}{13,01} = 11,53 \text{ m}\end{aligned}$$

Apabila diambil harga E_p maksimum yaitu $E_p = 2 E_a$ maka :

$$\begin{aligned}2 E_a &= E_a + \frac{2(1080 \times S)}{166} \\ 1000 &= 500 + \frac{2(1080 \times S)}{166} \\ \frac{2160}{166}(S) &= 500 \\ S &= \frac{500}{13,01} = 38,43 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi jarak antara arrester dengan peralatan yang dilindungi, harus dibawah 38,43 meter. Sedangkan jarak arrester di Gardu Induk Ploso 18 meter.

4. KESIMPULAN

Arrester ditempatkan pada sisi hantaran transmisi dari seluruh peralatan. Kawat tanah sebagai perisai dipasang sampai jarak kira-kira 800 meter dari gardu pada setiap saluran yang masuk ke gardu. Perisai yang baik untuk Gardu dengan kawat tanah atau menara. Tahanan tanah Gardu rendah, yaitu 3,5 Ohm atau dibawah 5 Ohm. Celah Eksplusi (*Expulsion Gap*) ditempatkan pada jalan masuk daerah yang dilindungi

Dari perhitungan didapatkan jarak Arrester dengan peralatan yang dilindungi (transformator) sejauh 18 m atau kurang dari 38,43 meter. Dengan jarak tersebut peralatan gardu induk terlindung dengan baik. Pada jarak 18 m. ini besarnya tegangan terminal peralatan yang dilindungi, pada saat sambaran petir sama dengan BIL dari peralatan yang dilindungi yaitu sebesar 650 KV.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. Leopold, Luna, Kenneth S. Davis. 1980. Air. Jakarta: Tira Pustaka. (Pustaka Ilmu Life). Edisi kedua.
2. Climate and Weather. Encyclopaedia Britannica. Copyright 1994-1998.
3. D. Thompson, Philip, Robert O'Brien. 1980. Cuaca. Jakarta: Tira Pustaka. (Pustaka Ilmu Life). Edisi kedua.
4. Gallagher, T. J., A. J. Pearmain. 1983. High Voltage. Bath: John Wiley & Sons.
5. Golde, R. H. 1977. Lightning. London: Academic Press Inc. Vol-2.
6. Hayt. William. H.JR, The Houw Liong, Ph.D. 1990. Elektromagnetika Teknologi. Jakarta: Penerbit Erlangga. edisi ke 4. jilid 2.
7. Hutauruk, TS. 1987. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan. Jakarta: Penerbit Erlangga.
8. PER-02/MEN/1989. Tentang Pengawasan Instalasi Penyalur Petir.
9. Malvino, Barmawi. 1992. Prinsip-Prinsip Elektronika. Jakarta: Penerbit Erlangga.
10. Military Handbook. Grounding, Bonding & Shielding for Electronic Equipment and Facilities. Dept. of Defense Washington D.C.20301. Third edition. Vol 1.
11. Morrison. Ralph. 1986. Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation. U.S.States: John Wiley & Sons - A Wiley-Interscience Publication. Third Edition.
12. Naidu, M. S., V. Karamaju. 1982. High Voltage Engineering. New delhi: Tata McGraw – Hill publishing Co. Ltd.
13. Razevig D. V. 1982. High Voltage Engineering. Delhi-6: Khanna Publisher.
14. Salehudin M. 1995. Pengaruh Petir Pada Perangkat Elektronika Dan Telekomunikasi. Malang: Seminar Nasional HME-ITN.
15. Sirait K. T., Pakpahan P. 1995. Gejala Petir Di Indonesia. Malang: Seminar Nasional Dan Rapat Kerja Nasional FKHMEI HME-ITN.
16. Sirait K. T., Zoro R. 1986. Perlindungan Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik. Bandung: Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Dan Pengukuran Listrik Jurusan Teknik Elektro ITB.
17. Sutanto, Hendrayah, Soeryaningprang M. 1994. Penangkal Petir Radioaktif. Biro Pengawasan Tenaga Atom. BATAN.
18. Zoro. R, Madilawati. 1993. Parameter Petir dan Aplikasinya untuk Proteksi Peralatan. Seminar Sehari Tentang Grounding dan Penangkal Petir.