

ANALISIS USIA ARRESTER PADA JARINGAN DISTRIBUSI TERHADAP SAMBARAN KILAT DENGAN MENGGUNAKAN ATP-EMTP

STUDI KASUS PLN RANTING MEDAN JOHOR

Meta Sinaga, Zulkarnaen Pane

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: metaayuandirasinaga@rocketmail.com

Abstrak

Sistem tenaga listrik dalam keadaan beroperasi sering mengalami gangguan, umumnya gangguan petir yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. *Lightning Arrester* merupakan peralatan yang digunakan untuk melindungi peralatan sistem tenaga dari gangguan sambaran petir pada jaringan distribusi. Arrester tidak selamanya bekerja dengan sempurna sebagaimana seharusnya ketika diterpa arus petir. Kondisi ini memungkinkan arrester gagal bekerja, dimana selain mengganggu sistem yang dilindungi, kegagalan ini juga mempengaruhi performa dari arrester itu sendiri yang akan berpengaruh pada usia arrester. Dalam tulisan ini, dihitung kemungkinan kegagalan arrester bekerja dan usia arrester pada saluran tegangan menengah 20 kV Ranting Medan Johor dengan tipe arrester yang digunakan adalah arrester *metal oksida (MOA)*. Berdasarkan hasil perhitungan memperlihatkan bahwa probabilitas kegagalan arrester sebesar 0.73479×10^{-3} dan usia yang mampu dicapai arrester untuk kondisi kerapatan sambaran rata-rata sejak tahun 2008 hingga 2012 adalah 6 tahun 10 bulan 28 hari.

Kata Kunci: lightning arrester, probabilitas kegagalan arrester

1. Pendahuluan

Selama proses penyaluran tenaga listrik pada gardu distribusi sering terjadi gangguan petir. Gangguan petir ini menyebabkan terjadi tegangan lebih pada peralatan, sehingga gardu distribusi selalu diperlengkapi komponen pengaman yakni arrester. *Lightning Arrester* merupakan alat proteksi peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (*switching surge*). Arrester memiliki 3 unsur yakni elektroda, sela percik, dan tahanan katup[1]. Ada 2 jenis arrester yaitu arrester ekspulsi dan arrester katup[2].

Beberapa karakteristik yang harus dimiliki arrester yakni tidak boleh bekerja pada keadaan normal, harus bekerja saat terjadi tegangan lebih, mampu mengalirkan dan melewatkan arus surja ke tanah serta cepat memadamkan arus susulan[3]. Arrester yang digunakan dalam paper ini adalah *metal oksida arrester (MOA)* yang sudah digunakan sejak 1976 dengan bahan

dasarnya 90% ZnO dan 10% Komponen adiktif[4].

2. Probabilitas Kegagalan Arrester

Intensitas gangguan petir yang cukup rapat di Indonesia khususnya Sumatera Utara akan mempengaruhi keandalan dan usia arrester. Kerapatan sambaran petir sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun (IKL) yang ditunjukkan persamaan berikut[1] :

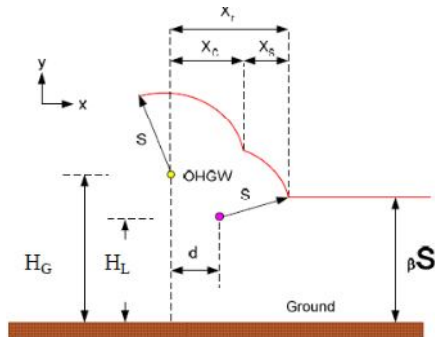
$$N_g = 0,15 \text{ IKL} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan banyak sambaran petir ke jaringan dinyatakan oleh persamaan[5] :

$$N_s = N_g \cdot \frac{(28n^{0.6} + S_g)}{10} \dots \dots \dots (2)$$

Jarak sambarannya ditunjukkan oleh persamaan whitehead berikut yang konfigurasinya ditunjukkan Gambar 1[1] :

$$S = 8 \cdot I^{0.65} \dots \dots \dots (3)$$



Gambar 1. Konfigurasi jarak sambaran petir

Berdasarkan Gambar 1, didapatkan persamaan-persamaan berikut :

$$x_s = s(1 + \sin(\alpha - w)) \dots\dots\dots(4)$$

$$x_r = x_c + x_s \dots\dots\dots(5)$$

$$H_L(I_p) = \frac{x_s}{x_r} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

- S = Jarak sambaran (m)
- I = Arus petir (kA)
- a = Sudut perisaian untuk gangguan sambaran langsung jaringan distribusi ($\leq 60^\circ$)
- w = Panjang isolator (cm)
- Xs = Daerah yang tidak terlindungi oleh perisaian (m)
- $H_L(I_p)$ = Probabilitas petir menyambar kawat fasa

Tidak selamanya arester bekerja sebagaimana mestinya saat terjadi gangguan tegangan lebih akibat surja petir maupun surja hubung. Hal ini menimbulkan adanya probabilitas arester gagal bekerja. Probabilitas kegagalan ini akan mengganggu kontinuitas penyaluran energi listrik ke konsumen. Disamping itu keandalan dari arester itu juga akan menurun yang akan memperngaruhi usianya. Adapun besar probabilitas kegagalan arester bekerja dapat dihitung dengan mencari probabilitas distribusi arus puncak[6], yakni :

$$f(I_p) = \left(\frac{1}{I \sigma_{ln} \sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(\ln I/I)}{2\sigma_{ln}^2}} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan ketentuan[7] :

Untuk $I_p < 20 \text{ kA}$, $\bar{I} = 61.1 \text{ kA}$ dan $\sigma_{ln} = 1.33$
 dan $I_p > 20 \text{ kA}$, $\bar{I} = 33.3 \text{ kA}$ dan $\sigma_{ln} = 0.605$

Setelah probabilitas distribusi arus puncak, maka selanjutnya dihitung probabilitas waktu-ekor yang ditunjukkan persamaan berikut[6,8] :

$$g(T_t) = -\frac{dG}{dt} \Big|_{t=T_t} = \frac{n_t}{T_{50}^{n_t}} \cdot \frac{T_t^{n_t-1}}{\left[1 + \left(\frac{T_t}{T_{50}} \right)^{n_t} \right]^2} \dots\dots\dots(8)$$

dimana n_t merupakan konstanta observasi sebesar 0.85[8].

Probabilitas kegagalan arester bekerja dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$P_F = \int_{T_t}^{+\infty} \left[\int_{I_p}^{+\infty} f(I_p) H_L(I_p) dI_p \right] g(T_t) dT_t \dots\dots\dots(9)$$

Dengan didapatnya besar probabilitas kegagalan arester bekerja, maka usia arester dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\bar{T} = \left[\frac{N_s}{100} \cdot L \cdot P_F \right]^{-1} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

- P_F : Probabilitas kegagalan arester
- $f(I_p)$: Fungsi probabilitas kerapatan arus puncak I_p
- $g(T_t)$: Fungsi probabilitas kerapatan nilai time-to-half dari gelombang arus
- I_p : Arus petir yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan untuk nilai T_{50} (Untuk nilai Time-to-half diperlihatkan oleh Tabel 2.1).
- T_t : Waktu-ekor maksimum yang digunakan dalam simulasi (μs)
- $H_L(I_p)$: Besar probabilitas petir menyambar kawat fasa
- \bar{T} : Usia arester rata-rata (tahun)
- N_s : Jumlah sambaran petir ke saluran (berdasarkan standar IEEE) (banyak/100km. tahun)
- L : Jarak antara arester (km)

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data Hari Guruh (IKL) dari BMKG untuk tahun 2008 hingga 2012 pada bulan April 2013 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hari guruh (IKL)

Stasiun Medan	Tahun				
	2008	2009	2010	2011	2012
Jumlah Sambaran	148	134	140	136	143

Dengan adanya data IKL, maka dilakukan pengambilan data arester MOA yang digunakan PLN Cabang Medan Sumatera Utara pada saluran distribusi 20 kV Ranting Medan Johor pada bulan Mei 2013 dengan data sebagai berikut :

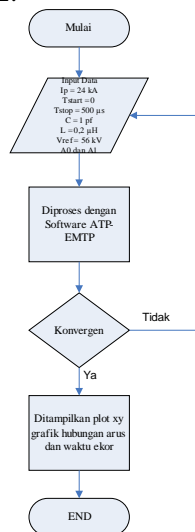
- Tegangan pengenalan : 25 kV
- Arus pelepasan nominal 8/20 μs : 10 kA pk
- Arus impuls curam 4/10 μs : 100 kA pk
- Kapabilitas energi, 1 impuls : 1,5 kJ/kV pada MCOV
- Tegangan operasi kontinu maksimum (MCOV) : 15,3 kV rms

Tinggi tiang : 12 m dari dalam tanah
 Kapasitansi Jaringan : 1 pF
 Induktansi Jaringan ; 0,2 μH
 Dan karakteristik arus arester ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik arus A0 dan A1

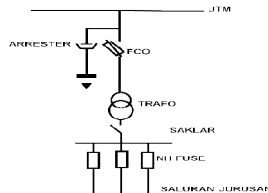
A0		A1	
A	kV	kA	kV
20	46,5	0,98	46,33
50	49,3	2,45	49,21
100	52,1	4,9	52,01
200	56,0	9,8	55,86
400	63,6	19,6	63,42

Dalam tulisan ini, software ATP-EMTP digunakan untuk memperoleh kenaikan arus petir yang mungkin terjadi dengan kondisi besar arus petir yang diberikan 24 kA dengan waktu ekor 30-500 μs. Adapun proses simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.



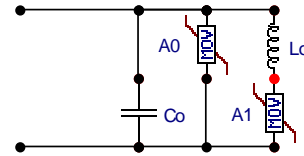
Gambar 2. Flowchart simulasi

Secara sederhana jaringan distribusi ditunjukkan Gambar 3.

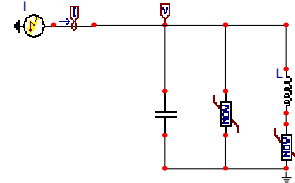


Gambar 3. Single line diagram jaringan distribusi

Berdasarkan Gambar 3, maka didapat rangkaian ekivalen MOA dan rangkaian simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Rangkaian ekivalen MOA



Gambar 5. Rangkaian Simulasi MOA

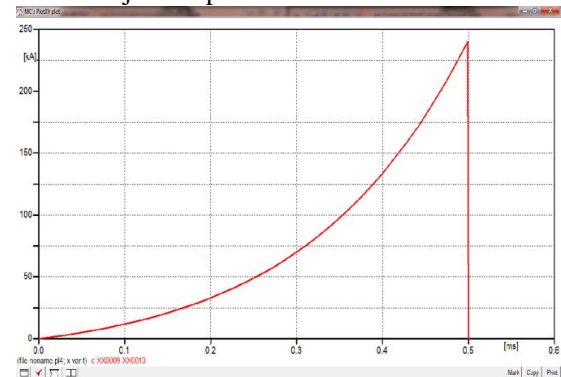
Data-data yang dimasukkan ke dalam simulasi adalah :

Arus Impuls yang dimasukkan adalah 24 kA dengan nilai $T_{start} = 0$ dan $T_{stop} = 500 \mu s$ dengan $T_f = 30 \mu s$ pada komponen surge tipe 15. Kapasitansi jaringan = 1 pF dan Induktansi jaringan = 0,2 μH. $V_{ref} = 56 kV$ dan karakteristik resistor non-linear A0 dan A1 pada Tabel 4.3 untuk komponen MOV1 dan MOV2.

4. Hasil dan Analisis

4.1. Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi arus petir diperoleh grafik kenaikan arus petir dan durasi waktu-ekor ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik kenaikan arus petir dan waktu-ekor.

Secara terperinci nilai-nilai kenaikan arus dan waktu-ekor ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil simulasi arus petir dan waktu-ekor.

Arus Puncak (kA)	Waktu-ekor (μ s)
2.8	30
3.8	40
4.9	50
6.1	60
8.7	80
10.2	90
11.7	100
14.9	120
20.7	150
27.6	180
33.1	200
35.7	210
45.3	240
48.8	250
56.6	270
69.9	300
85.6	330
104	360
125.6	390
133.6	400
150.9	420
180.5	450
215.2	480
238.8	500

4.2. Hasil Perhitungan

Berdasarkan data IKL Tabel.1 maka rata-rata IKL adalah 140. Dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2 didapat nilai $N_g=21$ sambaran dan $N_s=393,7$ sambaran/100km.tahun.

Dengan menggunakan Persamaan 3-9, maka didapat hasil sebagai berikut, yakni:

Jarak sambaran 63.128 m.

Besar probabilitas petir menyambar kawat fasa sebesar 0.997.

Probabilitas distribusi arus puncak 0.023722.

Probabilitas distribusi waktu-ekor 0.02589.

Probabilitas kegagalan arester 0.73479×10^{-3} .

Sehingga untuk jarak antar tiang berarester 500m dan nilai rata-rata $N_s=393,7$ sambaran/100km.tahun, beserta besar nilai probabilitas kegagalan arester yang dimasukkan pada Persamaan 10, maka didapat usia arester 6 tahun 10 bulan 28 hari.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang diperoleh dari simulasi dan perhitungan yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan software ATP-EMTP sebagai simulasi arus petir, probabilitas kegagalan arester bekerja adalah 0.73479×10^{-3} .
2. Usia arester pada saluran tegangan menengah 20 kV dengan jarak antar arester 500 m untuk lokasi jaringan di PLN Ranting Medan Johor dengan kondisi kerapatan sambaran rata-rata adalah 6 tahun 10 bulan 28 hari sejak tahun 2012..

Referensi

- [1] Hutaaruk, T.S., "Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988.
- [2] Tobing, Bonggas, "Peralatan Tegangan Tinggi", Edisi Ke-2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2012.
- [3] Frianto, "Pengaruh Impedansi Surja Pembumian Terhadap Gelombang Surja Yang Dilewatkan Pada Terminal Lightning Arrester Dengan Simulasi Software MATLAB", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik – USU, Medan, 2004.
- [4] Buku Petunjuk Lightning Arrester PT.PLN Persero.
- [5] IEEE Standard 1243-1997, "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines", 1997.
- [6] M. Gracia, "An Improvement for the Selection of Surge Arresters Based on the Evaluation of the Failure Probability", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.17, No.1, January, 2002.
- [7] IEEE Standard C62.22-1991, "IEEE Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arrester for Alternating Current Systems", 1991.
- [8] M. Gracia, "Evaluation of the Failure Probability for Gapless Metal Oxide Arresters", IEEE Transaction on Power Delivery, 1999.