

SIMULASI INDUKSI SAMBARAN PETIR DAN KINERJA ARESTER PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 kV MENGGUNAKAN EMTP

(Studi Kasus Penyulang 1 Gardu Induk Mojosongo Boyolali)

Liliyana Nilawati Sumardi¹, Ir. Agung Warsito, DHET², Abdul Syakur, ST., MT.³

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

At the present, demand of electric power progressively increases, therefore product of electric power have to with quality and have high reliability. The biggest trouble in electric power system happened in distribution and transmission lines, and trouble which often happened is lightning stroke. This matter because of Indonesia are in Katulistiwa with tropical climate and high humidity, so that Indonesia have high number of lightning stroke.

In this final project will make simulation of lightning stroke and lightning arrester performance on distribution lines 20 kV using EMTP (Electromagnetic Transient Program), that will make observation about lightning stroke.

As case study, we will use main feeder Mojosongo 1 20 kV, three phase lines. 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 1.304,4 kV and for R phase and T phase will experience of increase of induced voltage were 794,83 kV and 804,28 kV. Then we will see performance of MOV Arrester (Metal Oxide Varistor) in overcoming lightning stroke trouble, where arrester can decrease voltage till 15,198 kV on S phase, while at R phase and T phase arrester can decrease voltage till 11,376 kV and 13,616 kV.

Kata kunci : Distribution lines 20 kV, lightning arrester, lightning stroke.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 tugas akhir 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 tugas akhir ini adalah *lightning arrester*, 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 Mojosongo Boyolali.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mensimulasikan induksi sambaran petir akibat sambaran petir berulang serta kinerja arester dalam mengatasi gangguan, menggunakan EMTP pada jaringan tegangan menengah 20 kV penyulang 1 Gardu Induk mojosongo Boyolali.

1.3 Pembatasan Masalah

1. Jaringan Tegangan Menengah 20 kV tiga fasa Penyulang Mojosongo 1.
2. Program EMTP yang digunakan adalah ATPDraw versi 3.5.
3. Tugas Akhir ini hanya mensimulasikan dan menganalisis impuls petir serta kinerja arester saat terjadi gangguan induksi sambaran petir pada fasa R dan fasa T di saluran Mojosongo 1.
4. Simulasi gangguan berupa sambaran petir berulang yang menyambar langsung pada fasa S di tiang By1-61-61E-84-9I pada saluran 3 fasa Mojosongo 1.
5. Pada model simulasi jaringan Mojosongo 1 digunakan sistem penghantar 3 fasa 3 kawat tanpa kawat netral dengan konfigurasi segitiga sama sisi.
6. Ditambahkan mengenai kerja arester jenis MOV (Metal Oxide Varistor) pada saat ada sambaran petir.

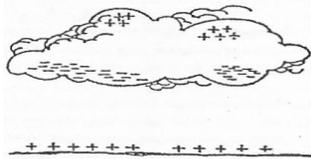
7. Analisis dilakukan hanya dari gardu induk sampai tiang By1-61-61E-133, karena merupakan saluran yang rawan terkena sambaran petir.
8. Tegangan fasa-fasa Transformator GI pada simulasi EMTP diasumsikan 150/20 kV dan beban yang disuplai diasumsikan seimbang.
9. Sistem distribusi tegangan rendah, susut tegangan, perhitungan daya beban, hubungan trafo tidak dibahas dalam tugas akhir ini.

II. Dasar Teori

2.1 Proses Terjadinya Petir

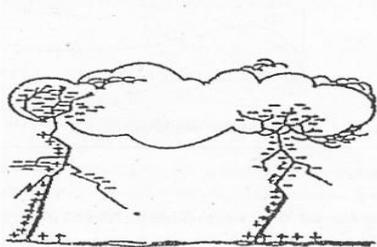
Teori yang secara luas dapat diterima tentang petir yaitu bahwa awan terdiri dari daerah bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensial di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan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



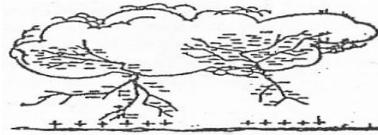
Gbr.1 Muatan Sepanjang pinggir awan menginduksikan muatan lawan pada bumi.

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



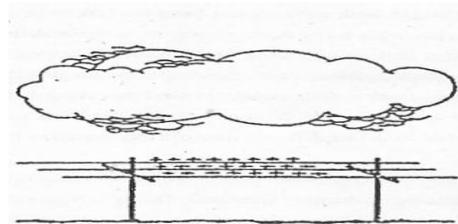
Gbr.2 Lidah petir menjalar ke arah bumi

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

2.2 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).

2.3 Sistem Pengamanan Saluran Tegangan Menengah terhadap Sambaran Petir

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

1. Dengan Kawat Tanah
2. Rod Gap diantara terminal bushing trafo
3. Sela Batang
4. Lightning arrester

2.3.1 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.

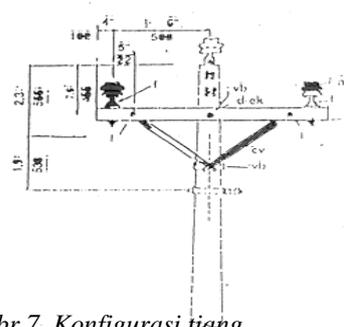
2.3.2 Rod Gab diantara Terminal Bushing Trafo

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.

2.3.3 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.



Gbr.7 Konfigurasi tiang

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 Oxide Varistor*).

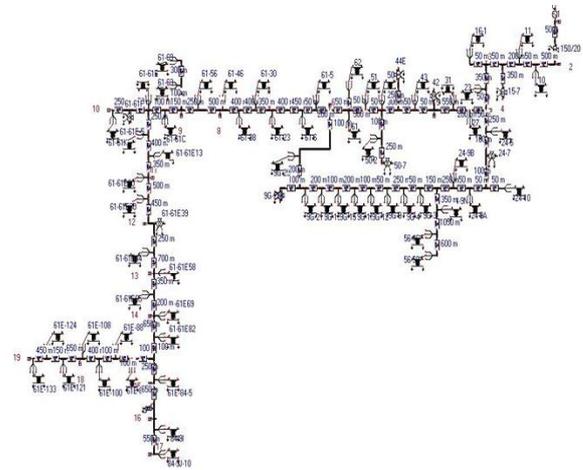
3.2 Perancangan Simulasi

Pada tugas akhir 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 :

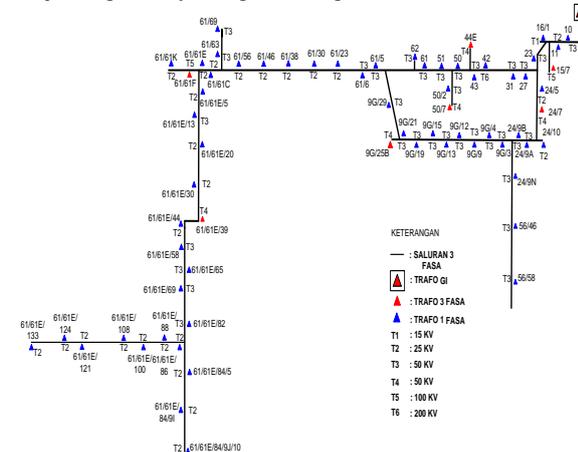
III. Perancangan Simulasi

3.1A 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.8 Rangkaian simulasi jaringan distribusi 3 fasa, 20 KV, Mojosoongo Penyulang 1



Gbr.5 Jaringan tegangan menengah 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 perbedan sudut antar fasa diasumsikan 120^0 .

Transformator yang digunakan yaitu :

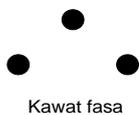
a) Transformator GI

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 Mojosoongo 1

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

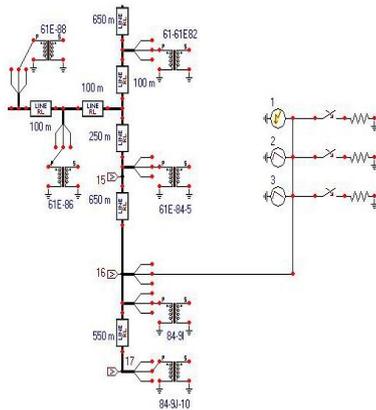
Penghantar yang digunakan untuk Jaringan Tegangan Menengah 3 fasa, 20 kV, Mojosoongo penyulang 1 adalah jenis AAAC dengan ukuran penampang 240 mm², 150 mm² dan 70 mm² dengan jarak antar tiang distribusi yaitu 50 m.



Gbr.6 Konfigurasi penghantar

3.2.1 Simulasi Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang.

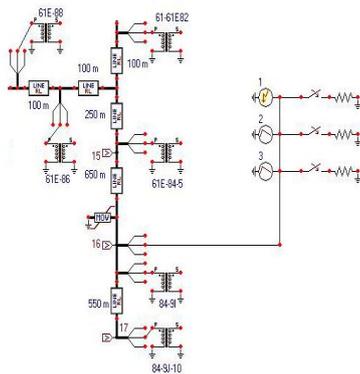
Simulasi induksi sambaran petir terjadi di tiang By1-61-61E-84-9I pada fasa R dan fasa T, hal ini terjadi akibat sambaran petir berulang yang menyambar langsung di tiang By1-61-61E-84-9I pada fasa S. Besar arus sambaran yang pertama yaitu 20 kA dengan waktu sambaran 0.6ms. Sedangkan sambaran kedua dan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



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

3.2.2 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

IV. Hasil Simulasi dan Analisa

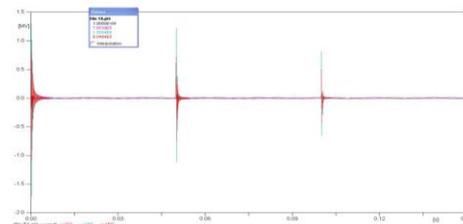
4.1 Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 11-13 memperlihatkan amplitudo tegangan fasa-netral di saluran distribusi penyulung 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.

4.1.1 Pengukuran Di Fasa R

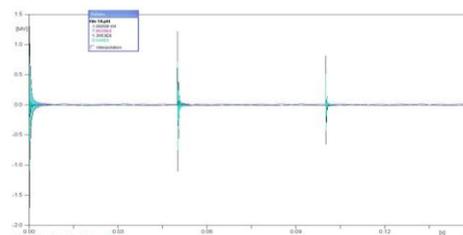
Hasil simulasi dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



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

4.1.2 Pengukuran Di Fasa T

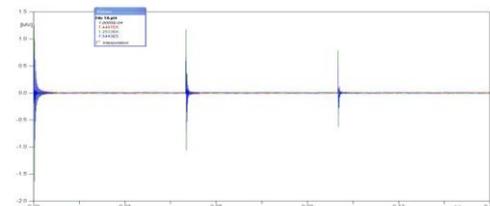
Hasil simulasi dapat ditunjukkan pada gambar di bawah



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

4.1.3 Pengukuran Di Fasa S

Hasil simulasi dapat ditunjukkan pada gambar di bawah



Gbr.13 Amplitudo tegangan di "16" akibat sambaran petir berulang di fasa S

Tbl.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	794,31 kV
		S	11,522 kV*	1.303,9 kV*
		T	11,548 kV	803,76 kV
	2 (50,1 ms)	R	11,538 kV	728,9 kV
		S	11,522 kV*	1.216,1 kV*
		T	11,548 kV	719,45 kV
	3 (100,1 ms)	R	11,538 kV	497,51 kV
		S	11,522 kV*	811,86 kV*
		T	11,548 kV	506,96 kV
"17"	1 (0,1ms)	R	11,538 kV	794,27 kV
		S	11,522 kV*	1.303,8 kV*
		T	11,548 kV	803,72 kV
	2 (50,1 ms)	R	11,538 kV	728,86 kV
		S	11,522 kV*	1.216 kV*
		T	11,548 kV	719,41 kV
	3 (100,1 ms)	R	11,538 kV	497,48 kV
		S	11,522 kV*	811,83 kV*
		T	11,548 kV	506,93 kV
"15"	1 (0,1ms)	R	11,538 kV	743,87 kV
		S	11,522 kV*	1.251,8 kV*
		T	11,548 kV	753,32 kV
	2 (50,1 ms)	R	11,538 kV	682,56 kV
		S	11,522 kV*	1.168,2 kV*
		T	11,548 kV	673,11 kV
	3 (100,1 ms)	R	11,538 kV	465,9 kV
		S	11,522 kV*	779,24 kV*
		T	11,548 kV	475,38 kV

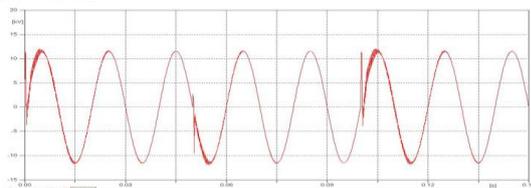
*(Sambaran Langsung)

4.2 Gangguan Induksi Sambaran Petir Akibat Sambaran Petir Berulang Setelah Ditempatkan Arestor.

Hasil simulasi pada gambar 14-16 di bawah ini akan menunjukkan kinerja Arestor 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-84-91 atau "16" pada fasa S.

4.2.1 Pengukuran di Fasa R

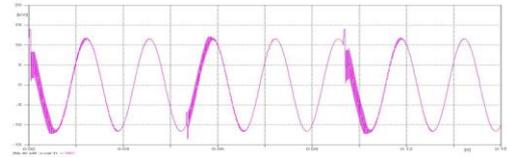
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



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

4.2.2 Pengukuran di Fasa T

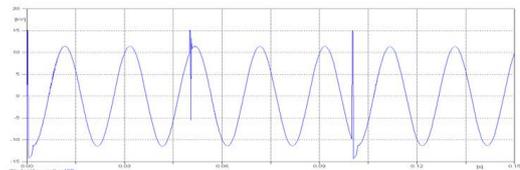
Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



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

4.2.3 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

Tbl.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	794,31 kV	11,375 kV
		S	1.303,9 kV*	15,198 kV*
		T	803,76 kV	13,616 kV
	2 (50,1 ms)	R	728,9 kV	2,6424 kV
		S	1.216,1 kV*	15,175 kV*
		T	719,45 kV	-6,7118 kV
	3 (100,1 ms)	R	497,51 kV	11,308 kV
		S	811,86 kV*	15,052 kV*
		T	506,96 kV	13,612 kV
"17"	1 (0,1ms)	R	794,27 kV	11,374 kV
		S	1.303,8 kV*	15,198 kV*
		T	803,72 kV	13,615 kV
	2 (50,1 ms)	R	728,86 kV	2,6423 kV
		S	1.216 kV*	15,174 kV*
		T	719,41 kV	-6,712 kV
	3 (100,1 ms)	R	497,48 kV	11,307 kV
		S	811,83 kV*	15,051 kV*
		T	506,93 kV	13,611 kV
"15"	1 (0,1ms)	R	743,87 kV	10,669 kV
		S	1.251,8 kV*	14,447 kV*
		T	753,32 kV	12,932 kV
	2 (50,1 ms)	R	682,56 kV	2,4477 kV
		S	1.168,2 kV*	14,974 kV*
		T	673,11 kV	-6,9066 kV
	3 (100,1 ms)	R	465,9 kV	10,608 kV
		S	779,24 kV*	14,303 kV*
		T	475,38 kV	12,933 kV

* (Sambaran Langsung)

V Penutup

5.1 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 arester 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. 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.

5.2 Saran

1. Dalam saluran Distribusi 20 KV, disarankan menggunakan arester Jenis MOV dengan tegangan kerja 12 KV, agar saluran distribusi tersebut aman terhadap gangguan tegangan lebih, terutama dari sambaran petir.
2. Pada Saluran Distribusi Mojosoongo Penyulang 1 Boyolali, antara tiang By1-61-61E-84-5 sampai tiang By1-61-61E-84-9J-10 harus dipasang arester jenis MOV pada tiap fasanya, karena daerah tersebut merupakan daerah yang rawan sambaran petir.
3. Konfigurasi Konduktor perlu disesuaikan dengan model simulasi yang ada.

Referensi

- [1] Hutaeruk, T.S., Ir., M.E.E, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Jakarta : Erlangga, 1991.
- [2] Denno, Khalil, *High Voltage Engineering in Power Systems*, New Jersey, 1992.

- [3] Naidu, M.S, *High Voltage Engineering*, Second Editon, Tata Mcgraw-Hill Publising Company Limited, New Delhi, 1995
- [4] L.Tobing, Bonggas, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Jakarta : Gramedia pustaka Utama, 2003.
- [5] Sulasno, Ir., *Distribusi Tenaga Listrik*, Badan Penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
- [6] Sulasno, Ir., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Badan penerbit UNDIP, Semarang, 2001.
- [7] A. Arismunandar, Prof., Dr., *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta : Pradya Paramita, 1973.
- [8] Syakur, Abdul, ST, MT, *Gejala Medan Tinggi*, UNDIP, 2004.
- [9] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1988.
- [10] EPRI, *Electromagnetic Transient Program (EMTP)*, Version 1.0, Revised Rule Book, Vol.1:Main Program, EPRI EL-4541-CCMP, Palo Alto, California, April 1986.
- [11] 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.
- [12] Kursus Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM, PT.PLN (PERSERO) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, 1997.
- [13], *Surge Arrester Technologies*.
<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 Arestor Pada Saluran Distribusi 20 KV Penyulang 4 Gardu Induk Sronol Menggunakan EMTP*, Teknik Elektro UNDIP, 2007.
- [16] Hidayanto, Fuad, *Perhitungan OUTAGE RATE Akibat Sambaran Petir tidak Langsung Pada Saluran Distribusi 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.



Liliyana Nilawati S (L2F306036)
Lahir di Boyolali pada tanggal 28 Maret 1981. Lulus dari
DIII Politeknik Negeri Semarang tahun 2002, dan sampai
sekarang sedang menyelesaikan studi S1 di Konsentrasi
Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang.

Menyetujui dan Mengesahkan

Pembimbing I

Agung Warsito, DHET
NIP.131 668 485

Pembimbing II

Abdul Syakur, ST.,MT
NIP.132 231 132