

SIMULASI TEGANGAN INDUKSI KABEL AKIBAT ARUS PETIR PADA KAWAT PENANGKAL PETIR

Oleh:

Yahya Tarjan Ginting¹⁾

Janter Napitupulu²⁾

Andrew Giga Alexander Pane³⁾

Universitas Darma Agung, Medan^{1,2,3)}

E-mail:

ginting1972@yahoo.com¹⁾

jantermh@gmail.com²⁾

andrewalexanderpane@gmail.com³⁾

ABSTRACT

Lightning is a natural phenomenon that is analogous to a giant capacitor, when the first plate is a cloud (either a negative plate or a positive plate) and the second plate is Earth (neutral). Lightning can also strike anything that is above the surface or connected to Earth. To make lightning do not damage what it strikes, a lightning rod is made. If a lightning strike occurs on a lightning rod in a building, the lightning current flows through the lightning rod earthing wire which is channeled to the ground. The existence of this flowing current results in an induced voltage on the electrical installation cable which is parallel to the petri protection ground wire. In this thesis, we will examine the effect of the distance between the lightning rod ground wire - the installation cable to the voltage induced on the electrical installation cable. From the analysis, it can be seen that the induced voltage on the electrical installation cable is strongly influenced by the load inductance installed.

Key words: *Lightning Rod, Lightning Protection*

ABSTRAK

Petir merupakan gejala alam yang biasa dianalogikan dengan sebuah kondensator raksasa, saat lempeng pertama berupa awan (bisa lempeng negatif atau lempeng positif) dan lempeng keduanya adalah Bumi (netral). Petir juga bisa menyambar apa saja yang ada di atas permukaan atau terhubung dengan Bumi. Untuk membuat petir tidak merusak apa yang disambarnya, maka di buatlah penangkal petir. Jika terjadi sambaran petir pada penangkal petir yang terdapat pada suatu bangunan maka arus petir mengalir melalui kawat pembumian penangkal petir yang disalurkan sampai ke tanah. Adanya arus yang mengalir ini mengakibatkan tegangan induksi pada kabel instalasi listrik yang sejajar dengan kawat pembumian penangkal petri tersebut. Dalam Skripsi ini akan dilihat pengaruh jarak antara kawat pembumian penangkal petir – kabel instalasi terhadap tegangan yang diinduksikan pada kabel instalasi listrik. Dari hasil analisis dilihat bahwa tegangan induksi pada kabel instalasi listrik sangat dipengaruhi oleh induktansi beban yang terpasang.

Kata kunci : *Sambaran Petir, Penangkal Petir*

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya suatu bangunan yang tinggi selalu dilengkapi dengan

sistem penangkal petir. Penangkal petir ditempatkan pada bagian atap bangunan kemudian dihubungkan ke tanah melalui

kawat pembumian yang dipasang pada bagian sisi bangunan tersebut. Di dalam bangunan tersebut terdapat instalasi listrik yang menyalurkan daya listrik untuk semua peralatan listrik yang dipergunakan dalam bangunan itu.

Masih ada di temukannya di beberapa gedung tinggi letak kawat pembumian penangkal petir ada yang sejajar dengan kabel instalasi dan ada juga yang bersilangan dengan kabel instalasi tanpa dilengkapi dengan media isolator. Kabel instalasi yang sejajar dengan kawat penangkal petir membentuk gandengan magnetik dan gandengan kapasitif. Jika terjadi sambaran petir pada penangkal petir, arus petir akan mengalir pada kawat penangkal petir. Karena ada gandengan magnetik dan gandengan kapasitif antara kawat penangkal petir dengan kabel instalasi maka akan terjadi tegangan induksi pada kabel instalasi.

Dalam studi kasus Simulasi perhitungan tegangan induksi yang di akibatkan sambaran petir, bertujuan manfaat pentingnya pemasangan perangkat penangkal petir yang menggunakan standar yang sudah ditentukan, walau pada faktanya di jaman sekarang dengan pesatnya perkembangan di dunia kelistrikan, pengaruh sambaran petir langsung terhadap instalasi listrik sangat kecil kemungkinan terjadi. Pengaruh sambaran petir yang berdampak terhadap instalasi listrik/peralatan elektronik hanya di akibatkan oleh sambaran petir tak langsung, yaitu melalui antena receiver Televisi, tiang saluran telekomunikasi, dan lain-lain.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Terjadinya Petir

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan diawan begitu banyak dan tak pasti. Tekanan atmosfer akan menentukan dengan

makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara (sering disebut angin) ini akan membawa udara lembab ke atas, kemudian udara lembab ini mengalami kondensasi menjadi uap air, lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan.

Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal. Ditambah dengan benturan antara titik-titik air yang dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara, yang dapat memungkinkan terjadinya pemisahan muatan listrik didalam awan tersebut. Butiran air yang bermuatan positif, biasanya berada bagian atas dan yang bermuatan negatif dibagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan maka akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antara bumi dengan awan.

Macam-macam Petir

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

Berdasarkan polaritas muatan :

- Muatan positif.
- Muatan negatif

Berdasarkan arah sambaran :

- Arah ke bawah (Bumi atau objek), disebut *downward lightning*.
- Arah ke atas (awan), disebut *upward lightning*.

Berdasarkan jenis sambaran :

- Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*).
- Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*).
- Sambaran awan ke Bumi (*cloud to ground lightning*).

2.2 Parameter-parameter Petir

Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir itu

sendiri. Parameter-parameter petir cukup banyak, terutama yang berkaitan dengan usaha-usaha proteksi petir. Selain itu, parameter petir ini juga berguna dalam studi efek perusakan akibat sambaran petir dan kemungkinan pemanfaatannya. Parameter-parameter tersebut antara lain: bentuk gelombang petir, kerapatan sambaran (N_g), arus puncak (I_{max}), kecuraman gelombang atau *steepness* (di/dt).

2.3 Bentuk Gelombang Arus Petir

Bentuk gelombang arus petir ini menggambarkan besar arus, kecuraman (kenaikan arus), serta lamanya kejadian (durasi gelombang), dinyatakan oleh waktu ekor. 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 kejadian kilat dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bisa berbeda cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran susulan. Kejadian terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada subsequent stroke-nya.

2.4 Kerapatan Sambaran Petir

Parameter ini menyatakan banyaknya aktifitas petir atau sambaran petir ke Bumi dalam rentang satu tahun disuatu wilayah, dinyatakan dalam sambaran per km² per tahun. Jumlah sambaran kilat ini sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau biasa disebut *Iso Keraunic Level* (IKL). Banyak peneliti yang memberikan perhatian kearah ini dan mengemukakan rumus-rumus yang berlainan. Untuk Indonesia, T.S. Hutahuruk memberikan usulan kerapatan sambaran petir adalah sebesar : $N_g = 0,15 \text{ IKL}$ (Sori Akhar H, p..29) Dimana:

N_g : Kerapatan sambaran petir

IKL : Indeks iso keraunic level (IKL)

2.5 Arus Puncak

Parameter arus puncak ini menentukan jatuh tegangan resitif pada tahanan pentanahan dan tahanan peralatan yang terkena sambaran. Selain itu juga, ikut menentukan kenaikan temperatur pada peralatan yang disambar. Biasanya, nilai arus puncak ini yang digunakan dalam menyatakan suatu gelombang impuls petir, bersama-sama dengan dua besaran gelombang sebelumnya yaitu waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_r).

2.6 Kecuraman Gelombang (*steepness*)

Kecuraman gelombang merupakan salah satu parameter peling penting. Parameter ini 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 (*front duration*).

2.7 Hari Guruh

Menurut definisi WMO (*world meteorologi organization*), hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 1,5 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh ini disebut juga badai guntur (*thunderstorm days*). Data meteorologi dari Badan Meteorologi dan Geofisika menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia yang jumlah hari badai guntur per tahunnya cukup tinggi, antara lain : sebagian daerah Sumatera Utara, daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan daerah Irian Jaya dimana hari badai gunturnya lebih dari 100 hari per tahun.

Petir yang terjadi memiliki intensitas sambaran yang harus selalu diamati setiap periode untuk dapat memperkirakan faktor resiko sambaran pada suatu wilayah, sehingga dapat diperkirakan faktor resiko sambaran pada suatu wilayah, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan bangunan akan proteksi petir. Adapun hal-hal yang

diperlukan di dalam memperkirakan faktor resiko sambaran adalah :

1. *Isokeraunic level* : jumlah hari sambaran petir per tahun.
2. *Lightning strike rate* : jumlah sambaran ke tanah per km² per tahun. *Lightning strike* / curah petir menentukan tingkat bahaya sambaran pada suatu wilayah dan besarnya ditentukan oleh *isokeraunic level*. Nilai *lightning strike rate* ini bervariasi secara signifikan, dihitung dari rata-rata kerapatan annual yang dihitung dari observasi dalam suatu periode selama bertahun-tahun.

2.8 Sistem Proteksi Petir

Proteksi petir merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek dari bahaya yang diakibatkan petir, baik itu secara langsung maupun tak langsung.

Didasarkan pada tujuan atau sifat dari proteksi itu sendiri, proteksi petir terdiri dari dua jenis yaitu : proteksi sambaran petir, dan proteksi tegangan lebih petir. Prinsip kerja antara kedua jenis proteksi tersebut di atas tentu saja berbeda. Proteksi sambaran petir lebih bersifat pencegahan (*preventif*), sedangkan proteksi tegangan lebih petir sifatnya tidak lagi mencegah tetapi mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir, dalam hal ini apabila jenis proteksi yang pertama gagal melaksanakan fungsinya.

2.9 Jenis-jenis Penangkal Petir

Penangkal Petir Konvensional; Penangkal petir ini bersifat pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya agar pada saat *step leader* mendekat dan kuat medan semakin besar maka *upward streamer* dapat lebih cepat terbentuk mendahului objek sekitarnya.

Penangkal Petir Elektrostatik; Penangkal ini merupakan pengembangan terhadap penangkal petir

konvensional. Prinsipnya sama yaitu sebagai tameng atau perisai yang mengambil alih sambaran petir tersebut.

Dissipation Array System (Lightning Preventor); Prinsip ini memperkecil kemungkinan terjadinya sambaran petir. Ide untuk mencegah sambaran petir telah lama ada, mulai sekitar tahun 1754 ketika seorang ilmuwan Ceko, *Prokop Divisch*, memasang 216 titik runcing pada suatu rangka kayu stinggi 7,4 m. Titik-titik tersebut dirangkai terhubung satu sama lain dan kemudian dibumikan. Beberapa tahun kemudian, *Lichtenberg (1775)* memberikan suatu usulan yang menyatakan bahwa kemungkinan sambaran petir pada suatu rumah dapat dicegah dengan memasang kawat berduri di atasnya.

3. METODE PELAKSANAAN

3.1 Induktansi dan Kapasitansi

Pada saat petir menyambar batang penangkal petir, arus petir disalurkan ke tanah melalui kawat pembumian (*down conductor*) penangkal petir. Dalam simulasi arus petir akan menginduksikan tegangan pada kabel instalasi.

3.1.1 Induktansi

Ada dua persamaan dasar yang dapat dikai untuk merumuskan dan menjelaskan induktansi. Persamaan yang pertama menghubungkan tegangan imbas dengan kecepatan perubahan fluks yang meliputi suatu rangkaian yang dapat dinyatakan dengan:

$$e = \frac{d\tau}{dt} \dots\dots\dots$$

Jika arus pada rangkaian berubah-ubah, medan magnet yang ditimbulkan akan berubah-ubah juga.

$$d\tau \approx i$$

Sebab itu banyaknya fluks gandeng berbanding lurus dengan arus, dengan

demikian tegangan imbasnya juga berbanding lurus dengan kecepatan perubahan arus. Jadi persamaan yang kedua adalah

$$e = L \frac{di}{dt} \dots\dots$$

Dimana:

L = konstanta keseimbangan atau induktansi (H)

e = tegangan imbas (V)

$\frac{di}{dt}$ = kecepatan perubahan arus (A/s).

Jika kedua persamaan di atas diselesaikan untuk mendapat nilai L maka hasil akhirnya adalah:

$$L = \frac{d\tau}{di} \dots\dots$$

Untuk mendapatkan nilai induktansi yang sangat teliti baik fluks internal maupun eksternal harus diperhitungkan. Induktansi internal disebabkan oleh adanya sebagian dari medan magnet yang berada di dalam penghantar. Sedangkan induktansi eksternal disebabkan medan yang berada di luar penghantar.

3.1.2 Kapasitansi

Setiap dua penghantar yang terpisah oleh bahan dielektrik mempunyai kapasitansi. Kapasitansi tersebut tergantung pada bentuk penghantar dan sifat-sifat bahan dielektrik yang terdapat diantara dua penghantar. Perbandingan antara harga mutlak muatan pada penghantar dengan harga mutlak beda tegangan antara kedua penghantar didefinisikan sebagai kapasitansi :

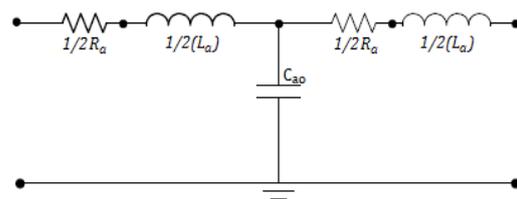
$$C = \frac{Q}{V} (F) \dots\dots$$

3.2 Rangkaian Ekuivalen

Untuk membuat rangkaian ekuivalen dari dua penghantar yang memiliki kapasitansi dan induktansi maka hal pertama yang harus kita lakukan adalah

membuat rangkaian ekuivalen dari masing-masing penghantar kemudian kedua rangkaian ekuivalen tersebut digabungkan menjadi satu rangkaian ekuivalen.

Suatu penghantar memiliki nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi. Model rangkaian ekuivalen penghantar yang diperoleh adalah rangkaian T dimana kapasitansi penghantar tersebut terpusat di tengah penghantar seperti yang terlihat pada Gambar di bawah ini:



Dimana: R_a = resistansi, L_a = induktansi, C_{ao} = kapasitansi

3.3 Software Simulasi (Maple Soft 2017)

Maple Soft adalah program komputer yang dikembangkan pertama kali pada tahun 1980 oleh Grup Symbolic Computation di University of Waterloo Ontario, Kanada untuk keperluan bidang matematika, statistika dan komputasi aljabar.

Program Maple ini dapat dikatakan sangat canggih dan sangat membantu sekali dalam menyelesaikan soal matematika. Mulai dari membuat persamaan, grafik, mencari nilai suatu fungsi dan masih banyak lagi itu merupakan kelebihan dari maple. Untuk mengetahui lanjutan tentang fungsi – fungsi dari software ini dilakukan dengan langsung praktik supaya bisa lebih mengerti apa kegunaan dari software Maple. Dengan Maple, kita dapat membuat dokumen interaktif yang memungkinkan kita mulai memecahkan masalah matematika dengan memasukkan ekspresi Matematika dalam 2-D yang menggunakan point-and-klik antarmuka. Kita dapat menggabungkan “text” dan ekspresi matematika di baris yang sama,

menambahkan tabel untuk mengatur isi dari pekerjaan Anda, atau menyisipkan gambar, sketsa daerah, dan spreadsheet. Kita dapat memvisualisasikan dan menghidupkan masalah dalam dua dan tiga dimensi, format teks untuk makalah akademis atau buku, dan masukkan hyperlink ke file Maple, atau alamat email.



Logo Maple Soft

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data-data

Dalam prakteknya jenis kabel instalasi rumah pada umumnya adalah NYA 2,5 mm², sedang kawat pbumian instalasi penangkal petir adalah kawat termbaga 50 mm². Adapun spesifikasi dari kabel instalasi listrik dan kawat pbumian penangkal petir dapat dilihat dalam Tabel di bawah.

Tabel Spesifikasi Kabel instalasi listrik dan kawat pbumian penangkal petir Jarak yang ditentukan dalam Jurnal ini adalah: 0.3567, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0.

4.2 Beban Terpasang

Beban terpasang pada instalasi listrik di suatu bangunan pada umumnya adalah lampu, setrika dan pendingin. Spesifikasi dari beban dapat dilihat pada Tabel di bawah

Beban	Merek	V (volt)	I (ampere)	P (watt)
Lampu	Hannocs	220	1,165	18
AC	LG	220	3,160	700
Setrika	Maspion	220		350

Tabel beban yang terpasang

4.3 Sumber Tegangan dan Arus Petir

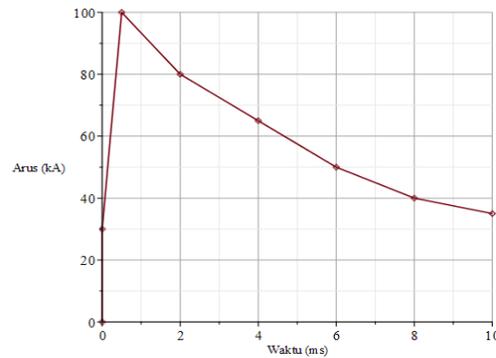
Jika V adalah tegangan efektif, maka tegangan sesaat instalasi listrik adalah

$$v = V$$

Sedangkan persamaan arus petir yaitu :

$$I = I_k \cdot (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

Dimana untuk arus petir 100 kA, $I_k = 102,546 \cdot 10^3$, $\alpha = 1300$ dan $\beta = 22.750$ dan bentuk gelombangnya dapat dilihat pada Gambardibawah



Gambar Gelombang arus petir

4.4 Hasil Penelitian

Perhitungan tegangan induksi

Spesifikasi	Kabel instalasi listrik	Kawat pbumian penangkal
Jenis penghantar	NYA	BCC
Ukuran	2,5 mm ²	50 mm ²
Jari-jari inti	0,89 mm	3,98 mm
Resistansi/satuan panjang	7,41 · 10 ⁻³ Ohm/meter	3,56 · 10 ⁻⁴ Ohm/meter
Jenis isolasi	PVC	-
tebal isolasi	0,7 mm	-

dilakukan dengan menggunakan resistansi, induktansi, kapasitansi, sumber tegangan dan sumber arus petir seperti yang telah ditentukan di atas. Nilai-nilai ini dimasukkan ke dalam persamaan

$$U_{\max} := \frac{Z \cdot I \cdot \epsilon_{\text{beton}}}{r_{\text{kabel}} r_{\text{kawat}} \cdot d} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \beta \frac{1}{1 - 0.5 \beta^2} \right)$$

Dimana:

U_{\max} = Tegangan puncak induksi

- Z = Impedansi
 I = Puncak arus petir
 ϵ_{beton} = Nilai permivitas relatif beton
 r_{kabel} = jari-jari kabel instalasi
 r_{kawat} = jari-jari kawat penangkal petir
 d = Jarak kabel dan kawat
 β = rasio kecepatan sambaran

Semua persamaan diselesaikan dengan menggunakan **Maple Soft**. Data yang diperoleh diberikan pada lampiran 1. Pada ketiga Tabel di bawah ini diberikan puncak tegangan induksi pada setiap jenis beban dengan jarak kabel-kawat pembumian yang diubah-ubah. Tabel Puncak tegangan induksi pada beban AC

Jarak (m)	U_{max} (Volt)
0.3567	41820.22
0.4	37293.18
0.5	29834.54
0.6	24862.12
0.7	21310.39
0.8	18646.59
0.9	16574.74
1.0	14917.27

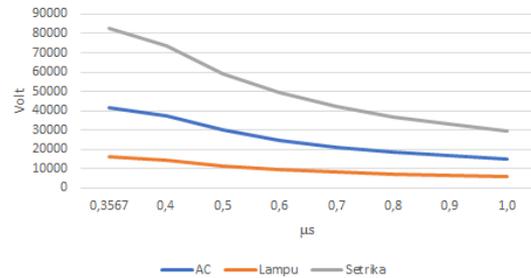
Tabel Puncak tegangan induksi pada beban Setrika

Jarak (m)	U_{max} (Volt)
0.3567	82895.58
0.4	73922.13
0.5	59137.71
0.6	49281.42
0.7	42241.22
0.8	36961.06
0.9	32854.28

Tabel Puncak tegangan induksi pada beban lampu

Jarak (m)	U_{max} (Volt)
0.3567	16146.61
0.4	14398.74
0.5	11518.99
0.6	9599.16

0.7	8227.85
0.8	7199.37
0.9	6399.44
1.0	5759.49



Gambar Gelombang Tegangan Induksi Sebagai Fungsi Jarak

Berdasarkan gambar di atas hal yang paling mempengaruhi tegangan induksi adalah induktansi yang dimiliki oleh beban tersebut.

Berdasarkan perhitungan di atas rata-rata laju kenaikan tegangan puncak pada tiap terminal beban adalah :

- Lampu = 12382.76 V/ μ s
- Setrika = 63572.23 V/ μ s
- AC = 32071.73 V/ μ s

Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan puncak adalah :

- Lampu = 0,8 μ s
- Setrika = 0,8 μ s
- AC = 0,8 μ s

5. SIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- Induktansi beban mempengaruhi induksi tegangan
- Laju kenaikan tegangan pada terminal beban adalah:
 - Lampu = 12382.76 V/ μ s
 - Setrika = 63572.23 V/ μ s
 - AC = 32071.73 V/ μ s
- Akibat adanya sambaran petir maka pada kawat pembumian tersebut terjadi tegangan induksi yang berbeda menurut

bahan dan jarak antara kabel instalasi dan kawat pembedaan.

- d. Nilai simulasi yang dihasilkan dari perhitungan tegangan induksi dengan menggunakan Maple Soft adalah nilai yang tingkat akurasi lebih tepat dan sangat mempermudah pengerjaannya (rumus, hasil perhitungan dan grafik). Semakin jauh jarak antara kabel instalasi listrik dengan kawat pembedaan semakin kecil tegangan induksi pada kabel instalasi listrik.
- e. Lebih dianjurkan pemasangan perangkat penangkal petir menggunakan isolator.

6. DAFTAR PUSTAKA

Abdul Syakur dan Yuningtyastuti, *Sistem Proteksi Penangkal Petir pada Gedung*, Semarang.

Akbar Hutagaol, *Studi Tentang Sistem Penangkal Petir pada BTS*, Medan, 2009.

Deni Rhamdanin, *Peran Sistem Pentanahan Terhadap Sistem Proteksi Petir*, Jakarta, 2008.

Diah Permatadani Nining Purwasih, *Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi pada Tower BTS*, Lampung, 2009

Per. 02/MEN/1989, *Pengawas Instalasi Penyalur Petir*.

Reynaldo Zoro, *Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah*, Bandung, 2009.

Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004), *Sistem Proteksi Petir pada Bangunan*.

Taufiq Alif Kurniawan, dkk., *Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal*, Jakarta.

Tri Suhartono, *Penentuan Kebutuhan Proteksi Petir Pada Gedung*, Semarang.

Yopie Mafudin, *Simulasi Perhitungan Kebutuhan Perlindungan*

Peralatan Komputer Akibat Sambaran Petir, Semarang.

http://www.lightningsafety.com/nlsi_11s.html

<http://aydinhari.wordpress.com/>

<https://teknikpetirsamarinda.blogspot.com/2019/01/penangkal-petir>.