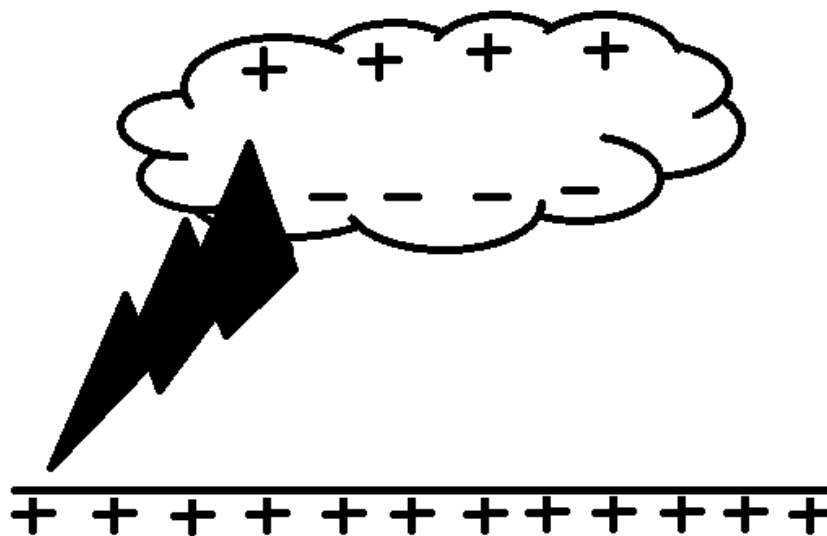


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Landasan Teori

#### A. Fenomena Petir

Proses awal terjadi petir disebabkan karena adanya awan bermuatan di atas bumi. Pembentukan awan bermuatan disebabkan karena adanya kelembaban udara dan adanya gerakan udara keatas (*up draft*). Kelembaban udara timbul oleh pengaruh sinar matahari yang kemudian akan menyebabkan penguapan air dan uap air tersebut akan naik karena gerakan *up draft*. Proses *up draft* yang terjadi terus menerus akan membentuk awan bermuatan seperti gambar 2.1. ditunjukkan ilustrasi sambaran petir dari awan ke bumi.



Gambar 2.1. Sambaran Petir dari Awan ke Bumi

Setelah timbul awan bermuatan, selanjutnya kristal-kristal es yang terdapat pada awan bermuatan tersebut saat terkena angin akan mengalami gesekan sehingga muatan pada kristal es tidak menjadi netral seperti sebelumnya, maka pada awan tersebut terdapat muatan positif (+) dan negative (-). Muatan positif pada awan berkumpul dibagian atas awan, sedangkan muatan negatif berada dibagian bawah awan. Permukaan bumi dianggap memiliki muatan positif sehingga muatan-muatan negatif yang berada di awan akan tertarik menuju muatan positif yang berada di bumi. Saat terjadi proses pengaliran muatan dari awan ke bumi ini yang kemudian disebut sebagai petir.

Sambaran petir terdiri dari beberapa macam jenis <sup>[2]</sup>:

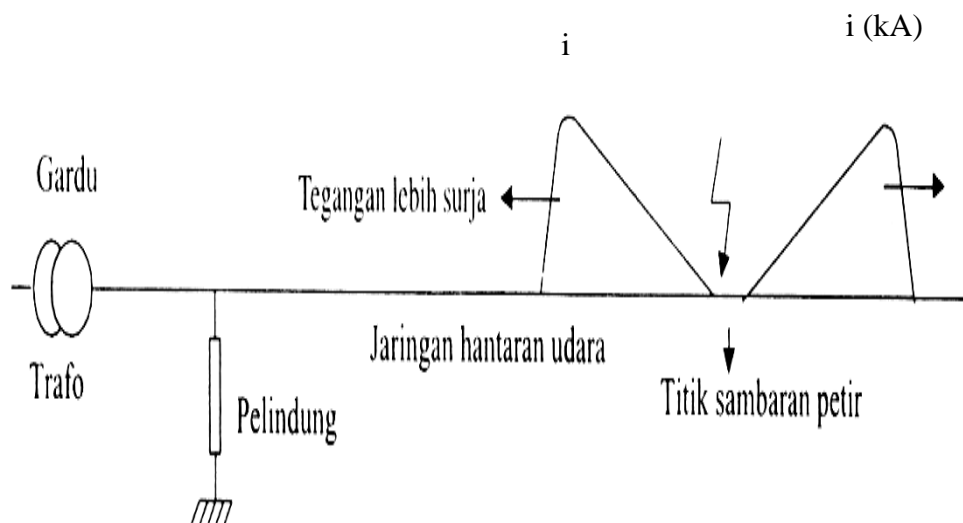
- 1 . Sambaran langsung terjadi saat petir menyambar secara langsung peralatan dalam gardu induk. Sambaran langsung menyebabkan tegangan lebih (*overvoltage*) yang sangat tinggi.
2. Sambaran induksi terjadi saat sambaran petir ke tanah yang dekat dengan peralatan sehingga timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan di tempat terjadinya sambaran.
3. Sambaran dekat adalah gelombang berjalan yang datang menuju gardu induk dimana hanya berjarak beberapa kilometer dari titik sambaran ke gardu induk.

## **B. Tegangan Lebih Surja Petir**

Tegangan lebih merupakan tegangan yang melewati batas rating dasar peralatan atau BIL peralatan serta hanya dapat ditahan oleh sistem pada

waktu yang terbatas. Tegangan lebih akibat petir disebut sebagai tegangan lebih luar atau *natural overvoltage* karena petir adalah peristiwa alamiah yang tidak dapat dikendalikan oleh manusia <sup>[1]</sup>.

Saat terjadi sambaran petir pada sebuah saluran transmisi maka akan timbul kenaikan tegangan pada jaringan dan tegangan lebih surja kemudian akan merambat ke ujung jaringan seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. dibawah ini <sup>[16]</sup>.



Gambar 2.2. Tegangan Surja akibat Sambaran Petir <sup>[16]</sup>

Surja petir merupakan tegangan lebih disebabkan oleh petir. Pada saat gardu induk mengalami tegangan lebih akibat surja petir, maka isolasi peralatan gardu akan mengalami kerusakan. Sehingga diperlukan peralatan pelindung agar tegangan surja yang tiba di gardu induk tidak melebihi kekuatan isolasi pada peralatan gardu <sup>[16]</sup>.

Tegangan lebih dari sambaran petir yang timbul tinggi sekali, sehingga hampir tidak mungkin mengisolasi peralatan sistem terhadap tegangan tersebut. Karena itu untuk pengamanan terhadap sambaran petir dipakailah kawat tanah tahanan tanah yang serendah mungkin yang tidak boleh lebih dari 5 ohm. Serta digunakan arrester untuk melindungi gardu induk dari gelombang merambat. Peralatan-peralatan sistem harus mempunyai ketahanan isolasi yang cukup, sesuai dengan sistem pengamanannya <sup>[2]</sup>.

Pada keadaan tegangan jaringan normal, arrester berfungsi sebagai isolasi. Namun, saat tiba surja petir pada arester, maka arester akan berubah menjadi konduktor yang mengalirkan muatan surja petir tersebut ke tanah <sup>[16]</sup>.

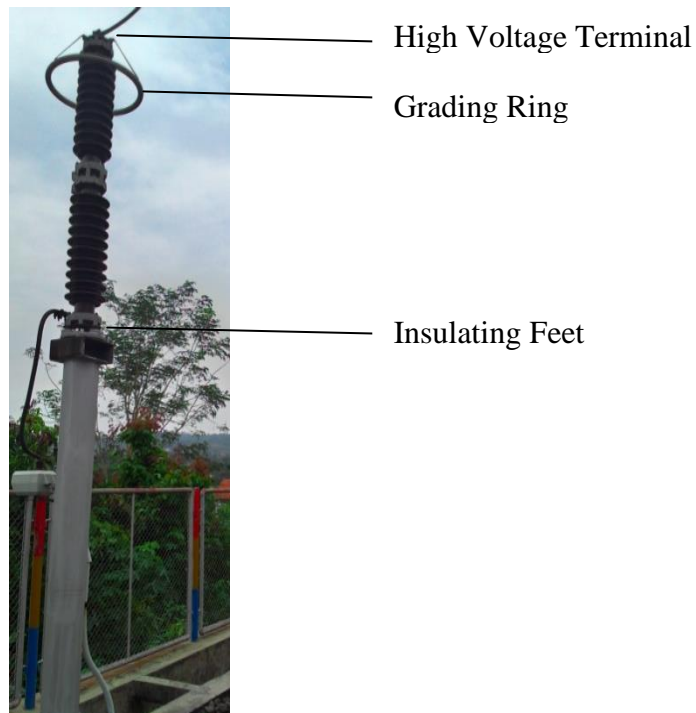
### C. Arrester

Dalam sistem tenaga listrik arrester merupakan kunci koordinasi isolasi. Saat surja (*surge*) tiba di gardu induk kemudian arrester akan melepaskan muatan listrik dan tegangan abnormal yang akan mengenai gardu induk dan peralatannya akan berkurang. Setelah surja (petir atau hubung) dilepaskan melalui arrester masih terdapat arus mengalir dikarenakan tegangan sistem yang disebut sebagai arus dinamik atau arus susulan (*follow current*). Arrester harus memiliki ketahanan termis yang cukup terhadap enersi dari arus susulan tersebut, serta harus mampu untuk memutuskannya <sup>[2]</sup>.

### 1. Arrester Jenis Seng Oksida (ZnO)

Arrester jenis ini merupakan arrester yang tidak terdapat sela seri didalamnya dan memiliki satu atau lebih unit yang kedap udara dimana masing-masing unit diisi blok tahanan katup yang merupakan elemen aktif dari arrester.

Gambar 2.3. berikut ini merupakan arrester jenis ZnO.

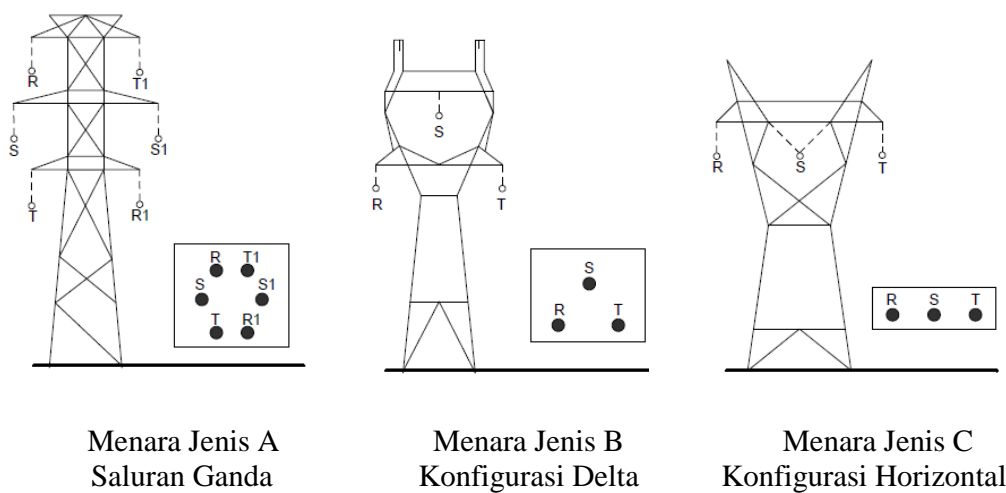


Gambar 2.3. Arrester Jenis Seng Oksida

Prinsip kerja arrester ini pada dasarnya sama dengan arrester katup. Arrester ini tidak memiliki sela seri sehingga sangat bergantung pada tahanan dalam arrester itu sendiri. Saat terkena petir, tahanan arrester akan turun sehingga menjadi konduktor dan mengalirkan petir ke bumi. Saat arus petir lewat, tahanan kembali naik dan arrester bersifat sebagai isolator.

#### D. Menara Transmisi

Menara transmisi digunakan untuk menopang kawat – kawat penghantar pada sebuah saluran transmisi. Saluran tegangan tinggi maupun ekstra tinggi menggunakan menara yang terbuat dari baja. Pada Gambar 2.4. ditunjukkan beberapa bentuk menara baja dan konfigurasi penghantar saluran transmisi.



Gambar 2.4. Bentuk Menara dan Konfigurasi Penghantar Transmisi Hantaran Udara <sup>[17]</sup>

Pada gambar 2.4. dapat dilihat bentuk menara sesuai konfigurasi penghantar menara transmisi. Pada konfigurasi saluran ganda dapat dilihat terdapat 2 buah penghantar fasa. Pada konfigurasi delta, penghantar fasa R S T tersusun seperti bentuk delta. Sedangkan pada konfigurasi horizontal penghantar fasa R S T tersusun secara horizontal. Pada BAB III. Metode Penelitian dapat dilihat rumus untuk menghitung impedansi surja menara transmisi berdasarkan jenis penampang menaranya. Berdasarkan jenis penampang menaranya maka menara dengan konfigurasi saluran ganda diasumsikan sebagai menara jenis A, menara

dengan konfigurasi delta diasumsikan sebagai menara jenis B, dan menara dengan konfigurasi horizontal diasumsikan sebagai menara jenis C, hal ini dikarenakan bentuk penampang menara tersebut dapat dikatakan hampir sama sesuai dengan konfigurasi penghantar fasa menara.

### E. Gardu Induk

Tegangan yang dibangkitkan dari generator terbatas dalam orde belasan kilovolt, sedangkan transmisi membutuhkan tegangan dalam orde puluhan sampai orde ratusan kilovolt, untuk menaikkan tegangan diperlukan transformator daya *step up*. Tegangan transmisi dalam puluhan sampai ratusan kilovolt, sedangkan konsumen membutuhkan sampai dua puluhan kilovolt, sehingga di antara transmisi dan konsumen di butuhkan transformator daya *step down*. Gambar 2.5. berikut ini memperlihatkan arrester yang terpasang pada gardu induk Teluk Betung.



Gambar 2.5. Arrester Gardu Induk Teluk Betung

Semua perlengkapan yang terpasang di sisi sekunder dan primer ini harus mampu memikul tegangan tinggi. Transformator daya beserta perlengkapannya yang disebut sebagai gardu induk<sup>[16]</sup>. Gambar 2.6. menunjukkan sebuah gardu induk yaitu gardu induk teluk betung beserta peralatannya.



Gambar 2.6. Gardu Induk Teluk Betung

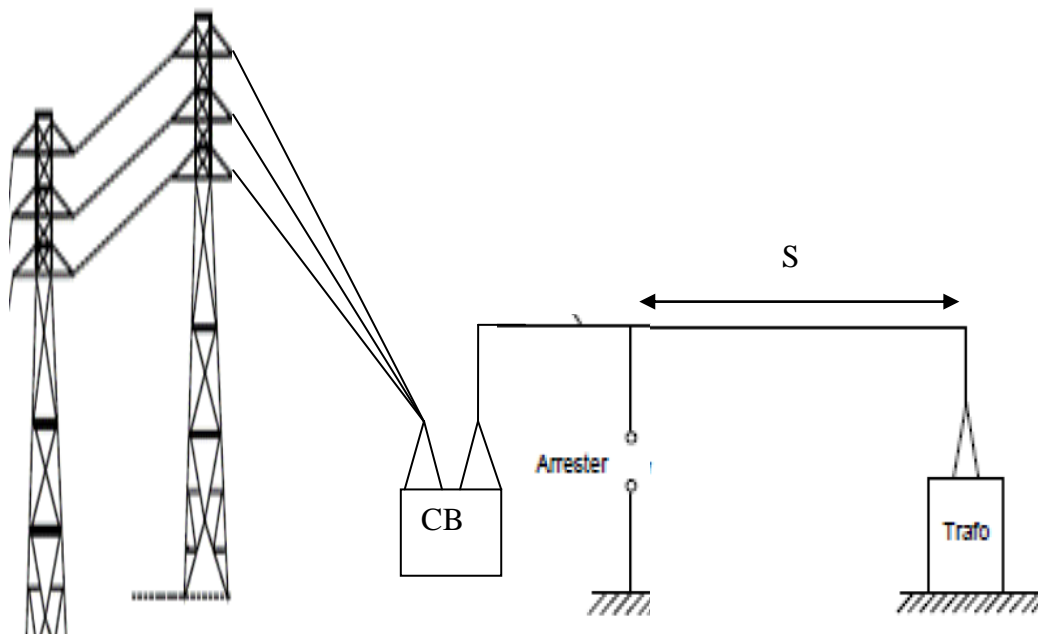
Dilihat dari jenis transformator daya yang terpasang, gardu induk dibagi atas gardu induk *step up* dan gardu induk *step down*. Gardu induk *step up* adalah gardu induk penaik tegangan dimana tegangan yang dihasilkan dari pembangkit kemudian dinaikkan menjadi tegangan yang lebih tinggi yang kemudian akan disalurkan menuju saluran transmisi. Gardu induk *step down* merupakan gardu induk penurun tegangan, dimana tegangan yang disalurkan dari saluran transmisi akan diturunkan tegangannya kemudian akan



didistribusikan ke gardu distribusi. Gardu induk dapat juga dibagi atas lokasi instalasinya, yaitu gardu induk pasangan dalam dimana setiap peralatan tegangan tinggi terpasang di dalam dan gardu induk pasangan luar dimana setiap peralatan tegangan tinggi terpasang di luar ruangan.

#### F. Jarak Maksimum Arrester dan Transformator

Terdapat beberapa metoda yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum yang diizinkan antara arrester dan transformator yang dilindungi, salah satunya metoda pantulan berulang. Pada gambar 2.7. menunjukkan penempatan arrester dan *transformator* dengan jarak  $S$ .



Gambar 2.7. Arrester dan Transformator Sejarak  $S$

Metoda pantulan berulang merupakan metoda pendekatan yang digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan, dan untuk menentukan panjang maksimum dari kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung jarak aman maksimum antara arrester dan transformator, sehingga dalam penempatan arrester berada pada posisi yang tepat dan dapat melindungi peralatan, dalam hal ini yaitu transformator. Berikut ini adalah persamaan untuk metoda pantulan berulang<sup>[5]</sup> :

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

Dimana :  $E_a$  = tegangan percik arrester

$E_p$  = tegangan pada jepitan transformator

$A = de/dt$  = kecuraman gelombang datang, dan dianggap konstan

$S$  = jarak antara arrester dan transformator

$v$  = kecepatan merambat gelombang

## 2.2. Penelitian Mengenai Arrester

1. Syakur Abdul et al, dalam “*Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir Pada Jaringan Tegangan Menengah*” membahas mengenai kinerja arrester pada jaringan 20 KV yang disebabkan oleh induksi sambaran petir secara berulang. Rangkaian simulasi berdasarkan pada jaringan tegangan menengah 3 fasa distribusi Mojosongo, penyulang 1. Simulasi induksi sambaran terjadi pada tiang 16 pada fasa R dan T yang disebabkan oleh sambaran berulang pada fasa S. Sambaran petir terjadi tiga kali pada saluran. Sambaran pertama 20 kA, selanjutnya 12 kA dan 9 kA. Waktu sambaran yang digunakan pun dari 0,6 ms dan 0,3 ms. Hasil simulasi menunjukkan pada sambaran pertama induksi tegangan fasa R sebesar 795,39 kV dan dipotong oleh arrester menjadi sebesar 11,375 kV. Sambaran kedua menyebabkan kenaikan tegangan pada fasa R sebesar 729,89 kV dan dipotong oleh arrester menjadi sebesar 2,6434 kV. Sambaran ketiga menyebabkan kenaikan tegangan induksi fasa R 497,82 kV dan dipotong arrester menjadi 11,309 kV, dimana setelah dilakukan perbandingan pada setiap fasa setelah arrester bekerja diketahui bahwa arrester tersebut dapat memotong kenaikan induksi tegangan yang cukup besar dan mampu menetralsisir gangguan tegangan induksi akibat petir<sup>[15]</sup>. Perbedaan penelitian ini adalah pada sistem jaringan tegangan yang digunakan pada jaringan tegangan menengah 20 KV dan pada penelitian ini akan dilakukan untuk gardu induk 150 KV.

2. Penelitian oleh Saengsuwan dan Thipprasert dalam "*Lightning Arrester Modelling Using ATP-EMTP*", membahas mengenai pemodelan *lightning arrester* menggunakan ATP/EMTP yang mendeskripsikan analisis operasi dari surja arrester metal oxida dari model IEEE W.G. 3.4.11 dan Pincetti menggunakan ATP-EMTP. Pada waktu muka standar, presentase error dari model IEEE lebih tinggi daripada model Pincetti. Pada kondisi *switching overvoltage* presentase error IEEE hampir sama seperti model Pincetti <sup>[13]</sup>. Perbedaannya dimana unjuk kerja arrester yang digunakan adalah pada 220 volt dan penelitian ini akan membahas arrester pada jaringan tegangan tinggi.
  
3. Penelitian oleh Violeta Chis et all, mengenai "*Simulation Of Lightning Overvoltages With ATP-EMTP And PSCAD/EMTDC*"<sup>[18]</sup> mendeskripsikan tentang pemodelan tegangan lebih petir dengan membandingkan menggunakan 2 program tersebut. Simulasi dilakukan untuk saluran transmisi 220 kV dengan menara setinggi 40 meter dan berjarak 280 meter serta tahanan kaki sebesar 30 ohm. Simulasi tegangan lebih petir selanjutnya dilakukan menggunakan software ATP dan PSCAD. Setelah dilakukan simulasi diperoleh hasil tegangan di atas menara, bawah menara. Pada simulasi diperoleh hasil yang hampir sama antara simulasi dengan ATP dan PSCAD. Perbedaan pada penelitian ini adalah saluran transmisi disimulasikan pada saluran transmisi 150 kV dan dilanjutkan dengan rambatan gelombang yang menuju gardu induk serta hanya menggunakan software ATP.

4. Penelitian oleh Sapto Nugroho dalam "*Analisis Pengaruh Tegangan Induksi Akibat Sambaran Petir Tak Langsung di Penyulang Badai 20 kV PLN Cabang Tanjung Karang Menggunakan Simulasi EMTP*" mendeskripsikan tentang pengaruh tegangan induksi dengan jarak tertentu di saluran udara tegangan menengah terhadap besar ketahanan impuls isolasi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan jarak sambaran yang bervariasi yaitu pada 30 m dan 50 m dari titik saluran dan arus sambaran balik petir yang digunakan dimulai dari 10 kA kemudian ke 50 kA hingga 100 kA. Simulasi pada penelitian ini dilakukan dengan memodelkan penyulang Badai 20 kV PLN Cabang Tanjung Karang sebanyak 10 tiang. Pengaruh dari induksi tegangan dari saluran diukur melalui voltmeter yang terpasang pada titik awal, titik tengah dan titik akhir saluran. Pada simulasi dilakukan pemasangan arester dengan jarak pemasangan antara 300 m sampai 400 m pada saluran. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa semakin jauh jarak sambaran maka semakin kecil nilai tegangan induksi, serta pemasangan arester dengan jarak 300 m cukup efektif untuk mengurangi tegangan lebih akibat sambaran petir tak langsung<sup>[10]</sup>. Perbedaan pada penelitian ini ialah simulasi sambaran petir menyambar terlebih dahulu pada menara transmisi dan merambat menuju gardu induk.
  
5. Penelitian oleh Agung Setiawan dalam "*Karakteristik Unjuk Kerja Arrester ZnO Tegangan Rendah 220 volt*", mendeskripsikan tentang karakteristik arrester ZnO 220 volt dalam mengatasi impuls untuk digunakan sebagai sistem proteksi saluran tegangan rendah dengan

melakukan simulasi menggunakan program EMTP. Pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan antara hasil pengujian arrester ZnO 220 volt dengan hasil simulasi. Pengujian dilakukan menggunakan tegangan impuls kapasitif dengan tegangan uji impuls dari 1200 volt hingga 1700 volt. Pada simulasi dilakukan dengan melakukan simulasi terhadap 3 model ZnO yaitu model IEEE, pincetti dan Saha. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa arrester ZnO 220 volt memiliki tegangan potong dan tegangan residu yang masih berada di bawah batas BIL. Dan model arrester IEEE dapat diterapkan sebagai model arrester tegangan rendah 220 volt dikarenakan memiliki presentase tegangan residu terkecil dibandingkan model lainnya terhadap pengujian yaitu sebesar 4,83<sup>[14]</sup>. Perbedaan pada penelitian ini adalah arrester yang digunakan diterapkan sebagai arrester untuk gardu induk dan simulasi yang dilakukan disebabkan impuls petir pada saluran transmisi.