

**Perencanaan Koordinasi Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi Gardu Induk 150 kV
Berdasarkan Arus Surja Petir Pada Sistem Interkoneksi Sumatera Bagian Selatan
(Sumbagsel) dan Sumatera Bagian Tengah (Sumbateng)**

Oleh:

Yusreni Warmi, ST, MT*, Dasman, ST, MT*, Minarni, S. Si., MT**

*Dosen Jurusan Teknik Elektro, **Teknik Informatika

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Padang

Jl. Gajah Mada, Kandis nanggalo, Padang

mn_nafi@yahoo.com

Abstract

The simulation results show the influence arrester laying, the magnitude of overvoltage that occurs in power transformer such as placement system arresters on transmission 150 kV transformer greatly affect the amount of voltage surges that occur in transformers and arresters, surge and affects the amount of current flowing in the wire melting of CO. System-1 is an effective placement system arresters. In terms of voltage surges generated: the system is not easy to produce high voltage surges that of the four systems, the system-1 is a system that produces the low-voltage surge in both the transformer and the arresters. Overvoltage that occurs in the equipment due to lightning surge currents greater value if the distance laying lightning arresters of the equipment is the greater, for the laying of the lightning arrester at a distance of 6 meters, the peak voltage value on each piece of equipment, CT is 543.837 kV, CB is 566.659 kV, DS is 579.357 kV Arrester is 527.884 and 527.884 kV transformer is Power. Meanwhile, at a distance of 10 meters, overvoltage arising on each piece of equipment increases, the CT is 543.600 kV, CB is 567.269, DS is 579.381, 528.097 kV Arrester is and is 528.123 kV Power Transformer. The more steep lightning current waveforms into the substation, the greater the value of the voltage over to the protected equipment. For laying the same distance is 6 meters, acquired 527.884 kV to 87 kA lightning, 8/20, 559.222 kV to 87 kA lightning, 1/70, 558.803 kV to 87 kA lightning strike, 1.2 / 50.

Keywords: Insulation Coordination, Transients Over voltages, EMTP

Abstrak

Hasil simulasi menunjukkan adanya pengaruh peletakan arrester, terhadap besarnya tegangan lebih yang terjadi pada transformator daya seperti; Sistem penempatan arrester pada trafo transmisi 150 kV sangat mempengaruhi besarnya tegangan surja yang terjadi pada trafo dan arrester, dan mempengaruhi besarnya arus surja yang mengalir pada kawat lebur dari CO. Sistem-1 merupakan sistem penempatan arrester yang efektif. Dari segi tegangan surja yang dihasilkan: sistem ini tidak mudah menghasilkan tegangan surja yang tinggi sehingga dari keempat sistem yang ada, sistem-1 merupakan sistem yang menghasilkan tegangan surja paling rendah baik pada trafo maupun pada arrester. Tegangan lebih yang terjadi pada peralatan akibat arus surja petir nilainya semakin besar bila jarak peletakan lightning arrester dari peralatan tersebut semakin besar yakni, untuk peletakan lightning arrester pada jarak 6 meter, maka nilai tegangan puncak pada masing-masing peralatan, CT adalah 543,837 kV, CB adalah 566,659 kV, DS adalah 579,357 kV, Arrester adalah 527,884 dan Transformator Daya adalah 527,884 kV. Sedangkan pada jarak 10 meter, tegangan lebih yang timbul pada masing-masing peralatan bertambah, CT adalah 543,600 kV, CB adalah 567,269, DS adalah 579,381, Arrester adalah 528,097 kV dan Transformator Daya adalah 528,123 kV. Semakin curam bentuk gelombang arus petir yang masuk ke gardu induk, maka semakin besar nilai tegangan lebih yang sampai pada peralatan yang dilindungi. Untuk jarak peletakan yang sama yaitu 6 meter, diperoleh 527,884 kV untuk sambaran petir 87 kA, 8/20 μs , 559,222 kV untuk sambaran petir 87 kA, 1/70 μs , 558,803 kV untuk sambaran petir 87 kA, 1,2/50 μs .

Kata kunci: Koordinasi Isolasi, Tegangan Lebih Transien, EMTP

1. Pendahuluan

Saluran Transmisi memegang peranan penting dalam proses penyaluran daya dari pusat-pusat pembangkit hingga ke pusat-pusat beban. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan sistem transmisi tenaga listrik yang handal dengan tingkat keamanan yang memadai.

Pada sistem interkoneksi kelistrikan di pulau Sumatera Bagian Selatan (Sumbagsel) dan pulau Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng), dipergunakan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Sambaran petir pada saluran transmisi dapat menimbulkan tegangan lebih transien pada peralatan, hal ini akan membahayakan bila tegangan tersebut melampaui tingkat isolasi dasar peralatan (*BIL*). Sehingga untuk menanggulangi permasalahan tersebut diterapkan konsep koordinasi isolasi pada sistem (Jaya A., 2000).

Koordinasi isolasi pada sistem tenaga listrik merupakan pemilihan kekuatan listrik dari peralatan dan aplikasinya. Hal ini berhubungan dengan tegangan yang akan timbul di dalam sistem, dimana peralatan harus mampu menahan tegangan tersebut dengan memperhitungkan karakteristik dari peralatan proteksi, sehingga dapat mengurangi ancaman tegangan lebih yang akan timbul pada peralatan secara teknis dan ekonomis (E Kuffel, 1984).

Pada kasus-kasus dimana saluran daya (kawat fasa) langsung terkena petir (*kegagalan perlindungan*), kerusakan peralatan mungkin terjadi pada ujung-ujung saluran, hal ini disebabkan oleh adanya tegangan lebih transien yang merambat menuju gardu induk. Tegangan ini biasanya sampai lebih dari satu juta volt. Bila tegangan tersebut tidak diamankan dengan alat pengaman, maka akan menyebabkan kerusakan isolasi pada peralatan. Sambaran petir pada kawat tanah atau menara dapat juga

menimbulkan *back flashover* pada kawat fasa. *Back flashover* terjadi bila gelombang arus petir yang mengenai kawat tanah merambat melalui impedansi surja menara ke tanah, namun karena resistansi tanah cukup besar menyebabkan gelombang arus pantul akan merambat kembali ke puncak menara. Bila gelombang tegangan pantul tersebut melebihi tegangan tembus isolator yang ada pada tiang transmisi, maka arus petir akan terinjeksi ke kawat fasa (Hutauruk, 1991).

Perlindungan peralatan pada gardu induk biasanya menggunakan arrester yang dapat membatasi harga tegangan surja di bawah tingkat isolasi dasar peralatan. Namun pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi di tempat-tempat yang agak jauh dari arrester (Naidu, 1995). Oleh karena itu jarak optimal yang diizinkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dapat ditentukan dengan memperhatikan kecuraman dari gelombang surja yang datang, kecepatan perambatan gelombang, tegangan percik arrester, sehingga konsep perlindungan terhadap peralatan dalam hal ini koordinasi isolasi dapat tercapai secara optimal (Hutauruk, 1991).

2. Metodologi Penelitian

EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transients*) pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi (*lumped*), rangkaian terdistribusi, atau kombinasi dari kedua rangkaian tersebut. Program ini pertama kali dikembangkan oleh H.M. Dommel yang mengembangkan versi pertama di *Munich Institute of Technology* pada awal tahun 1960-an. H.M. Dommel melanjutkan pekerjaannya tersebut di BPA (*Bonneville Power Administration*) dan bekerja sama dengan S. Meyer. Selanjutnya H.M. Dommel

mengembangkan program ini di *University of British Columbia*.

Seperti disebutkan diatas, EMTP lebih ditekankan untuk menyelesaikan persoalan transient pada sistem tenaga listrik, walaupun demikian program ini juga dapat menyelesaikan persoalan tenaga listrik dalam keadaan tunak.

EMTP dapat digunakan untuk menganalisis transients pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R , L , dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, saluran yang ditransposisi atau saluran yang tidak ditransposisi. EMTP sangat baik digunakan untuk menganalisis transients pada operasi switching surge dan lightning surge karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, CB (*Circuit Breaker*), transformator, arrester, sumber surja petir, dan pemodelan saluran transmisi baik untuk saluran yang tergantung frekuensi maupun tidak (Dommel, Herman, 1996). Persamaan-persamaan differensial pada saluran transmisi tanpa rugi-rugi untuk saluran multi konduktor dengan N fasa, diperoleh :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = [Z][Y]V \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = [Z][Y]I \quad (2.2)$$

Dengan V dan I adalah besaran fasa, juga dinyatakan dengan V_{fasa} dan I_{fasa} . Dengan menggunakan transformasi node dua matrik eigenvector, T_V , dan T_I , untuk $[Y]$ $[Z]$ diperoleh :

$$[I] = [I_{fasa}] = [T_I][I_{node}] \quad (2.3)$$

$$[V] = [V_{fasa}] = [T_V][V_{node}] \quad (2.4)$$

$$[T_I]^{-1} = [T_V]^T \quad (2.5)$$

3. Hasil Diskusi

a. Skenario-1

Bentuk rangkaian sebagaimana diperlihatkan Gambar 4.5 bila gelombang e_1 sebagai gelombang tegangan surja yang datang pada saluran-1 dengan nilai puncak E_1 maka pada saluran-2 yang menjadi tempat terpasangnya arrester akan terjadi gelombang tegangan surja e_2 dengan nilai puncak dua pertiga dari nilai puncak gelombang e_1 seperti berikut ini (Persamaan 4-1):

$$E_2 = \frac{2}{3} \cdot E_1$$

Gelombang e_2 ini akan dapat membuat arrester terpercik bila tegangan percik dari arrester telah dijangkau atau dilampaui oleh tegangan surja gelombang tersebut. Karena gelombang e_2 yang terjadi disebabkan oleh gelombang e_1 yang pertama kali datang pada sistem, maka dari sini akan dicari nilai puncak tegangan surja E_1 yang membuat arrester terpercik.

Tegangan surja yang terjadi pada arrester di titik A pada saluran-2 untuk sistem ini adalah V_A yang didapatkan dari atau dapat dituliskan menjadi

$$V_A = 2 \cdot A_v \cdot E_2 [k]$$

bila ditentukan nilai $V_A = 66$ kV maka nilai E_2 adalah 44,00713 kV. Berdasarkan Persamaan (4-1) nilai puncak tegangan surja gelombang e_1 akan didapatkan sebagaimana berikut ini:

$$E_1 = \frac{3}{2} \cdot 44,0071 = 66,0106 \text{ kV}$$

Jadi nilai minimal puncak tegangan surja gelombang e_1 yang dapat menyebabkan arrester terpercik adalah 66,0106 kV.

b. Skenario-2

Sistem-2 dengan bentuk rangkaian sebagaimana diperlihatkan Gambar 4.12 bila gelombang e_1 sebagai gelombang tegangan surja yang datang pada saluran-1 dengan nilai puncak E_1 maka pada saluran-2 yang menjadi tempat terpasangnya arrester akan terjadi gelombang tegangan surja e_2 dengan nilai puncak seperti berikut ini :

$$E_2 = \frac{2 \frac{1}{z_1}}{\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_T}} \cdot E_1$$

Nilai tegangan surja pada arrester di titik A adalah V_A yang didapatkan dari Persamaan (4-10) seperti di bawah ini:

$$V_A = A_V \cdot E_2 [k]$$

bila ditentukan nilai $V_A = 66$ kV maka nilai E_2 adalah 34,55 kV. Berdasarkan Persamaan (4-9) nilai puncak tegangan surja gelombang e_1 akan didapatkan sebagaimana berikut ini:

$$E_1 = \frac{\frac{1}{491} + \frac{1}{491} + \frac{1}{5000}}{2 \frac{1}{491}} \cdot 34,55 = 36,25 \text{ kV}$$

Jadi nilai minimal puncak tegangan surja gelombang e_1 yang dapat menyebabkan arrester pada sistem-2 terpercik adalah 36,25 kV.

c. Skenario-3

Sistem-3 memiliki bentuk rangkaian yang seperti sistem-2 yang diperlihatkan gambar 4.18. Sehingga nilai minimal puncak tegangan surja gelombang e_1 yang dapat menyebabkan arrester pada sistem-3 terpercik adalah 66,0106 kV.

d. Skenario-4

Sistem-4 dianggap sebagai sistem dengan satu saluran sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 sebagai rangkaian penggantinya. Sehingga gelombang e_1 sebagai gelombang tegangan surja yang datang pada saluran-1 dengan nilai puncak E_1 adalah sama dengan tegangan surja yang akan membuat arrester terpercik.

Pada sistem ini nilai tegangan surja pada arrester di titik A sama dengan nilai tegangan surja di titik T. Dengan demikian tegangan surja pada arrester

adalah V_A yang didapatkan dari Persamaan (4-14) seperti di bawah ini:

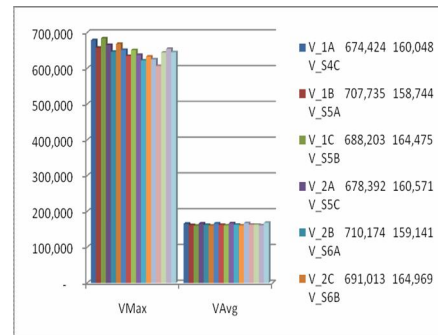
$$V_A = A_V \cdot E_1 [k]$$

Sehingga dengan menentukan nilai tegangan surja pada arrester adalah 66 kV maka nilai puncak tegangan surja E_1 yang membuat arrester terpercik adalah

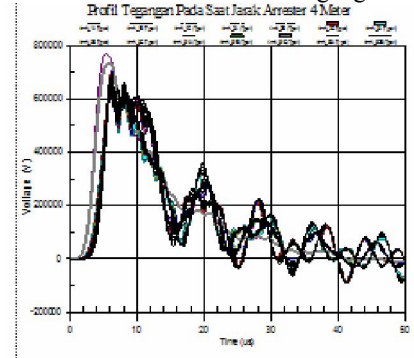
$$E_1 = \frac{V_A}{A_V [k]} = 56,4343 \text{ kV}$$

Jadi nilai minimal puncak tegangan surja yang membuat arrester terpercik pada sistem-4 adalah 56,4343 kV.

Nilai minimal puncak tegangan surja yang membuat arrester terpercik dari keempat sistem penempatan arrester dapat dirangkum dalam Tabel 4.2 di bawah ini:



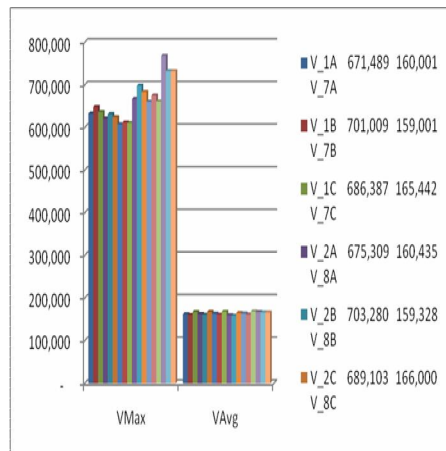
Gambar 3.1 Nilai Puncak Tegangan Surja



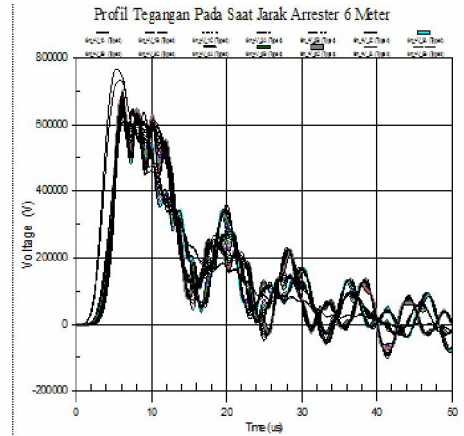
Gambar 3.2 Nilai Puncak Tegangan Surja Pada Saat Arrester 4 Meter

Bila arrester terpercik karena adanya tegangan surja yang terjadi pada arrester tersebut secara teknis menandakan bahwa tegangan surja tersebut telah mencapai batas tegangan kerja atau percik dari arrester sebagai pelindung trafo dari tegangan surja tersebut. Gambar 3.3 dan 3.4 memperlihatkan puncak tegangan surja dari gelombang tegangan surja yang datang (e_1) yang membuat arrester bekerja atau terpercik pada masing-masing sistem penempatan arrester. Dapat dilihat bahwa pada sistem-1 dan 3 memiliki puncak tegangan surja datang yang lebih tinggi dibandingkan sistem-2 dan 4 untuk membuat arrester bekerja atau terpercik, sedangkan pada sistem-2 dan 4 dengan puncak tegangan surja datang yang lebih rendah dari sistem-1 dan 3 ternyata sudah dapat membuat arrester bekerja. Hal ini menandakan bahwa sistem-1 dan 3 tidak mudah menghasilkan tegangan surja yang tinggi yang membuat arrester bekerja, sedangkan sistem-2 dan 4 adalah sistem yang mudah menghasilkan tegangan surja yang tinggi hingga membuat arrester bekerja untuk melindungi trafo dari tegangan surja tersebut.

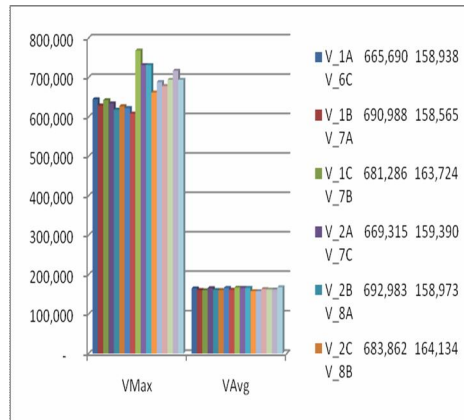
Hasil perhitungan dan pengamatan nilai tegangan surja pada arrester dan trafo dari keempat sistem penempatan arrester.



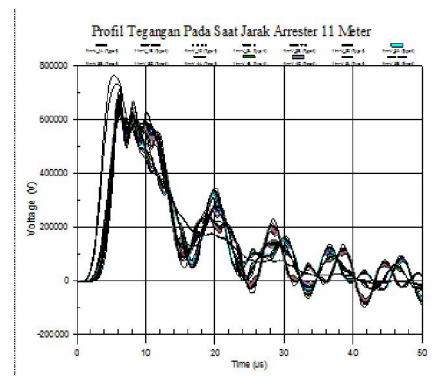
Gambar 3.3 Nilai Puncak Tegangan Surja Pada Arrester



Gambar 3.4 Nilai Puncak Tegangan Surja Pada Arrester 6 Meter



Gambar 3.5 Nilai Puncak Tegangan Surja Pada Arrester 11 Meter



Gambar 3.6 Nilai Puncak Tegangan Surja Pada Arrester 11 Meter

Pada gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan nilai tegangan tertinggi pada trafo di titik T. Dari kedua tabel ini terlihat bahwa pada sistem-1 dan 3, tegangan surja pada trafo (titik T) dan arrester (titik A) memiliki nilai tegangan surja paling rendah bila dibandingkan sistem 2 dan 4. Dan sistem-2 memiliki nilai tegangan surja paling tinggi bila dibandingkan dengan sistem yang lain baik pada trafo maupun pada arrester.

Puncak gelombang tegangan surja sangat mempengaruhi kecuraman dari gelombang surja tersebut. Semakin tinggi puncak gelombang tegangan surja, akan membuat gelombang tegangan surja semakin curam dan tentunya gelombang surja ini juga akan semakin besar. Gelombang tegangan surja yang besar, yang terjadi pada arrester akan menuntut arrester untuk bekerja pada kondisi yang lebih maksimal atau lebih berat, karena arrester akan merasakan gelombang tegangan surja yang besar. Sehingga besarnya gelombang tegangan surja yang terjadi pada arrester akan mempengaruhi umur kerja dari arrester tersebut.

Jika dibandingkan, gelombang tegangan surja yang terjadi pada arrester di sistem-1 dan sistem-3 memiliki nilai puncak yang lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem-2, dengan demikian umur kerja arrester pada sistem-1 dan sistem-3 akan lebih lama dibandingkan umur kerja arrester sistem-2.

Pada Gambar terlihat bahwa arrester yang berada pada sistem-2 akan merasakan gelombang tegangan surja yang lebih besar dibandingkan arrester pada sistem yang lain, sehingga arrester pada sistem-2 ini akan bekerja atau terpercik pada waktu yang lebih awal atau lebih cepat dibandingkan arrester pada sistem yang lain, hal inilah yang menjadikan arrester bekerja lebih berat. Sedangkan arrester yang berada pada sistem-1 dan sistem-3 akan merasakan gelombang tegangan surja yang lebih

kecil dibandingkan arrester pada sistem yang lain, sehingga arrester pada sistem-1 dan sistem-3 ini akan bekerja atau terpercik pada waktu yang lebih akhir atau lebih lambat dibandingkan arrester pada sistem yang lain, dengan begini arrester dapat bekerja lebih ringan.

Hasil perhitungan dan pengamatan nilai arus surja tertinggi yang mengalir pada kawat lebur dari keempat sistem penempatan arrester diperlihatkan dalam gambar grafik 3.5.

Simulasi arus petir 87 kA 1/70 μ s, bahwa semakin jauh peletakan lightning arrester pada transformator daya, maka tegangan lebih yang sampai pada peralatan makin tinggi, hal ini juga disebabkan oleh bentuk arus surjanya yang curam. Pada kondisi ini tingkat perlindungan sebesar 1,16 untuk jarak peletakan lightning arrester 5 meter (keadaan yang sebenarnya) tingkat perlindungan lebih kecil dari 1,20, tegangan lebih yang sampai pada peralatan melebihi BIL dari masing-masing peralatan. Simulasi arus petir 87 kA (1,5/50 μ s), makin jauh peletakan lightning arrester, makin besar tegangan lebih yang sampai pada peralatan. Kondisi ini dapat menyebabkan kegagalan isolasi pada peralatan, karena tingkat perlindungan hanya mencapai 1,167 Untuk jarak 5 meter. Tegangan lebih yang sampai pada peralatan pada kondisi ini melampaui BIL dari masing-masing peralatan yang diamati, sehingga dapat menyebabkan kegagalan sistem.

Simulasi arus petir 100 kA (8/20 μ s), makin jauh peletakan lightning arrester, makin besar tegangan lebih yang sampai pada peralatan. Kondisi ini dapat menyebabkan kegagalan isolasi pada peralatan, karena tingkat perlindungan hanya mencapai 1,197 Untuk jarak 5 meter. Tegangan lebih yang sampai pada peralatan pada kondisi ini melampaui BIL dari masing-masing peralatan yang diamati, sehingga dapat menyebabkan kegagalan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Warmi Yusreni, Analisis Pengaruh Pelepasan Beban Terhadap Tegangan Lebih Transien Dengan Menggunakan Electro Magnetic Program. Tugas Akhir S2 UGM, 2000.
- [2]. E Kuffel, W. S. Zaengl, High Voltage Engineering, Pergamon press, Oxford, 1984
- [3]. T.S. Hutaaruk, Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja, Erlangga, 1988
- [4]. James D. M. Phelps, P.S. Pugh, James E. Beehler, 765 kV Station Insulation Coordination, Journal, IEEE, Vol Pa-88 No.9, 1969
- [5]. J. Arif. Evaluasi Koordinasi GITET 500 kV dengan Mempehatikan Bentuk Gelombang Surja Petir. Tugas Akhir S2 UGM, 2000.
- [6]. R.E. Clayton, I.S. Grant, D.E. Hedman, D.D. Wilson, Surge Arrester and Very Fast Surge, Journal, IEEE, Vol. Pas-102, No.8, 1993
- [7]. IEEE Modeling and Analysis of Sistem Transients Working Group, Modeling Guidelines for Fast Front Transients, IEEE Transaction on PWRD Vol. 11, No.1, Januari 1996
- [8]. Deniz A. Zalar, A guide to the Application of Surge Arrester for Transformer Protection, IEEE Transaction on Industry Application, Vol, I A-15 No.6 Nopember/Desember 1979.
- [9]. Yamada T, et al, Experimental Evaluation of UHV Tower Model for Lightning Surge Analysis, IEEE Transaction on PWRD, Vol 10, No.1 January 1995
- [10]. Dr. Lorenzo Thione, Trend In Sualtion Coordination Toward the Year 2000, International Symposium on Modern Insulator Technologies
- [11]. M.S Naidu, V. Kamaraju, High Voltage Engineering, Tata MC Graw-Hill Publishing Company Limited, 1995
- [12]. L.V. Bewley, Travelling Waves on Transmission System, 2 nd. Ed, John Wiley & Sons, Newyork, 1951
- [13]. Dr. A. Arismunandar, Teknik Tegangan Tinggi, PT. Pradnya Paramita, Jakatra 1978
- [14]. John Wiley & Sons, Electromagnetic Transients in Power System, Reseach Studies\press Ltd, 1996
- [15]. Dommel, Herman W. Electromagnetic Transients Program, Vancouver, Canada, Agustus 1996
- [16]. EMTP Developoment Coordination Group. The Electromagnetic Transients Program, Version 3, Rule Book 1. Volume 1 EPRI Report 1998
- [17]. EMTP Developoment Coordination Group. The Electromagnetic Transients Program, Version 3, Rule Book 2. Volume 1 EPRI Report 1998
- [18]. EMTP Developoment Coordination Group. The Electromagnetic Transients Program, Version 3, Rule Book 3. Volume 1 EPRI Report 1998