

STUDY ON SURGE ARRESTER PERFORMANCE DUE TO LIGHTNING STROKE IN 20 KV DISTRIBUTION LINES

Agung Warsito, Abdul Syakur, Liliyana NS *)

Abstrak

Electric energy has been transmitting from power station to end user with transmission and distribution lines. Lightning strokes are problems that occur in transmission and distribution lines and make them fault when the electric energy were transmitted. Surge Diverter or Lightning Arrester has been installing to reduce these faults. In this paper the simulation of lightning stroke and lightning arrester performance on distribution lines 20 kV were done using EMTP (Electromagnetic Transient Program). Some parameters such as impuls voltage and increasing voltage on distribution line was investigated. As case study in this simulation, Mojosoongo 1 main feeder 20 kV three phase lines were used.

The simulation results show that the lightning stroke 20 kA in By1-61-61E-84-9I on S phase at 0,1 ms, make voltage on S phase was increased about 1,3054 MV. For R phase and T phase will increase of induced voltage were 0.79539 MV and 0.80484 MV. We also show the 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.

Key word : Distribution lines 20 kV, surge arrester, lightning stroke.

Pendahuluan

Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan berkembangnya teknologi dan kebutuhan masyarakat. Perkembangan yang pesat ini harus diikuti dengan ketersediaan dan kesinambungan penyediaan energi listrik. Oleh karena itu diperlukan energi listrik yang memiliki kualitas dan keandalan yang tinggi.

Salah satu penyebab rendahnya tingkat kontinuitas penyaluran energi listrik yaitu adanya gangguan yang terjadi di daerah penyaluran (transmisi dan distribusi), karena hampir sebagian besar sistem tenaga listrik, terdiri dari penyaluran dan diantara sekian banyak gangguan yang terjadi, petir merupakan salah satu penyebabnya. Hal ini disadari, karena letak wilayah Indonesia berada di 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 yang mengenai saluran tenaga listrik, 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 dikaji gangguan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*) pada saluran distribusi 20 kV.

Selain itu, juga akan dikaji unjuk kerja *lightning arrester / surge arrester* yang berfungsi sebagai proteksi pada saluran distribusi. Salah satu alasannya, karena alat ini memiliki tingkat proteksi yang lebih baik dibandingkan menggunakan kawat tanah. Untuk

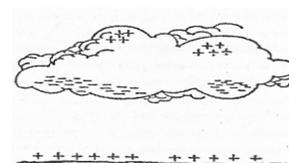
membantu dalam menganalisa gangguan induksi sambaran petir pada saluran distribusi 20 kV serta kinerja arester dalam mengatasi gangguan, maka digunakan program EMTP (*Electromagnetic Transient Program*). Sebagai studi kasus diambil data-data dari Penyulang 1 Gardu Induk Mojosoongo Boyolali.

Dasar Teori

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*).

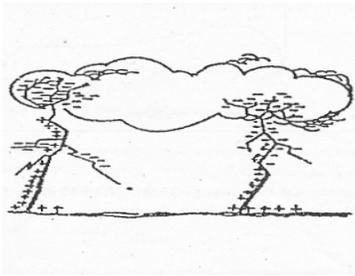
Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradient tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Sambaran petir ke bumi mulai ketika suatu muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan suatu muatan lawan ke bumi seperti gambar 1.



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

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip

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



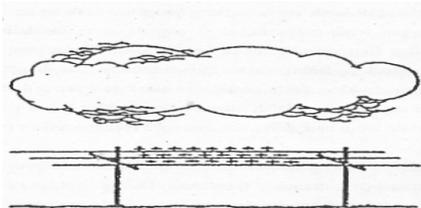
Gbr.2 Lidah petir menjalar ke arah bumi

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.



Gbr.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 dinetralisir seperti terlihat pada gambar 4.



Gbr.4 Kumpulan muatan pada 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 dengan jaringan tegangan rendah (JTR – 220/380 V).

Sistem Pengamanan Saluran Tegangan Menengah terhadap Sambaran Petir

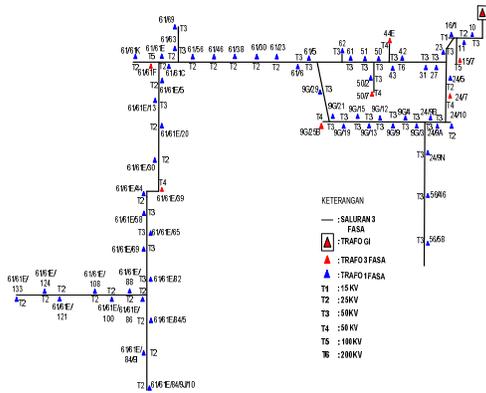
Ada beberapa cara yang digunakan untuk mengatasi tegangan lebih akibat petir ini yaitu:

1. Kawat Tanah
 2. Rod Gap diantara terminal bushing trafo
 3. Sela Batang
 4. Lightning arrester
1. 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.
 2. Rod Gap diantara 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.
 3. 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.
 4. 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 arester MOV (*Metal Oxida 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 :



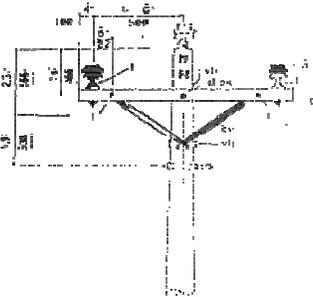
Gbr.5 Jaringan tegangan menengah 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo Penyulang 1

Konfigurasi Konduktor pada Tiang

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



Gbr.6 Konfigurasi penghantar



Gbr.7 Konfigurasi tiang B1

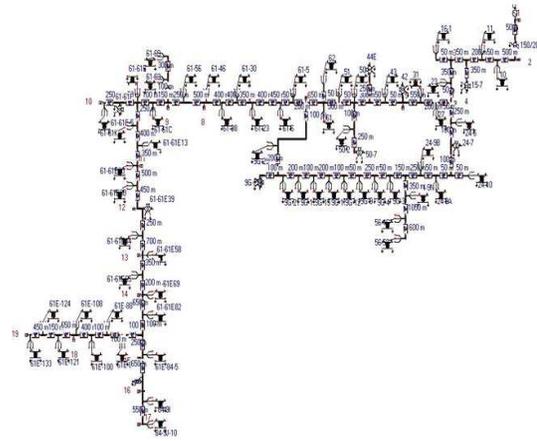
Perancangan Simulasi

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 pada gambar 8.

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°.

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 %



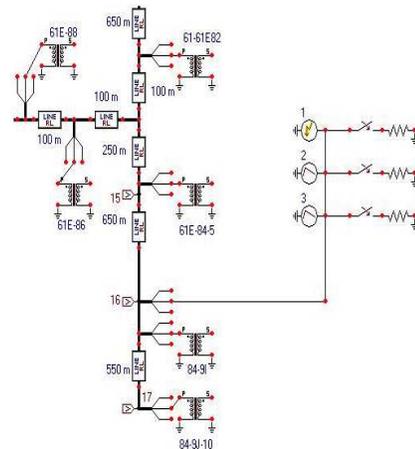
Gbr.8 Rangkaian simulasi jaringan distribusi 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo Penyulang 1

- b. Transformator di saluran Mojosoongo 1
 Di sepanjang saluran 3 fasa Mojosoongo 1 terdapat 8 Transformator 3 fasa dan 59 Transformator 1 fasa.

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

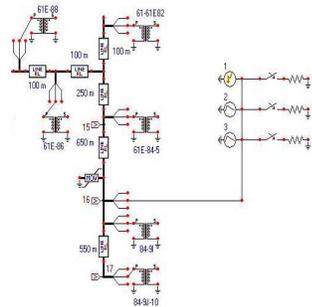
Simulasi Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang

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.



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

Simulasi Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang serta Penempatan Arestes. Tegangan referensi Arestes sebesar 12 kV. Aresteser MOV ini akan ditempatkan antara tiang By1-61-61E-84-5 dan By1-61-61E-84-9I, dekat dengan sumber gangguan.



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

Hasil Simulasi dan Analisa

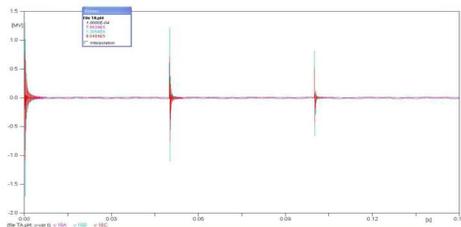
Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang

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-84-9I-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.

1. Pengukuran Di Fasa R

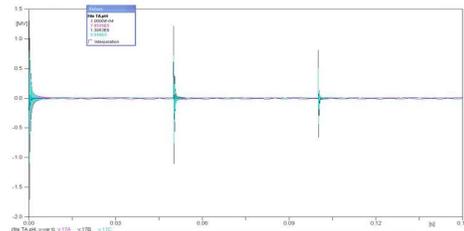
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



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

2. Pengukuran Di Fasa T

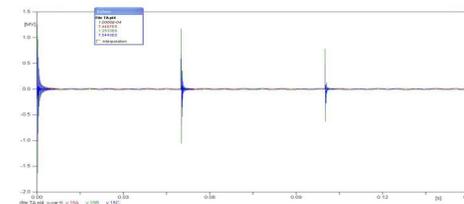
Hasil simulasi dapat ditunjukkan pada gambar di bawah



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

3. Pengukuran Di Fasa S

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah



Gbr.13 Amplitudo 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 Sebelum 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 (50,1 ms)	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 (50,1 ms)	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)

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan sistem sebelum dan sesudah dikenai gangguan sambaran petir, mengalami kenaikan yang signifikan. Tegangan sistem pada fasa S semula 11.522 kV menjadi 1.305,4 kV hal ini karena dikenai injeksi tegangan petir. Ini berlaku untuk semua fasa termasuk fasa S dan fasa T. Namun berdasarkan tabel 1 tersebut juga, dapat dilihat bahwa nilai tegangan untuk fasa S lebih besar pada semua sambaran. Hal ini karena fasa S ini dikenai sambaran petir secara langsung, sedangkan untuk fasa R dan fasa T hanya dikenai sambaran induksinya saja.

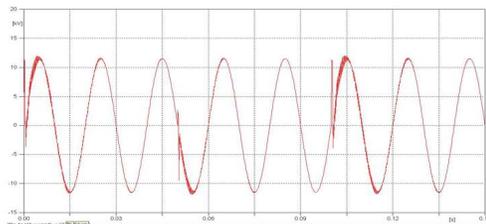
Selain itu, juga dapat dilihat, bahwa nilai tegangan setelah gangguan pada sambaran ke-3 lebih kecil daripada sambaran berulang ke-2. Demikian juga sambaran berulang ke-2 lebih kecil daripada sambaran pertama. Hal ini karena energi petir yang menginjeksi pada saluran konduktor saat sambaran petir pertama masih memiliki energi yang lebih besar, sedangkan sambaran berulang ke-2 dan ke-3 energi petir telah berkurang.

Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang Setelah Ditempatkan Arester.

Hasil simulasi pada gambar 14-16 di bawah ini akan menunjukkan kinerja Arester MOV dalam *menetr-alisir* 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.

1. Pengukuran di Fasa R

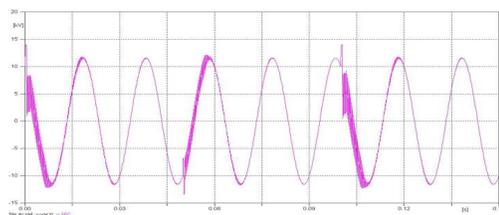
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



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

2. Pengukuran di Fasa T

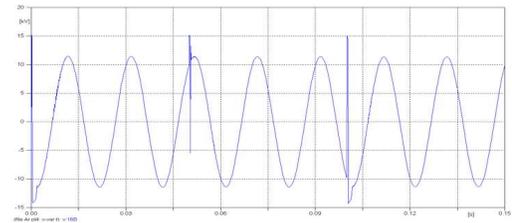
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gbr.15 Amplitudo tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa R setelah MOV bekerja.

3. Pengukuran di Fasa S

Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gbr.16 Amplitudo tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa T setelah MOV bekerja

Tabel.2 Perbandingan amplitudo tegangan sebelum dan setelah MOV bekerja

Tiang	Sambaran	Fasa	Tegangan Setelah Gangguan dan sebelum dipasang MOV	Tegangan Setelah Gangguan dan Dipasang MOV
"16"	1 (0,1ms)	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 (0,1ms)	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 (100,1ms)	R	497,79 kV	11,308 kV
		S	812,12 kV*	15,051 kV*
		T	507,24 kV	13,611 kV
"15"	1 (0,1ms)	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 (100,1ms)	R	466,25 kV	10,609 kV
		S	779,54 kV*	14,304 kV*
		T	475,7 kV	12,933 kV

*(Sambaran Langsung)

Table 2 menunjukkan pengaruh pemasangan arrester MOV pada saat terjadi sambaran petir langsung dan sambaran induksi. Pada saat terjadi gangguan sambaran petir dan belum dipasang arrester MOV, tegangan yang terukur pada fasa R tiang 16 pada sambaran pertama sebesar 795,39 kV. Namun setelah dipasang arrester MOV, tegangan turun menjadi 11,375 kV. Dan ini terjadi disemua fasa, semua tiang dan semua sambaran.

Penurunan tegangan gangguan setelah dipasang arrester MOV ini menunjukkan bahwa arrester MOV bekerja untuk memotong tegangan dan mengalirkan arus surja petir ke tanah. Sehingga tegangan sisa setelah dipotong menjadi lebih kecil.

Kesimpulan

1. 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.
2. 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 arrester MOV menjadi sebesar 11,375 kV dan 13,616 kV.

3. 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.
4. 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.
5. Arester 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.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bantuan untuk penelitian ini melalui Hibah Penelitian Jurusan Teknik Elektro FT UNDIP tahun 2008.

Referensi

1. Hutaauruk, T.S., Ir., M.E.E, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*,
2. Jakarta : Erlangga, 1991.
3. Denno, Khalil, *High Voltage Engineering in Power Systems*, New Jersey, 1992.
4. Naidu, M.S, *High Voltage Engineering*, Second Editon, Tata Mcgraw-Hill Publising Company Limited, New Delhi, 1995
5. L.Tobing, Bonggas, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Jakarta : Gramedia pustaka Utama, 2003.
6. A. Arismunandar, Prof., Dr., *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta : Pradya Paramita, 1973.
7. Syakur, Abdul, *Gejala Medan Tinggi*, UNDIP, 2004.
8. Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1988.
9. EPRI, *Electromagnetic Transient Program (EMTP)*, Version 1.0, Revised Rule Book, Vol.1:Main Program, EPRI EL-4541-CCMP, Palo Alto, California, April 1986.
10. 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.
11. Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM, PT.PLN (PERSERO) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, 1997.
12., *Surge Arrester Technologies*.
13. <http://www.srcdevices.Com> Desember 2004.
14. Padangratha, Mardawa, *Perhitungan Tegangan Induksi Petir dan Angka Keluaran*, Bandung, 1965.
15. Triananta, M. Tomas, Simulasi Sambaran Petir dan Kinerja Arester Pada Saluran Distribusi 20 KV Penyulang 4 Gardu Induk Sronjol Menggunakan EMTP, Teknik Elektro UNDIP, 2007.
16. Hidayanto, Fuad, *Perhitungan OUTAGE RATE Akibat Sambaran Petir tidak Langsung Pada Saluran Distibusi 20 KV*, Teknik Elektro UNDIP, 2007.
17. ----,"*Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PLN*", PLN Distribusi Jawa Tengah, Semarang, 1992.
18. ---,"*Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM*", PT PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan,Jakarta , 1997.
19. Pabla, AS., Abdul Hadi,Ir. "*Sistem Distribusi Daya Listrik*", Erlangga, Jakarta, 1991.
20. IEC, *Assement of The Risk of Damage Due to Lightning, Internasional Standard*, CEI IEC 1662 First Edition, 1995.

