

PENGUNAAN ATP DRAW 3.8 UNTUK MENENTUKAN JUMLAH GANGGUAN PADA SALURAN TRANSMISI 150 kV AKIBAT BACKFLASHOVER

Muhammad Yudi Nugroho^{*)}, Mochammad Facta, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: m.yudinugroho@gmail.com

Abstrak

Sambaran petir pada saluran transmisi dapat menyebabkan gangguan penyaluran tenaga listrik. Sambaran petir langsung pada kawat tanah maupun menara dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan pada menara, jika tegangan yang timbul pada isolator sama atau melebihi garis *Critical Flashover Voltage (CFO)* maka terjadilah fenomena denyar balik atau biasa disebut *backflashover*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui kondisi yang kemungkinan terjadi pada suatu model menara transmisi 150 kV ketika dikenai sambaran petir secara langsung di puncak menara dengan menggunakan perangkat lunak *ATP Draw 3.8*. Setelah disimulasikan dan diperoleh profil tegangan petir maka dilakukan metode untuk mengetahui kemungkinan besarnya tegangan pada isolator yang dapat melampaui CFO. Selanjutnya besar arus yang mungkin terjadi ketika tegangan melampaui CFO diolah untuk mendapatkan kemungkinan jumlah gangguan pada saluran transmisi akibat *backflashover*. Berdasarkan simulasi dan perhitungan didapatkan jumlah gangguan petir pada fasa A adalah 5,68 gangguan per 100 km/tahun, untuk fasa B adalah 4,22 gangguan per 100 km/tahun, dan untuk fasa C adalah 5,51 gangguan per 100 km/tahun.

Kata Kunci : saluran transmisi, backflashover, jumlah gangguan petir

Abstract

Lightning strikes on transmission lines can cause disruption of electrical supply. A lightning strike directly to the ground wire or the tower may result voltage rise on installed insulator at the tower. If the voltage arising on the insulator is the same or exceed the line of Critical Flashover Voltage (CFO) then there will be a phenomena called backflashover. In this final assignment it will be carried out several simulations to determine the conditions that may occur in a model of 150 kV transmission as to lightning strikes directly at the top of the tower, the simulation was carried out by using ATP Draw 3.8. After simulating and voltage profiles were obtained then the work was continued by applying a method to determine voltage accross on the insulator that exceed CFO. In the next step, large currents that may occur when the voltage exceed the CFO were analyzed to obtain the possible amount of disruption on the transmission line due to backflashover. Based on the calculation and simulation, it was found that the disruption number of lightning in phase A is 5,68 disruption per 100 km/year, in phase B is 4,22 disruption per 100 km/year, and in phase C is 5,51 disruption per 100 km/year.

Keywords: transmission lines, backflashover, disruption number of lightning

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara khatulistiwa dengan iklim tropis, keadaan ini menyebabkan Indonesia memiliki intensitas terjadinya petir cukup tinggi. Tingkat kerapatan petir di Indonesia yaitu sebesar 12/km²/tahun yang artinya wilayah seluas 1 km² akan memiliki kemungkinan sambaran petir sebanyak 12 kali setiap tahunnya [1]. Kondisi ini menjadi salah satu masalah yang harus dihadapi pada sistem jaringan listrik di Indonesia,

dikarenakan sambaran petir dapat mengakibatkan kerugian yang besar pada pihak penyedia layanan kelistrikan.

Pada Saluran transmisi 150 kV gangguan yang sering terjadi adalah sambaran petir langsung yang dapat menyebabkan *backflashover* [2]. *Backflashover* terjadi saat sambaran petir langsung mengenai kawat tanah maupun menara, dan saat tegangan yang timbul pada isolator sama atau melebihi *Critical Flashover Voltage*

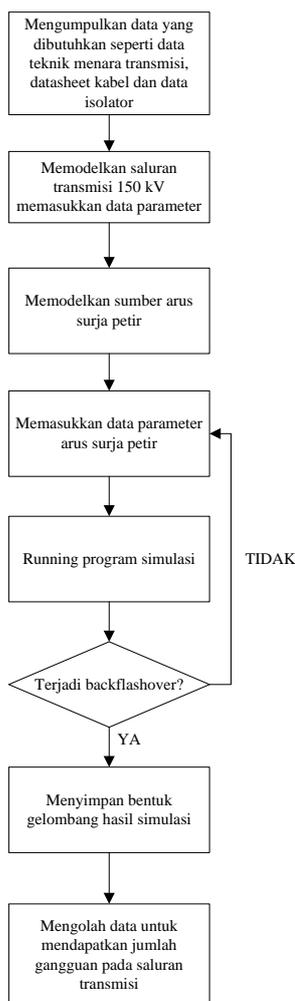
(CFO) menyebabkan sambaran balik dari menara ke kawat fasa [3].

Gangguan petir ini menyebabkan penambahan muatan listrik dalam jangka waktu tertentu. Penambahan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan dan arus pada jaringan listrik, sehingga pada jaringan listrik timbul tegangan dan arus lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung jaringan. Jika tegangan atau arus lebih sampai pada suatu gardu, maka tegangan atau arus lebih tersebut dapat merusak isolasi peralatan gardu yang akhirnya akan merusak peralatan kelistrikan yang lebih penting [6].

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa metode yang diterapkan sebagai dasar metodologi penelitian dalam melakukan penelitian tugas akhir. Metodologi penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode penelitian penentuan jumlah gangguan petir akibat *backflashover*

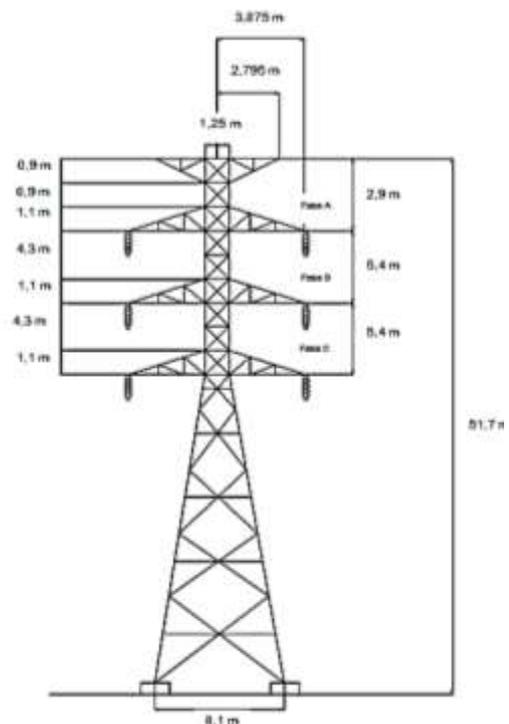
Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa penelitian dimulai dengan mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk memasukkan parameter tersebut ke dalam *software ATP Draw*.

Saat semua data telah terkumpul maka langkah berikutnya adalah memodelkan saluran transmisi 150 kV dengan model Bergeron, yang mengacu pada, dimana parameter yang digunakan adalah parameter konstan dengan frekuensi yang tidak berubah-ubah. Semua data parameter yang dibutuhkan dimasukkan pada setiap komponen *software ATP Draw*, mulai dari sumber 3 fasa, kabel yang digunakan, kawat tanah, kawat fasa, menara transmisi, model isolator dan pentanahan.

Setelah saluran transmisi sudah dimodelkan dan diisi parameternya, maka langkah selanjutnya adalah memodelkan sumber arus surja petir yang mengenai menara dan memasukkan data parameternya. *Running program* dijalankan untuk melihat hasil simulasi, jika pada hasil simulasi tersebut tidak terjadi fenomena *backflashover* maka kembali ke langkah pengisian parameter untuk sumber surja petir. Jika terjadi *backflashover* maka data yang didapat disimpan dan diolah untuk mendapatkan jumlah gangguan pada saluran transmisi.

2.2. Data Saluran Transmisi 150 kV

Bentuk geometri menara transmisi 150 kV yang disimulasikan dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model menara

Adapun data elektrik kabel yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi kabel konduktor [7]

Jenis kabel	Luas Penampang (mm ²)	Diameter (cm)	Resistansi (Ω/km)	Reaktansi (Ω/km)
ACSR	242	2,1793	0,1218	0,2971

Tabel 2. Spesifikasi kabel tanah [7]

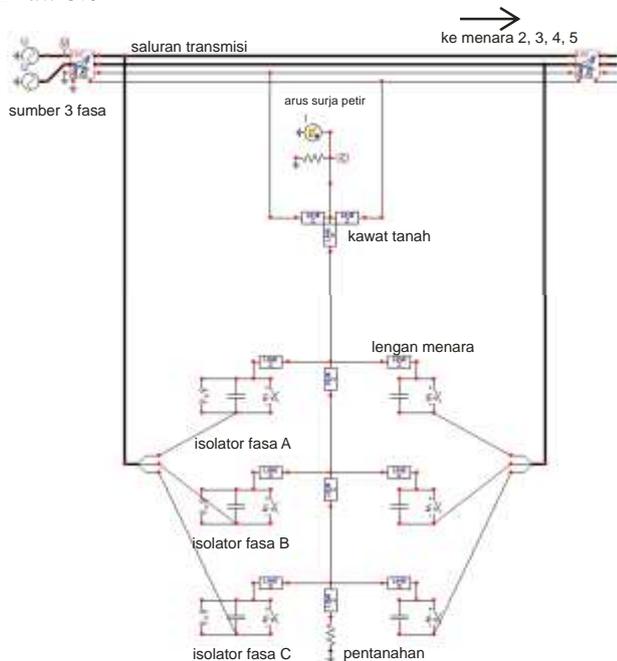
Jenis kabel	Luas Penampang (mm ²)	Diameter (cm)	Resistansi (Ω/km)	Reaktansi (Ω/km)
ACSR	67	1,1354	0,4375	0,4063

Isolator yang digunakan pada saluran transmisi 150 kV adalah tipe gantung (*suspension*). Pada Tugas Akhir ini hanya dibutuhkan data ukuran isolator saja, yaitu untuk satu keping isolator memiliki tinggi 146 mm. Jumlah keping isolator yang digunakan adalah 11, maka panjang satu renteng isolator yang digunakan pada menara transmisi 150 kV adalah 11 x 146 mm = 1,6 meter.

2.3. Pemodelan

2.3.1. Pemodelan Menara Transmisi 150 kV

Pemodelan menara transmisi seperti Gambar 3 ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ATP Draw 3.8



Gambar 3. Pemodelan lengkap saluran transmisi 150 kV

Pemodelan menara transmisi tersebut merupakan rangkaian dari impedansi. Impedansi tersebut didapatkan

dari data geometri Gambar 2. Adapun untuk menghitung nilai impedansi tersebut menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

• Impedansi lengan menara

$$Z_{AK} = 60 \ln \left(\frac{2h}{r_A} \right) \tag{1}$$

• Impedansi surja menara

$$Z_{AK} = 60 \left(\ln \sqrt{2} \frac{2h}{r_A} - 1 \right) \tag{2}$$

Dimana

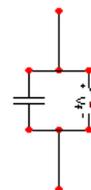
Z_{AK} = impedansi lengan menara/surja menara (Ω)

h = tinggi lengan menara (m)

r_A = jarak antar lengan menara (m)

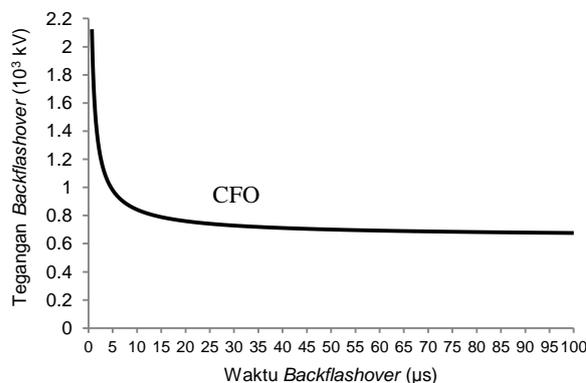
2.3.2. Pemodelan Isolator

Isolator dalam *software ATP Draw* ini direpresentasikan dengan kapasitor C yang dirangkai paralel dengan sakelar yang pengoperasiannya diatur oleh tegangan. Nilai kapasitansi isolator gantung yang digunakan pada simulasi ini adalah 9,1 pF [4].



Gambar 4. Model renteng isolator backflashover pada ATP Draw [10]

Mekanisme *backflashover* pada isolator dapat dipresentasikan dengan kurva tegangan-waktu (V-t), seperti pada Gambar 5. Sehingga saat terjadi *backflashover*, yaitu saat tegangan yang melewati isolator melewati batas kemampuan isolator maka sakelar akan menutup [11].



Gambar 5. Kurva V-t isolator

Kurva V-t isolator tersebut didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad (3)$$

Dimana

$V_{50\%}$ = tegangan flashover (kV)

K_1 = 0,4 W

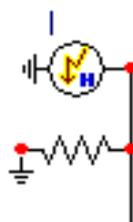
K_2 = 0,71 W

W = panjang renteng isolator (meter)

t = waktu tembus isolator atau waktu flashover (μs)

2.3.1. Pemodelan Sumber Petir

Sumber petir pada software ATP Draw ini direpresentasikan dengan komponen Heidler yang dihubungkan dengan resistor dengan nilai 400 Ω [9].



Gambar 6. Pemodelan sumber petir

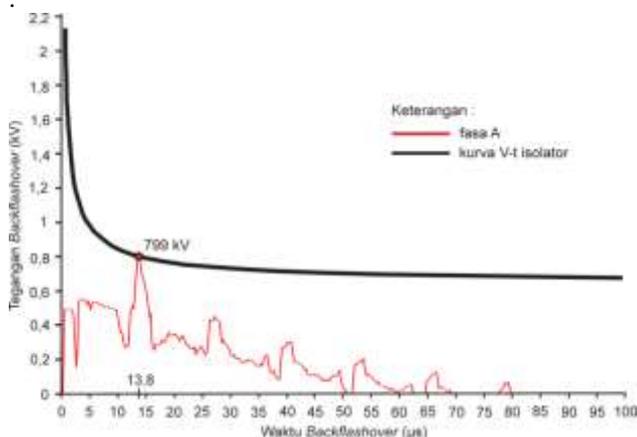
Pemodelan sumber petir ini akan divariasikan standar waktu muka (t_f) dan waktu ekor (t_r) berdasarkan 3 standar, yaitu :

1. Standar IEC $t_f \times t_r = (1,2 \times 50) \mu\text{s}$
2. CIGRE $t_f \times t_r = (3 \times 77,5) \mu\text{s}$
3. Jepang $t_f \times t_r = (1 \times 40) \mu\text{s}$

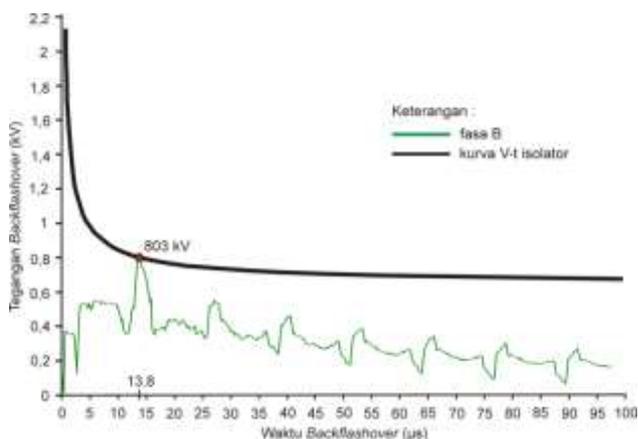
3. Hasil dan Analisa

3.1. Arus Petir Minimum

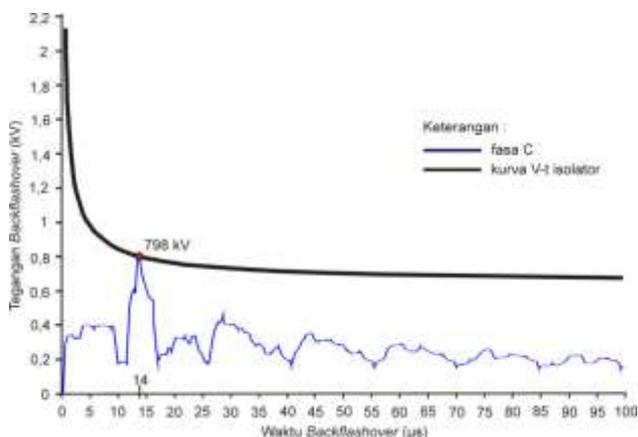
Bentuk gelombang petir yang sudah disimulasikan kemudian digabung dengan kurva V-t isolator untuk menemukan titik potongnya dan menentukan arus petir minimum yang dapat menyebabkan backflashover. Bentuk gelombang ini dibagi dalam tiap standar dan tiap fasa.



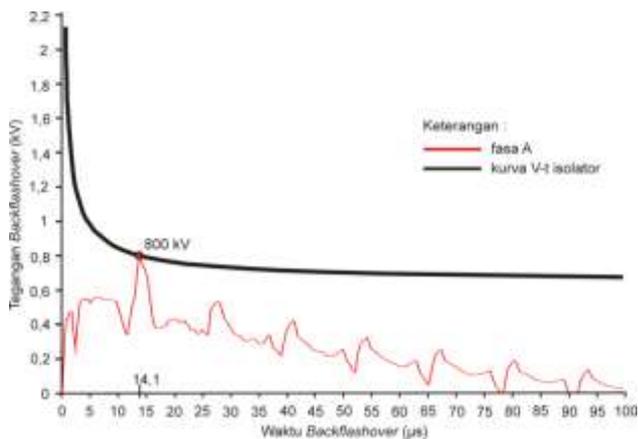
Gambar 7. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa A standar IEC



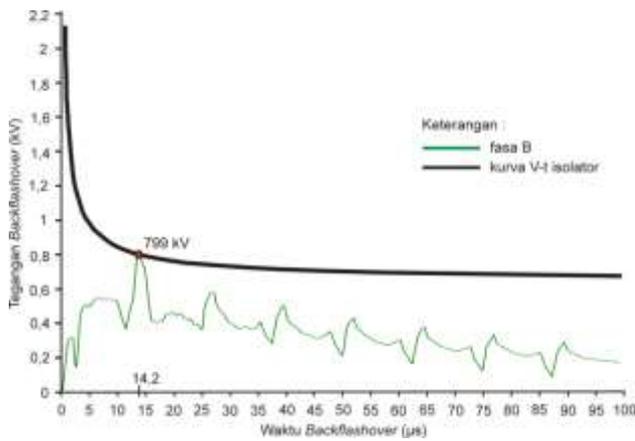
Gambar 8. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa B standar IEC



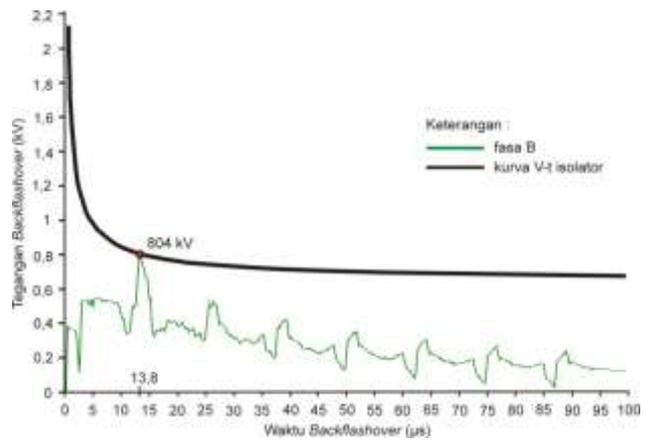
Gambar 9. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa C standar IEC



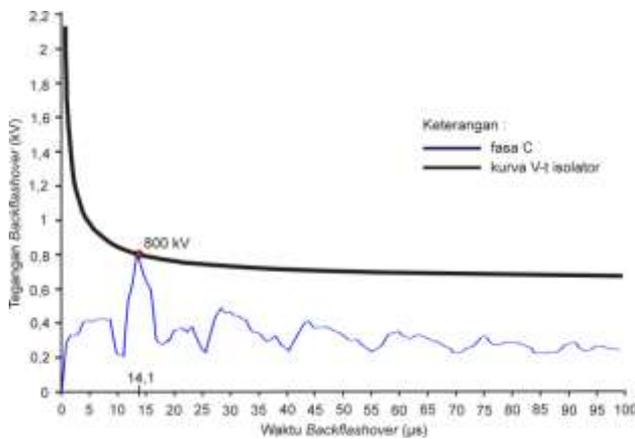
Gambar 10. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa A standar CIGRE



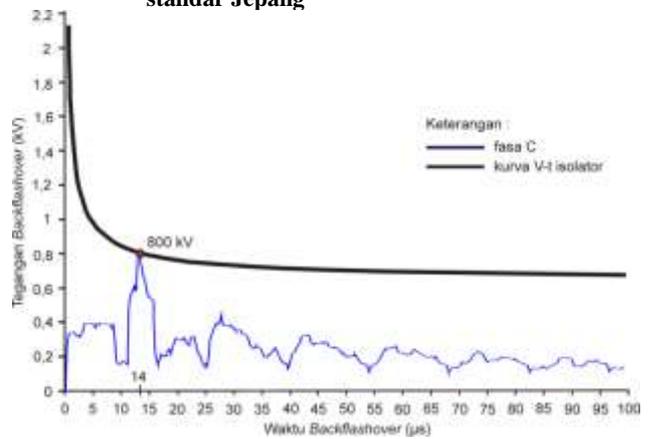
Gambar 11. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa B standar CIGRE



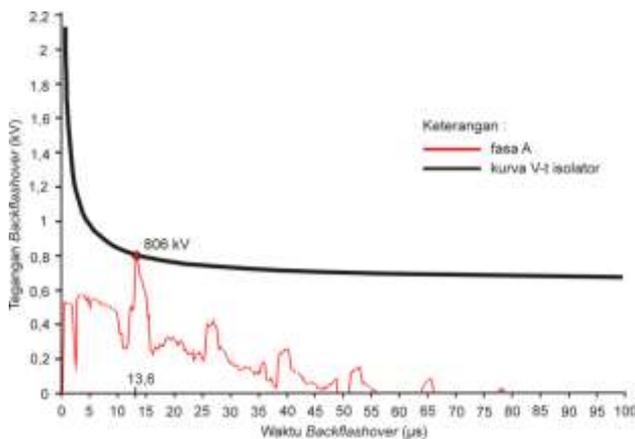
Gambar 14. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa B standar Jepang



Gambar 12. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa C standar CIGRE



Gambar 15. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa C standar Jepang



Gambar 13. Titik potong kurva V-t isolator untuk fasa A standar Jepang

Arus petir minimum yang dapat menyebabkan *backflashover* seperti pada Gambar 7 sampai Gambar 15 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data arus petir minimum

Standar	$t_r \times t_t$ (μ s)	I_{min} Fasa A (kA)	I_{min} Fasa B (kA)	I_{min} Fasa C (kA)
Jepang	1 x 40	13,9	11,9	14,8
IEC	1,2 x 50	13,3	11,6	14,6
CIGRE	3 x 77,5	13	11,6	14,1

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa semakin besar nilai waktu muka petir maka akan menyebabkan arus minimum yang dapat menyebabkan *backflashover* kecil hal ini berhubungan dengan tegangan yang menyentuh garis CFO, jika waktu mukanya kecil maka membutuhkan arus petir yang besar untuk menyebabkan tegangan yang besar pula untuk menyentuh garis CFO dan terjadi *backflashover*

3.2. Probabilitas Distribusi Arus Petir

Setelah mengetahui nilai arus petir minimum yang dapat menyebabkan *backflashover*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung prosentasi distribusi arus petir tersebut menggunakan Persamaan 4.

$$P_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2,6}} \quad (4)$$

Dimana

P_i = probabilitas arus petir (%)

I = amplitudo arus petir (kA)

Sehingga didapatkan nilai distribusi arus petir untuk setiap standar dan tiap fasa seperti Tabel 2.

Tabel 4. Distribusi arus petir

Standar	$t_f \times t_i$ (μ s)	P_i Fasa A (%)	P_i Fasa B (%)	P_i Fasa C (%)
Jepang	1 x 40	0,889	0,923	0,872
IEC	1,2 x 50	0,905	0,928	0,886
CIGRE	3 x 77,5	0,90	0,928	0,876

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa semakin rendah atau semakin kecil arus petir maka probabilitas arus petir tersebut semakin tinggi, dan untuk setiap standar memiliki probabilitas arus petir yang hampir sama untuk setiap fasanya. Probabilitas arus petir terkecil adalah pada fasa C saat arus petir 14,8 kA, yaitu 0,872 %. Hal ini menandakan bahwa kemungkinan terjadinya sambaran petir dengan arus 14,8 kA adalah 0,872 % dari seluruh sambaran petir.

3.3. Probabilitas Gangguan Backflashover

Probabilitas gangguan *backflashover* ini merupakan perhitungan untuk mengetahui kemungkinan gangguan *backflashover* berdasarkan waktu muka gelombang petir. Oleh karena itu dibutuhkan referensi muka gelombang petir dan probabilitas terjadinya muka gelombang tersebut. Referensi tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Muka gelombang petir dan seringnya terjadi [8]

Muka gelombang petir (μ s)	Probabilitas (%)
Sampai 0,5	7
1,0	23
1,5	22
2,0 dan lebih	48

Standar muka gelombang petir yang digunakan dalam simulasi yaitu 1,2 μ s untuk IEC, 3 μ s untuk CIGRE dan 1 μ s untuk Jepang. Berdasarkan tabel 5 maka seringnya terjadi muka gelombang untuk standar IEC adalah 23 %, untuk CIGRE 48%, dan untuk Jepang 22 %.

Probabilitas petir yang dapat menimbulkan gangguan *backflashover*, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5

$$P_{BFO} = 2 \left[\sum_{i=1}^3 \left(Prob T_{(i)} \times P_{i(i)} \right) \right] \quad (5)$$

Dimana :

Prob T = probabilitas muka gelombang petir (%)

P_i = probabilitas distribusi arus petir (%)

Tiap nilai i mewakili tiap standar yang digunakan, untuk $i = 1$ adalah standar IEC, $i = 2$ adalah standar CIGRE, dan $i = 3$ adalah standar Jepang.

Sehingga nilai probabilitas gangguan *backflashover* untuk setiap fasa dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Probabilitas gangguan backflashover

Fasa	P_{BFO}
A	0,0167
B	0,0124
C	0,0162

3.4. Jumlah Gangguan Pada Saluran Transmisi

Perhitungan untuk mengetahui jumlah gangguan pada saluran transmisi akibat *backflashover* pada setiap fasa digunakan Persamaan 6

$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \text{ IKL}(b + 4h^{1,09}) \times P_{BFO} \quad (6)$$

Dimana :

N_t = jumlah gangguan petir pada saluran transmisi (gangguan per 100 km/tahun)

IKL = jumlah hari guruh (sambaran/km² per tahun)

b = jarak antar kedua kawat tanah (meter)

h = tinggi menara (meter)

Data yang dibutuhkan berdasarkan Persamaan 6 adalah:

- Jumlah hari guruh pada daerah Jawa Tengah adalah 148 sambaran sambaran/km² per tahun.
- Jarak antar kedua kawat tanah (b) pada menara yang diteliti adalah 5,59 meter.
- Tinggi menara (h) adalah 51,7 meter

Sehingga jumlah gangguan petir akibat *backflashover* pada menara untuk setiap fasanya adalah:

- Fasa A

$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \times 148(5,59 + 4(51,7)^{1,09}) \times 0,01661$$

$$N_t = 5,68 \text{ gangguan per 100 km/tahun}$$

- Fasa B

$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \times 148(5,59 + 4(51,7)^{1,09}) \times 0,01722$$

$$N_t = 4,22 \text{ gangguan per 100 km/tahun}$$

- Fasa C

$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \times 148(5,59 + 4(51,7)^{1,09}) \times 0,0158$$

$$N_t = 5,51 \text{ gangguan per 100 km/tahun}$$

Dengan demikian dapat dilihat bahwa jumlah gangguan petir pada fasa B akibat *backflashover* memiliki nilai paling besar jika dibandingkan dengan fasa yang lain, hal ini dikarenakan pada arus petir yang dapat menyebabkan *backflashover* pada fasa B adalah paling kecil sehingga memiliki probabilitas distribusi arus petir yang besar dan akhirnya memiliki nilai gangguan yang besar pula.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan arus petir minimum yang dapat menyebabkan *backflashover* untuk standar IEC adalah 13,3 kA untuk fasa A, 11,6 kA fasa B, dan 14,6 kA untuk fasa C. Kemudian untuk standar CIGRE, pada fasa A 13 kA, fasa B 11,6 kA, dan fasa C 14,1 kA. Selanjutnya untuk standar Jepang, pada fasa A 13,9 kA, fasa B 11,9 kA, dan fasa C 14,8 kA. Kemudian Tegangan maksimal yang dapat ditanggung isolator untuk standar IEC adalah 798,661 kV untuk fasa A, 798,661 kV untuk fasa B, dan 796,958 kV untuk fasa C. Kemudian untuk standar CIGRE, pada fasa A 796,122 kV, fasa B 795,297 kV, dan fasa C 796,122 kV. Selanjutnya untuk standar Jepang pada fasa A adalah 800,407 kV, fasa B 798,661 kV, dan fasa C 796,958 kV. Lalu setelah pengolahan data dan perhitungan maka diperoleh jumlah gangguan pada saluran transmisi yang diakibatkan *backflashover* untuk fasa A adalah 5,68 gangguan per 100 km/tahun, untuk fasa B 4,22 gangguan per 100 km/tahun, dan untuk fasa C 5,51 gangguan per 100 km/tahun.

Saran yang dapat penulis berikan dalam Tugas Akhir ini adalah untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan penambahan pemodelan gardu induk dan *arrester* untuk menganalisis pengaruh tegangan lebih petir pada gardu induk tersebut dan cara kerja *arrester*. Lalu untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan bentuk dan model lain untuk representasi menara transmisi, karena model ini mempengaruhi kenaikan tegangan pada isolator akibat arus surja petir.

Referensi

Journal :

- [1]. Zoro, Reynaldo. Lightning performance of extra high voltage 500 kV lines at east java indonesia. Jurusan Teknik Elektro Insitut Teknologi Bandung 2008.
- [2]. Radhika, G. Backflashover analysis improvement of a 220 kV transmission lines. International Journal of Engineering Research and Application (IJERA) vol 3 issue 1, hal 533-536, Januari-Februari 2013.
- [3]. Manik, Jefri. Pengaruh tahanan kaki menara tipe gantry terhadap terjadinya backflashover pada isolator saluran 115 kV PT. Chevron Pacific Indonesia. Teknik Elektro Universitas Riau 2015.
- [4]. Imece, Ali F. Modeling guidelines for fast front transients. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, hal 493-506, 1996.
- [5]. Agung Nugroho dan Abdul Syakur Penentuan lokasi pemasangan lightning mast pada menara transmisi untuk mengurangi kegagalan perlindungan akibat sambaran petir. Transmisi, Vol 9, No.1, hal 31-36, Juni 2005.

Textbooks:

- [6]. Tobing, B. L. Peralatan Tegangan Tinggi. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta 2003.
- [7]. Hutauruk, T. S. Transmisi Daya Listrik. Erlangga, Jakarta 1985.
- [8]. Hutauruk, T.S. Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja Erlangga, Jakarta 1988.
- [9]. Bewley, L. V. Traveling Waves on Transmission Systems. Dover, New York 1963.

Thesis/Disertation:

- [10]. Nur Zawani, Saharuddin. Modelling of 132kV overhead transmission lines by using ATP/EMTP for back-flashover pattern recognition. thesis, Electrical Engineering University of Malaya, 2011.
- [11]. Jamoshid, Noor S. BT. Lightning simulation study on line surge arrester and protection design of simple structure. thesis, Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia 2008.