

Simulasi Tegangan Lebih Akibat Sambaran Petir terhadap Penentuan Jarak Maksimum untuk Perlindungan Peralatan pada Gardu Induk

Ayu Sintianingrum¹, Yul Martin², Endah Komalasari³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹ayusintianingrum@gmail.com

²yul.martin@eng.unila.ac.id

³endah.komalasari@eng.unila.ac.id

Intisari — Energi listrik merupakan faktor penting untuk menunjang kehidupan dan kegiatan masyarakat. Dalam proses penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen seringkali terjadi gangguan. Gangguan yang terjadi pada saluran transmisi dan distribusi salah satunya disebabkan oleh sambaran petir yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Sambaran petir yang terjadi pada gardu induk akan menyebabkan kenaikan tegangan lebih yang besar pada peralatan di gardu induk.

Untuk penentuan jarak maksimum arrester dilakukan dengan melakukan perhitungan yang selanjutnya dilakukan simulasi tegangan lebih akibat sambaran petir menggunakan software Alternative Transients Program (ATP). Simulasi dilakukan dengan memvariasikan arus petir yang menyambar serta waktu muka petir yang berbeda dan penentuan rating arrester dan jarak aman arrester dan transformator. Analisis dilakukan dengan melakukan perbandingan terhadap kedua waktu muka petir serta perubahan variasi arus petir.

Dari hasil simulasi dan analisis diketahui bahwa perubahan waktu muka petir menyebabkan perbedaan perubahan tegangan yaitu tegangan pada waktu muka petir 1,2 μ s lebih besar dibandingkan tegangan pada waktu muka petir 2 μ s, hal ini dikarenakan waktu untuk mencapai puncak akan semakin cepat dengan semakin kecil waktu muka petir. Selain itu diperoleh perbandingan perubahan tegangan pada saat sebelum arester dan setelah melalui arester. Pada hasil penelitian ini diperoleh jarak maksimum arrester dan transformator yang disarankan yaitu sebesar 29,4 m.

Kata kunci — arrester, alternative transients program (ATP), gardu induk, petir.

Abstract — Electrical energy is an important factor for sustaining life and community activities. In the process of distribution of electrical energy from substations to consumers is often have a obstacle. The one of obstacle of the transmission lines and the distribution caused by lightning strikes occurring in the power system. Lightning strikes that occur in substations will cause a large increase overvoltage at the equipment in the substation.

To determine the placement of arrester done by calculations and next doing overvoltage simulation of lightning strike using software Alternative Transients Program (ATP). Simulations doing by varying the flow of lightning striking and different front time of lightning also a safe maximum distance of arrester and transformer. The analysis was performed by a comparison of the two lightning front time also the lightning current variation.

From the simulation results and analysis showing that the lightning front time variation causing a voltage change which the voltage at the front time of 1.2 μ s is higher than the voltage at the front time of 2 μ s, this is because the time to reach the top will faster with a little lightning front time. Besides that, getting the result comparison of the voltage change before and after going through arrester. On the results of this study arrester and transformer maximum distance suggested is 29,4 m.

Keywords— arrester, alternative transients program (ATP), substation, lightning.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan faktor penting untuk menunjang kehidupan dan kegiatan masyarakat. Energi listrik yang dihasilkan pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi ke gardu induk. Gardu induk memiliki peran penting dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit sampai ke konsumen. Dalam proses penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen seringkali terjadi gangguan, salah satunya adalah masalah gangguan tegangan lebih transien. Tegangan lebih transien dapat disebabkan oleh sambaran petir.

Sambaran petir yang terjadi pada gardu induk akan menyebabkan kenaikan tegangan lebih yang besar pada peralatan di gardu induk. Tegangan lebih ini dapat merusak isolasi peralatan apabila melewati batas isolasi peralatan (BIL) yang diizinkan. Oleh karena itu diperlukan sistem perlindungan peralatan pada gardu induk terhadap sambaran petir yaitu menggunakan arrester yang biasa disebut sebagai penangkap petir, dimana tegangan surja akan dibatasi dibawah BIL peralatan.

Penempatan arrester sedekat mungkin dengan peralatan dapat melindungi peralatan dari gangguan tegangan lebih transien. Saat terjadi gelombang berjalan yang menimbulkan tegangan lebih terhadap peralatan yang letaknya sedikit jauh dari arrester maka peralatan tersebut akan tetap terlindungi, bila jarak arrester masih dalam radius kerja proteksi.

Penelitian ini akan mensimulasikan tegangan lebih akibat sambaran petir terhadap penentuan jarak maksimum untuk perlindungan peralatan pada gardu induk. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software *Alternative Transients Program (ATP)* dengan memodelkan jaringan sistem tenaga yang mendekati kondisi eksisting pada ATP sehingga dapat diketahui besar tegangan yang ditimbulkan petir terhadap arrester dan gardu induk serta

menghitung jarak maksimum arrester dan transformator yang disarankan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1) 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.

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.

2) 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. Surja petir

merupakan tegangan lebih disebabkan oleh petir.

3) 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.

4) 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.

5) 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*. Transformator daya beserta perlengkapannya yang disebut sebagai gardu induk.

6) Jarak Maksimum Arrester dan Transformator

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 :

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

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

B. Penelitian Mengenai Arrester

Beberapa penelitian tentang arrester yang pernah dilakukan antara lain :

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 Mojosoongo, 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

- menetralkan gangguan tegangan induksi akibat petir^[15].
- 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 oksida dari model IEEE W.G. 3.4.11 dan Pincetti menggunakan ATP-EMTP^[13].
 - 3) Penelitian oleh Violeta Chis et al, mengenai “*Simulation Of Lightning Overvoltages With ATP-EMTP And PSCAD/EMTDC*” 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^[18].
 - 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 arrester 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 arrester dengan jarak 300 m cukup efektif untuk mengurangi tegangan lebih akibat sambaran petir tak langsung^[10].

- 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^[14].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan perhitungan untuk menghitung nilai variabel yang akan dimasukkan pada simulasi dan selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software *Alternative Transiens Program* (ATP). ATP merupakan sistem program universal yang digunakan untuk simulasi

digital terhadap gejala fenomena transien serta sifat elektromekanis dalam sistem tenaga elektrik. Dengan program digital ini, jaringan yang kompleks dan sistem kontrol dapat disimulasikan

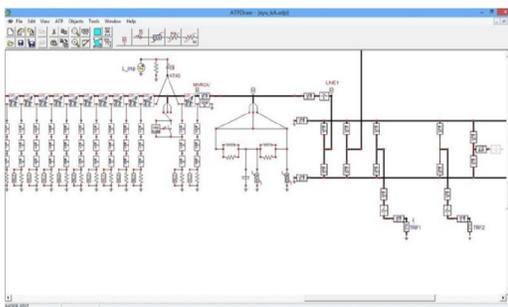
Adapun prosedur dalam penelitian ini yaitu :

- 1) Penyiapan Data-Data dan Spesifikasi Peralatan
- 2) Perhitungan Parameter Saluran
- 3) Pembuatan Simulasi Saluran Transmisi dan Gardu Induk Teluk Betung
- 4) Analisis dan Pembahasan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi ATPDraw

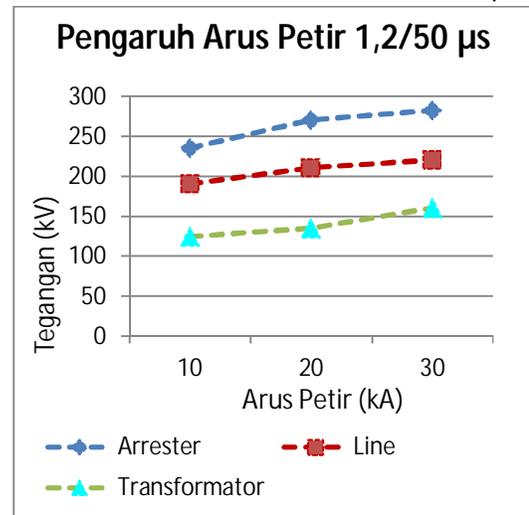
Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi saluran transmisi dan gardu induk dengan mengambil contoh model Gardu Induk Teluk Betung. Simulasi dilakukan menggunakan program ATP dengan asumsi menara transmisi terdekat dengan gardu induk diberikan arus petir yang menyambar kawat tanah dimana model petir yang digunakan adalah tipe *heidler* dengan amplitudo petir bervariasi dari 10 kA, 20 kA dan 30 kA. Waktu muka petir yang digunakan adalah 1,2 μ s dan 2 μ s.



Gbr. 1 Rangkaian Simulasi Dengan Arrester

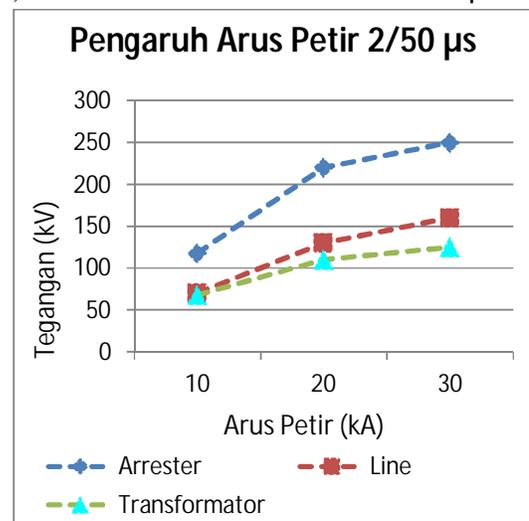
B. Analisa Hasil Simulasi

1) Waktu Muka Dan Waktu Ekor 1,2/50 μ s



Gbr. 2 Hubungan Besar Arus Petir dengan Tegangan pada Gardu Induk untuk Impuls Petir 1,2/50 μ s

2) Waktu Muka Dan Waktu Ekor 2/50 μ s



Gbr. 3 Hubungan Besar Arus Petir dengan Tegangan pada Gardu Induk untuk Impuls Petir 2/50 μ s

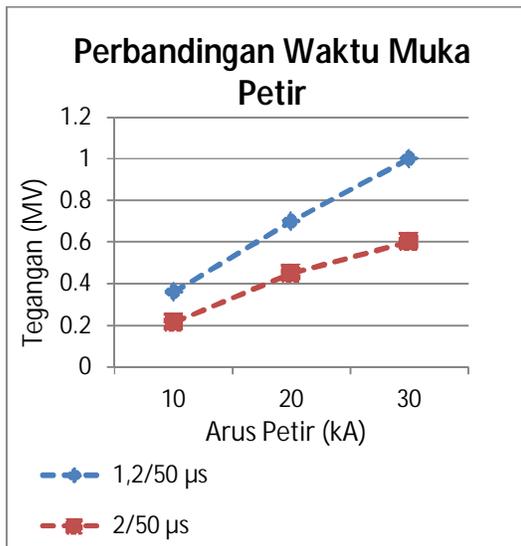
Besar tegangan yang terjadi pada menara, arrester, line dan transformator akan semakin besar seiring dengan bertambah besar arus petir. Namun, dengan adanya arrester yang terpasang pada sebelum gardu induk maka besar tegangan yang tiba pada gardu induk dapat diminimalisir, hal ini juga disebabkan oleh pemasangan arrester dalam jarak yang aman sehingga tidak melebihi batas yang

diizinkan dan peralatan pada gardu induk dapat terlindungi dari sambaran petir. Pengaruh Waktu Muka Petir Terhadap Tegangan Menara Transmisi

$$58800 = 2000S$$

$$S = 29,4 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh jarak maksimum arrester dan transformator yang disarankan adalah sebesar 29,4 m sehingga transformator di gardu induk dapat terlindungi dari tegangan surja petir.



Gbr. 4 Hubungan Besar Waktu Muka Petir dengan Tegangan pada Menara Transmisi di Fasa C

Grafik tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada menara transmisi, dimana besar arus petir sama, dengan waktu muka 1,2/50 μs lebih besar daripada tegangan pada menara transmisi dengan waktu muka 2/50 μs. Perbedaan nilai tegangan antara kedua waktu muka petir tersebut dikarenakan semakin kecil nilai waktu muka petir maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan puncak akan semakin cepat sehingga tegangan yang tiba akan semakin besar.

C. Perhitungan Jarak Arrester – Transformator

Untuk menghitung jarak maksimum yang diizinkan antara arrester dan transformator pada penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

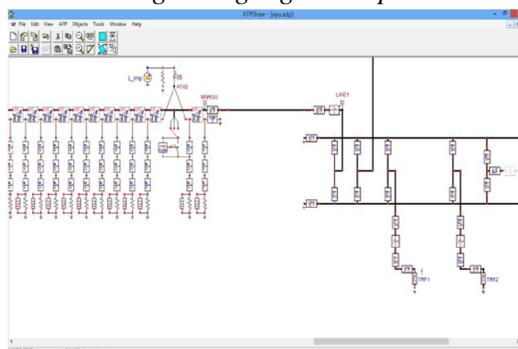
$$E_p = E_a + 2 A S/v$$

$$650 = 454 + 2.1000.S/300$$

$$650 = 454 + 2000S/300$$

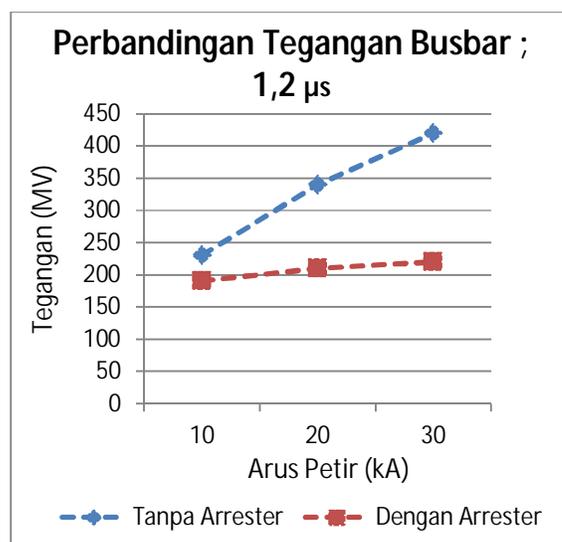
$$196 = 2000S/300$$

D. Perbandingan Tegangan Tanpa Arrester



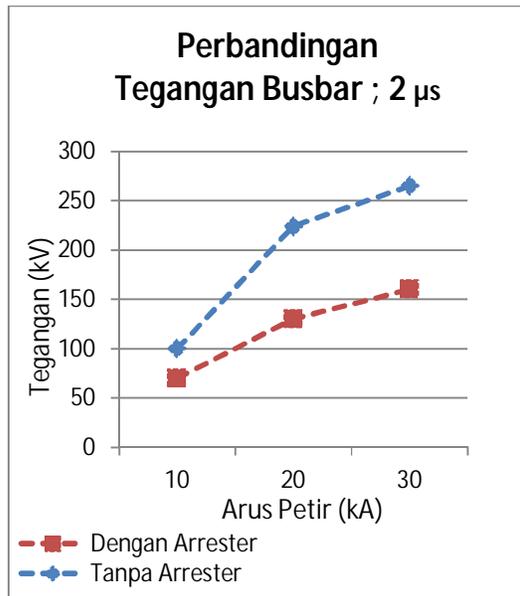
Gbr. 5 Rangkaian Simulasi Tanpa Arrester

Model rangkaian simulasi sama dengan rangkaian simulasi dengan terpasang arrester namun yang membedakan hanya pada rangkaian simulasi tidak terdapat arrester pada rangkaian tersebut. Hal ini ditujukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan lebih yang terjadi pada gardu induk apabila tidak terpasang arrester.



Gbr. 6 Perbandingan Saat Terpasang Arrester Dan Tanpa Arrester Di Fasa C Dengan Waktu Muka Petir 1,2/50 μs

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa tegangan pada gardu induk apabila terjadi sambaran petir dan tidak terpasang arester akan sangat tinggi. Dari hasil simulasi menunjukkan seberapa besar nilai tegangan yang akan tiba pada gardu induk apabila tidak terpasang arrester untuk setiap arus petir dari 10 kA, 20 kA dan 30 kA.



Gbr. 7 Perbandingan Saat Terpasang Arrester Dan Tanpa Arrester Di Fasa C Dengan Waktu Muka Petir 2/50 μ s

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbandingan yang sangat signifikan saat tanpa pemasangan arrester dan setelah pemasangan arrester. Saat dipasang arrester maka besar tegangan lebih dapat diredam oleh arrester sehingga tegangan pada gardu induk tidak melebihi batas yang diizinkan.

Oleh karena itu, pemasangan arrester yang terdapat pada ujung saluran sangat mempengaruhi besar tegangan yang tiba pada gardu induk. Pemasangan arester tersebut juga harus memperhatikan jarak aman maksimum arester-transformator sehingga kinerja arester dapat lebih optimal dalam mengatasi tegangan lebih surja petir.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

- 1) Tegangan lebih pada waktu muka petir 1,2/50 μ s lebih besar dibandingkan nilai tegangan lebih pada saat waktu muka petir 2/50 μ s disebabkan karena semakin kecil waktu muka petir maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak tegangan semakin cepat.
- 2) Nilai tegangan transformator pada simulasi masih berada dibawah batas yang diizinkan yaitu dibawah 750 kV, hal ini disebabkan karena pengaruh pemasangan arrester yang terdapat pada ujung saluran dengan jarak aman maksimum.
- 3) Jarak aman maksimum dari simulasi antara arrester dan transformator yang disarankan sebesar 29,4 m sehingga transformator dapat terlindung dari pengaruh surja petir.

REFERENSI

- [1] Arismunandar, A. 1984. *Teknik Tegangan Tinggi*. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [2] Arismunandar, A. Kuwahara S. 1973. *Teknik Tenaga Listrik Jilid 2*. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [3] Chabrol, A. McDonagh, N. 2013. *Calculation Of Lightning Overvoltage Failure Rates For a Gas Insulated Substation*. Paper. ESB International. Ireland.
- [4] Greenwood, Allan. 1970. *Electrical Transients in Power Systems*. John Wiley & Inc. USA.
- [5] Hutaaruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga. Jakarta.
- [6] IEEE *Modelling Guidelines for Fast Front Transients*. 1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York.
- [7] J.A Martinez, P. Chowduri, R Irvani, A. Keri, D. Povh. 1998. "Modelling Guidelines For Very Fast Transients In Gas Insulated Substations". IEEE Working Group.

- [8] M.A, Sargent. M, Darveniza.1969. *Tower Surge Impedance IEEE Trans Vol1.PAS-88*. May. Hal. 680-687.
- [9] M. Pakpahan, Parouli. Khayam Umar. Ambara Guna, I.P.G. 2002. *Impedansi Konduktor Pengetanahan Pada Kajian Tegangan Lebih Akibat Petir*. Seminar Nasional dan Workshop Tegangan Tinggi. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- [10] Nugroho, Sapto. 2005. *Analisis Pengaruh Tegangan Induksi Akibat Sambaran Petir Tak Langsung di Penyulang Badai 20 kV PLN Cabang Tanjung Karang Menggunakan Simulasi EMTP*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [11] Oramus, P. Florkowski, M. *Influence of Various transmission Line Models on Lightning Overvoltages in Insulation Coordination Studies*. Seminarium. Korporacyne Centrum ABB. Krakow.
- [12] Prikler, László. Høidalen Hans Kr. 2009. *ATPDraw for Windows 5.6*. Norway.
- [13] Saengsuwan, T. Thipprasert W. 2004. *Lightning Arrester Modeling Using ATP-EMTP*. Paper. Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering Kasetsart University. Bangkok.
- [14] Setiawan, Agung. 2006. *Karakteristik Unjuk Kerja Arrester ZnO Tegangan Rendah 220 volt*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [15] Syakur, Abdul. Agung Warsito. Liliyana Nilawati. 2009. *Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV*. Paper. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- [16] Tobing, Bonggas L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [17] Tobing, W Roland. 2010. *Pengaruh Impedansi Surja Pembumian Menara Transmisi Terhadap Tegangan Lengan Menara*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [18] Violeta, Chis. Cristina, Bala. Mihaela, Daciana Craciun. *Simulation Of Lightning Overvoltages With ATP-EMTP And PSCAD/EMTDC*. Paper. Department Of Mathematics And Computer Science. University Of Arad.
- [19] Zoro, Reynaldo. 2013. *Proteksi Sistem Tenaga*. Diktat. Teknik Tenaga Listrik, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB. Bandung.