

KINERJA ARRESTER AKIBAT INDUKSI SAMBARAN PETIR PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV

Abdul Syakur¹, Agung Warsito², Liliyana Nilawati
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang, 50275
E-mail: ¹gakusei2003@yahoo.com, ²agung.warsito@gmail.com

Abstract. Electricity demand continues to increase so that the required power in a large number of high quality and reliability. Problems in electric power system that occur in transmission and distribution lines that is often of lightning stroke. This is because Indonesia is in the region the equator with a tropical climate and high humidity, so that Indonesia has a number of lightning strikes.

In this paper the lightning stroke and lightning arrester performance on distribution lines 20 kV were simulated using EMTP (Electromagnetic Transient Program) for lightning stroke observation.

As case study, Mojosongo 1 main feeder 20 kV three phase lines were used. From simulation of lightning stroke 20 kA in By1-61-61E-84-9I on S phase at 0,1 ms, will experience of increase of voltage on S phase was 1,3054 MV and for R phase and T phase will experience of increase of induced voltage were 0,79539 MV and 0,80484 MV. Then we will see performance of MOV Arrester (Metal Oxide Varistor) in overcoming lightning stroke trouble, where arrester can decrease voltage up to 15,198 kV on S phase, while at R phase and T phase arrester can decrease voltage up to 11,375 kV and 13,616 kV.

Keywords: Distribution lines 20 kV, lightning arrester, lightning stroke.

Di masa sekarang kebutuhan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan berkembangnya teknologi. Perkembangan yang pesat ini harus diikuti dengan perbaikan mutu energi listrik yang dihasilkan, yaitu harus memiliki kualitas dan keandalan yang tinggi.

Gangguan yang terbesar dalam sistem tenaga listrik terjadi di daerah penyaluran (transmisi dan distribusi), karena hampir sebagian besar sistem terdiri dari penyaluran dan diantara sekian banyak gangguan yang terjadi, petir merupakan salah satu penyebabnya, hal ini dikarenakan letak Indonesia pada daerah Katulistiwa dengan iklim tropis dan kelembaban yang tinggi, sehingga menyebabkan kerapatan sambaran petir di Indonesia jauh lebih besar dibandingkan dengan negara lainnya.

Terdapat dua macam sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung (*direct stroke*) dan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*). Sambaran petir langsung terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya. Sedangkan sambaran petir tidak langsung terjadi apabila petir menyambar objek di dekat saluran. Dalam penelitian ini akan

membahas gangguan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*).

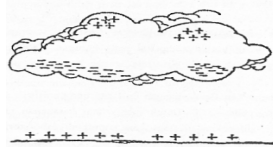
Untuk mengurangi pengaruh buruk dari petir pada saluran biasanya digunakan kawat tanah dan *lightning arrester* (arester). Salah satu yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah *lightning arrester*, karena alat ini memiliki tingkat proteksi yang lebih baik dibandingkan menggunakan kawat tanah. Untuk membantu dalam menganalisis gangguan induksi sambaran petir pada saluran distribusi 20 kV serta kinerja arester dalam mengatasi gangguan, maka digunakan program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*). Sebagai studi kasus diambil data dari Penyulang 1 Gardu Induk Mojosongo Boyolali.

PROSES TERJADINYA PETIR

Teori yang secara luas dapat diterima tentang petir yaitu bahwa awan terdiri dari daerah bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensial di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam tapi gradient tersebut timbul pada bagian

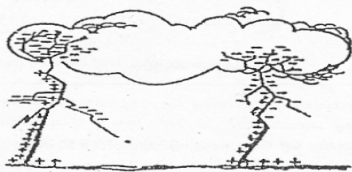
konsentrasi muatan tinggi. Ketika gradient tegangan tinggi pada titik konsentrasi muatan dari awan melebihi harga tembus udara yang terionisasi, maka udara di daerah konsentrasi tekanan tinggi mengionisasi atau tembus (breakdown).

Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradient tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Sambaran petir ke bumi mulai ketika suatu muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan suatu muatan lawan ke bumi seperti gambar 1.



Gambar 1. Muatan Sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi.

Kemudian akan timbul lidah petir arah bawah menyebar dari awan ke bumi seperti terlihat pada gambar 2.



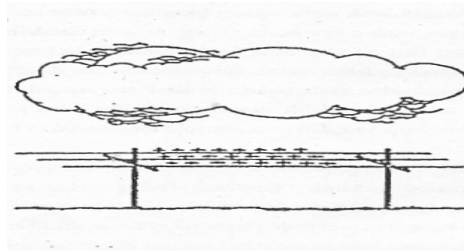
Gambar 2. Lidah petir menjalar ke arah bumi

Begitu lidah petir mendekati bumi, sambaran kearah atas terbentuk, biasanya dari titik tertinggi disekitarnya. Bila lidah petir kearah atas dan kearah bawah bertemu seperti terlihat pada gambar 3, suatu hubungan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan awan dilepaskan ke dalam tanah.



Gambar 3 Kilat sambaran balik dari bumi ke awan

Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada disekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi dinetralsisir seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Kumpulan muatan pada suatu saluran distribusi

SALURAN DISTRIBUSI

Jaringan distribusi menurut fungsi tegangannya dibedakan atas jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer merupakan jaringan dari trafo gardu induk (GI) ke gardu distribusi, jaringan ini dikenal dengan jaringan tegangan menengah (JTM – 20 kV). Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan dari trafo gardu distribusi ke konsumen atau beban. Jaringan distribusi sekunder disebut juga jaringan tegangan rendah (JTR – 220/380 V).

Sistem Pengamanan Saluran Tegangan Menengah Terhadap Sambaran Petir

Ada beberapa cara yang digunakan untuk mengatasi tegangan lebih akibat petir ini yaitu Kawat Tanah, *Rod Gap* di antara terminal *bushing* trafo, Sela Batang, dan *Lightning arrester*.

Kawat Tanah

Jika terjadi sambaran petir ke jaringan distribusi tegangan menengah, kawat tanah akan mengalirkan arus surja petir ke tanah sehingga jaringan tegangan menengah bebas dari gangguan. Pemasangan kawat tanah untuk saluran distribusi merupakan kelanjutan penerapan pada saluran transmisi. Persyaratan yang diperlukan adalah kawat tanah harus mempunyai tahanan kontak yang rendah dan ketahanan impuls isolasi yang tinggi.

Rod Gap di antara Terminal Bushing

Gelombang tegangan petir atau surja yang sampai ke *rod gab* akan dipotong (timbul percikan api diantara celah *rod gab*) sehingga tegangan petir/surja yang sampai ke trafo lebih kecil dari BIL trafo.

Sela Batang

Sela batang merupakan alat pelindung surja yang paling sederhana tetapi paling kuat dan kokoh. Tetapi sela batang ini jarang digunakan pada rangkaian yang penting karena dia tidak dapat memenuhi persyaratan dasar dari suatu alat pelindung yang sebenarnya yaitu tidak dapat memutuskan arus susulan.

Lightning Arrester

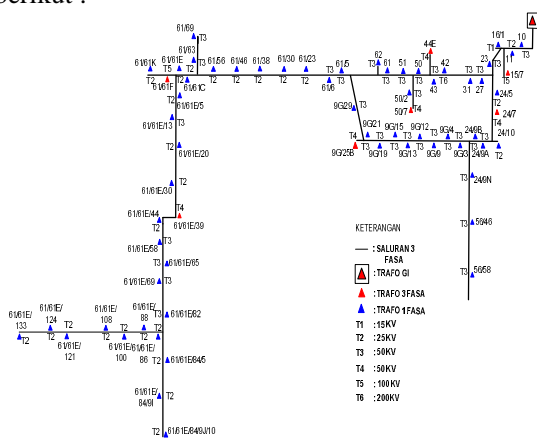
Lightning Arrester adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Arester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang, arester harus membuka dengan cepat kembali, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka.

Ada dua jenis arester yang umum dipakai, yaitu arester jenis ekspulsi dan jenis katup. Salah satu dari jenis arester katup yaitu *arrester* MOV (*Metal Oxide Varistor*).

PERANCANGAN SIMULASI

Diagram Sistem Kelistrikan

Untuk mensimulasikan surja petir dan kinerja arester pada sistem distribusi, sebelumnya akan ditunjukkan gambar jaringan distribusi 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo Penyulang 1, sebagai berikut :



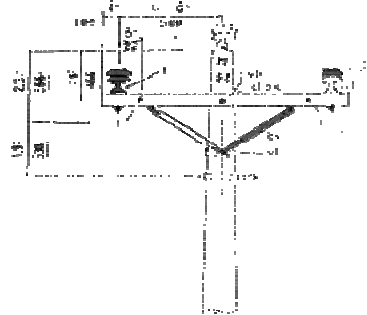
Gambar 5. Jaringan tegangan menengah 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo Penyulang 1

Konfigurasi Konduktor pada Tiang

Dalam simulasi penelitian ini digunakan tipe tiang B1 pada jaringan 3 fasa penyulang 1 Gardu Induk Mojosoongo.



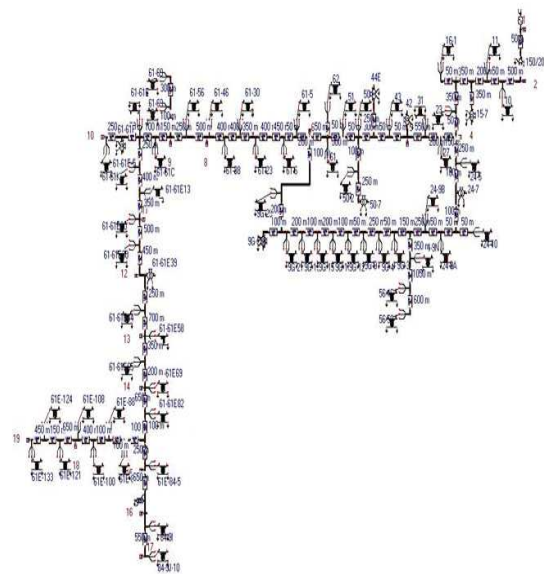
Gambar 6 Konfigurasi penghantar.



Gambar 7 Konfigurasi tiang B1

Perancangan Simulasi

Pada penelitian ini digunakan program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*) untuk mensimulasikan sambaran petir serta kinerja arester pada saluran Mojosoongo 1. Gambar jaringan tegangan menengah 3 fasa, 20 KV, Mojosoongo penyulang 1, pada program EMTP ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 8. Rangkaian simulasi jaringan distribusi 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo Penyulang 1

Sistem distribusi di suplai oleh saluran transmisi. Data untuk sumber tegangan Jaringan Tegangan Menengah 3 fasa, 20 KV, Mojosoongo penyulang 1 yaitu : frekuensi 50 Hz, tegangan 150 kV, AC 3 fasa, titik netral sumber di tanahkan dan perbedaan sudut antar fasa diasumsikan 120^0 .

Transformator yang digunakan yaitu :

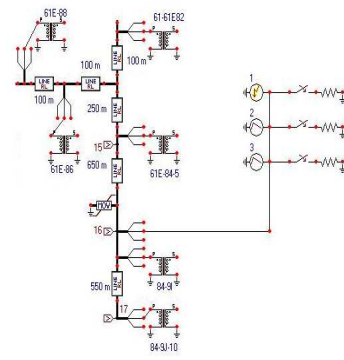
a) Transformator GI

Frequency : 50 Hz, Daya : 30 MVA, Tegangan sisi primer : 150 kV, Tegangan sisi sekunder : 20 kV, Arus sisi primer : 105 A, Arus sisi sekunder : 866 A, dan Impedansi : 12,9 %

b) Transformator di saluran Mojosongo 1

Di sepanjang saluran 3 fasa Mojosongo 1 terdapat 8 Transformator 3 fasa dan 59 Transformator 1 fasa.

Penghantar yang digunakan untuk Jaringan Tegangan Menengah 3 fasa, 20 kV, Mojosongo penyulang 1 adalah jenis AAAC dengan ukuran penampang 240 mm², 150 mm² dan 70 mm² dengan jarak antar tiang distribusi yaitu 50 m.



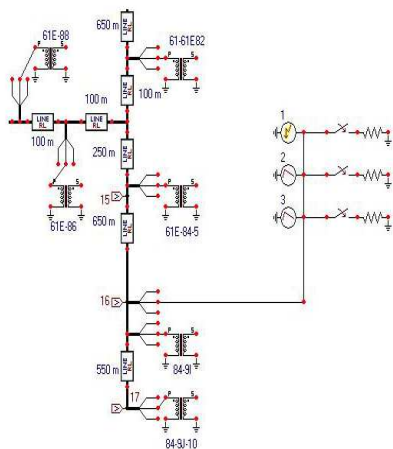
Gambar 10. Rangkaian simulasi gangguan akibat sambaran petir berulang di tiang By1-61-61E-84-9I dan Penempatan Arrester

Simulasi Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang.

Simulasi induksi sambaran petir terjadi di tiang By1-61-61E-84-9I pada fasa R dan fasa T, hal ini terjadi akibat sambaran petir berulang yang menyambar langsung di tiang By1-61-61E-84-9I pada fasa S. Besar arus sambaran yang pertama yaitu 20 kA dengan waktu sambaran 0.6ms. Sedangkan sambaran kedua dan ketiga, yaitu 12 kA dan 9 kA dengan waktu sambaran 0.3ms.

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 11-13 memperlihatkan amplitudo tegangan fasa-netral di saluran distribusi penyulang Mojosongo 1. Simulasi gangguan induksi sambaran petir terjadi di tiang By1-61-61E-84-9I atau "16" pada fasa R dan fasa T. Hal ini terjadi akibat sambaran petir berulang yang terjadi di tiang By1-61-61E-84-9I pada fasa S. Dalam model simulasi ini saluran akan dikenakan tiga kali sambaran petir. Sambaran pertama dengan amplitudo 20 kA, waktu durasi 0,6 ms, dan siklus waktu (0 – 0,6) ms. Sambaran kedua dengan amplitudo 12 kA, waktu durasi 0,3 ms, dan siklus waktu (50,1 – 50,4) ms. Sambaran ketiga dengan amplitudo 9 kA, waktu durasi 0,3 ms, dan siklus waktu (100,1 – 100,4) ms. Diperlihatkan juga hasil simulasi yang terjadi di tiang By1-61-61E-84-9J-10 atau "17" dan di tiang By1-61-61E-84-5 atau "15" sebagai akibat dari gangguan sambaran petir berulang di tiang By1-61-61E-84-9I atau "16" tersebut.



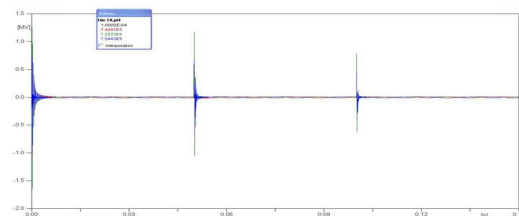
Gambar 9. Rangkaian simulasi sambaran petir di tiang By1-61-61E-84-9I

Simulasi Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang serta Penempatan Arrester.

Tegangan referensi Arrester sebesar 12 kV. Arrester MOV ini akan ditempatkan antara tiang By1-61-61E-84-5 dan By1-61-61E-84-9I, dekat dengan sumber gangguan.

Pengukuran Di Fasa R

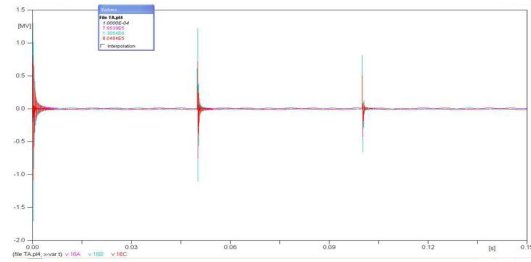
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Amplitudo tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa R

Pengukuran Di Fase T

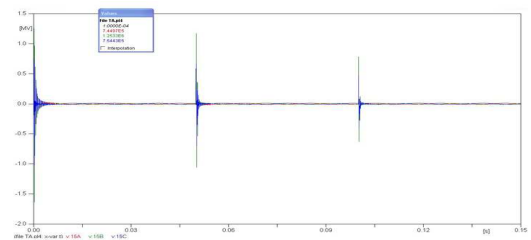
Hasil simulasi dapat ditunjukkan pada gambar 12.



Gbr.12 Amplitude tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa T

Pengukuran di Fase S

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Amplitude tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa S

Tabel 1 Perbandingan amplitudo tegangan sistem dan tegangan setelah gangguan

Tiang	Sambaran	Fasa	Tegangan Sistem Sebehum Gangguan	Tegangan Setelah Gangguan
"16"	1 (0,1ms)	R	11,538 kV	795,39 kV
		S	11,522 kV*	1 305,4 kV*
		T	11,548 kV	804,84 kV
	2 (50,1 ms)	R	11,538 kV	729,89 kV
		S	11,522 kV*	1 217,5 kV*
		T	11,548 kV	720,44 kV
3 (100,1ms)	R	11,538 kV	497,82 kV	
	S	11,522 kV*	812,14 kV*	
	T	11,548 kV	507,27 kV	
"17"	1 (0,1ms)	R	11,538 kV	795,35 kV
		S	11,522 kV*	1 305,3 kV*
		T	11,548 kV	804,8 kV
	2 (50,1ms)	R	11,538 kV	729,85 kV
		S	11,522 kV*	1 217,4 kV*
		T	11,548 kV	720,4 kV
3 (100,1ms)	R	11,538 kV	497,79 kV	
	S	11,522 kV*	812,12 kV*	
	T	11,548 kV	507,24 kV	
"15"	1 (0,1ms)	R	11,538 kV	744,97 kV
		S	11,522 kV*	1 253,3 kV*
		T	11,548 kV	754,43 kV
	2 (50,1ms)	R	11,538 kV	683,58 kV
		S	11,522 kV*	1 169,7 kV*
		T	11,548 kV	674,13 kV
3 (100,1ms)	R	11,538 kV	466,25 kV	
	S	11,522 kV*	779,54 kV*	
	T	11,548 kV	475,7 kV	

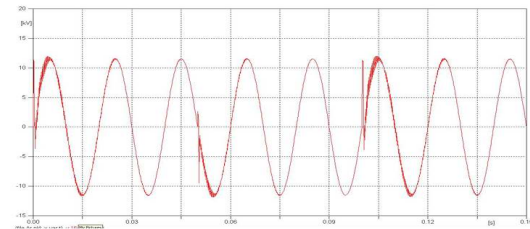
* (Sambaran Langsung)

Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang Setelah Dipasang Arrester.

Hasil simulasi pada gambar 14-16 di bawah ini akan menunjukkan kinerja Arrester MOV dalam *menetralisir* gangguan induksi sambaran petir pada fasa R dan fasa T akibat sambaran petir berulang pada saluran distribusi di tiang By1-61-61E-84-9I atau "16" pada fasa S.

Pengukuran di Fasa R

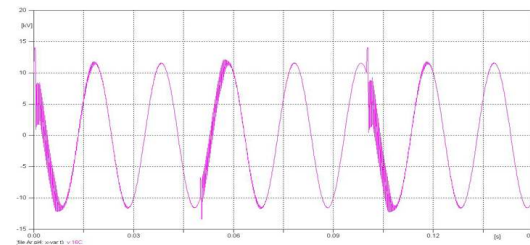
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 14.



Gbr.14 Amplitude tegangan di "16" di fasa R setelah MOV bekerja

Pengukuran di Fasa T

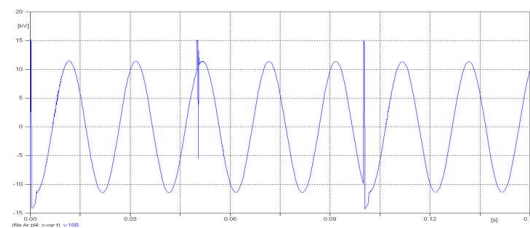
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15. Amplitude tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa R setelah MOV bekerja.

Pengukuran di Fasa S

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Amplitude tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa T setelah MOV bekerja

Tabel 2 Perbandingan amplitude tegangan sebelum dan setelah MOV bekerja

Tiang	Sambaran	Fasa	Tegangan Setelah Gangguan dan sebelum dipasang MOV	Tegangan Setelah Gangguan dan Dipasang MOV
"16"	1 (0,1 ms)	R	795,39 kV	11,375 kV
		S	1 305,4 kV*	15,198 kV*
		T	804,84 kV	13,616 kV
	2 (50,1 ms)	R	729,89 kV	2,6434 kV
		S	1 217,5 kV*	15,175 kV*
		T	720,44 kV	-6,7118 kV
3 (100,1ms)	R	497,82 kV	11,309 kV	
	S	812,14 kV*	15,052 kV*	
	T	507,27 kV	13,612 kV	
"17"	1 (0,1 ms)	R	795,35 kV	11,375 kV
		S	1 305,3 kV*	15,198 kV*
		T	804,8 kV	13,615 kV
	2 (50,1 ms)	R	729,85 kV	2,6432 kV
		S	1 217,4 kV*	15,174 kV*
		T	720,4 kV	-6,7119 kV
3 (100,1 ms)	R	497,79 kV	11,308 kV	
	S	812,12 kV*	15,051 kV*	
	T	507,24 kV	13,611 kV	
"15"	1 (0,1 ms)	R	744,97 kV	10,670 kV
		S	1 253,3 kV*	14,448 kV*
		T	754,43 kV	12,933 kV
	2 (50,1 ms)	R	683,58 kV	2,449 kV
		S	1.169,7 kV*	14,975 kV*
		T	674,13 kV	-6,9062 kV
3 (100,1 ms)	R	466,25 kV	10,809 kV	
	S	779,54 kV*	14,304 kV*	
	T	475,7 kV	12,933 kV	

* (Sambaran Langsung)

PENUTUP

Induksi tegangan pada fasa R dan fasa T di tiang By1-61-61E-84-9I terjadi akibat sambaran petir berulang yang menyambar langsung pada fasa S.

Hasil simulasi sambaran petir pertama (20 kA) pada siklus waktu 0,1 ms. Sambaran tersebut menyebabkan gangguan kenaikan induksi tegangan pada fasa R sebesar 795,39 kV dan pada fasa T sebesar 804,84 kV di tiang "16". Gangguan tersebut dapat dipotong oleh arester MOV menjadi sebesar 11,375 kV dan 13,616 kV.

Hasil simulasi sambaran petir kedua (12 kA) pada siklus waktu 50,1 ms. Sambaran tersebut menyebabkan gangguan kenaikan induksi tegangan pada fasa R sebesar 729,89 kV dan pada fasa T sebesar 720,44 kV di tiang "16". Gangguan tersebut dapat dipotong oleh arester MOV menjadi sebesar 2,6434 kV dan -6,7118 kV.

Hasil simulasi sambaran petir ketiga (9 kA) pada siklus waktu 100,1 ms. Sambaran tersebut menyebabkan gangguan kenaikan induksi tegangan pada fasa R sebesar 497,82 kV dan pada fasa T sebesar 507,27 kV di tiang "16".

Gangguan tersebut dapat dipotong oleh arester MOV menjadi sebesar 11,309 kV dan 13,612 kV. Arestor MOV yang dipasang diantara tiang By1-61-61E-84-5 dan tiang By1-61-61E-84-9I mampu memotong kenaikan induksi tegangan yang cukup besar dan mampu menetralkan gangguan tersebut dengan cepat.

DAFTAR RUJUKAN

- Hutauruk, T.S., Ir., M.E.E, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Jakarta : Erlangga, 1991.
- Denno, Khalil, *High Voltage Engineering in Power Systems*, New Jersey, 1992.
- Naidu, M.S, *High Voltage Engineering*, Second Editon, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1995
- L.Tobing, Bonggas, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Jakarta : Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- Sulasno, *Distribusi Tenaga Listrik*, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
- Sulasno, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Badan penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
- A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta : Pradya Paramita, 1973.
- Syakur, Abdul, ST, MT, *Gejala Medan Tinggi*, UNDIP, 2004.
- Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1988.
- EPRI, *Electromagnetic Transient Program (EMTP)*, Version 1.0, Revised Rule Book, Vol.1:Main Program, EPRI EL-4541-CCMP, Palo Alto, California, April 1986.
- Sanabria, Rodriguez, D, Robles, Ramos, C, *Lightning and Lightning Arrester Simulation in Electerical power distribution Systems*. Agustus 2004.
- http://www.google.co.id/SNI_03-7015-2004.pdf.
- Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM, PT.PLN (PERSERO) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, 1997.
-, *Surge Arrester Technologies*. <http://www.srcdevices.com>, Des.2004.
- Padangratha, Mardawa, *Perhitungan Tegangan Induksi Petir dan Angka Keluaran*, Bandung, 1965.
- Triananta, M. Tomas, Simulasi Sambaran Petir dan Kinerja Arestor pada Saluran Distribusi 20 KV Penyulang 4 Gardu Induk Sronol Menggunakan EMTP, Skripsi S1, Teknik Elektro, Univ. Diponegoro, Semarang, 2007.

- Hidayanto, Fuad, *Perhitungan Outage Rate Akibat Sambaran Petir tidak Langsung Pada Saluran Distribusi 20 KV*, Skripsi S1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- , "Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PLN", PLN Distribusi Jawa Tengah, Semarang, 1992.
- , "Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM", PT PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta, 1997.
- Pabla, A.S., Abdul Hadi, Ir. "Sistem Distribusi Daya Listrik", Erlangga, Jakarta, 1991.
- IEC, *Assesment of The Risk of Damage Due to Lightning, Internasional Standard*, CEI IEC 1662 First Edition, 1995.