

ANALISIS LIGHTING ARRESTER UNTUK MENGAMANKAN BUSBAR 150 kV TERHADAP GANGGUAN SURJA PADA GIS PECATU

I Putu Agus Kumara Putra¹, I Gede Dyana Arjana², Cok. Gede Indra Partha³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Email : kumara4410@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id², dyanaarjana@unud.ac.id³

Abstrak

GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Pecatu adalah salah satu GI yang dibangun oleh PT. PLN (Persero) guna memberikan *kontinuitas* energi terhadap pelanggannya. Pada GIS Pecatu tidak terdapat *lighting arrester* (LA) dikarenakan peralatan pada GIS Pecatu terletak didalam ruangan (*indoor*). Dimana hanya terdapat LA dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu dengan jarak sejauh 12,08 km, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah LA dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu dapat melindungi busbar dari rambatan gelombang surja petir.

Hasil analisis yang didapatkan menggunakan metode simulasi *software*, bahwa LA dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu sudah mampu dalam melindungi busbar GIS Pecatu. Hasil simulasi diperoleh arus yang melewati busbar 150 kV sebesar 1,219 kA dan tegangan yang terdapat pada busbar saat terjadinya surja petir sebesar 4 kV. Tegangan pada busbar dan arus yang melewati busbar saat terjadinya surja masih dalam toleransi tegangan maksimum sistem sebesar 170 kV dan rasio arus sebesar 4 kA.

Kata Kunci : Surja Petir, *Lightning arrester*, Busbar 150 kV

Abstract

GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Pecatu is one of the GI built by PT. PLN (Persero) to provide energy continuity to its customers. In the GIS Pecatu there is no *lighting arrester* (LA) because the equipment in the GIS Pecatu is located indoors. Where there is only LA from the direction of the GI Nusa Dua to the GIS Pecatu with a distance of 12.08 km, so it is necessary to do study to find out whether the LA from the GI Nusa Dua direction to the GIS Pecatu can protect the busbar from the traveling wave of lightning surge.

The results of the analysis showed using the software simulation method that LA from the direction of the GI Nusa Dua to the GIS Pecatu has been able to protect the GIS Pecatu busbar. Simulation results obtained that the current passing through the 150 kV busbar of 1,219 kA and the voltage on the busbar during a lightning surge of 4 kV. The voltage on the busbar and the current through the busbar during a surge is still within the tolerance of the maximum system voltage of 170 kV and the current ratio of 4 kA.

Keywords : *Lightning Surge*, *Lightning Arrester*, Busbar 150 kV,

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah energi yang menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat pada era digital saat ini. GIS (*Gas Insulated Switchgear*) Pecatu terletak di kawasan Pecatu, Kuta Selatan. Jaringan GIS Pecatu dibangun guna mensuplay daya sebesar 120 MW di daerah Pecatu dan sekitarnya. GIS Pecatu mendapat *supplay* dari GIS Bandara Ngurah Rai dan GI Nusa Dua, saluran GI Nusa Dua

menuju GIS Pecatu menggunakan *underground cable* tipe XLPE 3 x 1000 mm² sepanjang 12,08 km.

Surja petir merupakan gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir dan dapat menyebabkan rusaknya peralatan pada gardu induk. GIS Pecatu tidak terpasang *arrester* dikarenakan peralatan pada GIS Pecatu terletak didalam ruangan (*indoor*). Pada akses GI Nusa Dua GIS Pecatu dipasang penangkal petir yang berjarak 12.08 km dari GIS Pecatu[1].

Penempatan *lighting arrester* berdampak pada perlindungan busbar GIS Pecatu pada saat terjadi surja petir, cara memasang *arrester* pada jarak maksimum dari busbar sebagai peralatan terlindung adalah dengan memahami secara matematis pengaruh penempatan LA. Oleh karena itu, perlu dipahami pengaruh kinerja *arrester* untuk memutus surja petir. [1] [2].

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gas Insulated Substation (GIS)

Gas Insulated Substation (GIS) merupakan sebuah pemutus dan penghubung jaringan listrik. *GIS* dalam sebuah *metal enclosure* merupakan peralatan yang terpasang dari beberapa rangkaian dan akan diisolasi oleh gas bertekanan yaitu gas Sulfur Hexafluoride (SF₆)

2.2 Busbar

Busbar adalah konduktor berupa plat logam berjenis tembaga (*Cu*) atau aluminium (*Al*). Berbentuk persegi panjang dengan ukuran tertentu. Fungsi busbar yaitu untuk menghantarkan atau mendistribusikan listrik antara *feeder*, *incomer*, dan komponen listrik lainnya dalam panel listrik [3].

2.3 Gangguan Surja

Gangguan surja adalah gangguan yang ada pada jaringan listrik dimana mengakibatkan terjadinya tegangan lebih pada suatu sistem yang melebihi tegangan nominal sistem tersebut. Tegangan lebih tersebut merupakan tegangan peralihan (*transien*) dari kondisi abnormal menuju kondisi normal. Gangguan surja disebabkan oleh surja petir dan surja hubung [4].

2.4 Traveling Wave

Traveling Wave atau gelombang berjalan digambarkan ketika suatu penghantar tenaga listrik dialiri tegangan tidak akan langsung bertegangan, dan memerlukan waktu untuk tegangan itu sampai pada titik yang lain. *Traveling wave* serta gelombang arus akan merambat bersamaan dan dalam waktu tertentu akan mencapai ujung saluran [4].

a. Menggunakan *Lighting Arrester*
Sambaran petir secara langsung menyebabkan gelombang berjalan dengan tegangan impuls sebesar $1,2 \times 50\mu\text{s}$. Tegangan yang lewat ke arah transformator dipotong oleh *arrester* sehingga tegangan impuls saat terjadinya surja petir tidak menyebabkan isolasi transformator mengalami kerusakan karena tegangan yang merambat ke arah transformator tidak melebihi TID transformator.

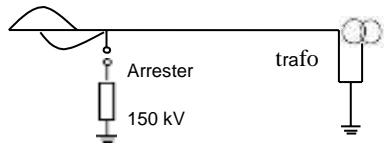
b. Tidak Menggunakan *Lighting Arrester*
Sambaran petir secara langsung menyebabkan terjadinya gelombang berjalan dengan tegangan impuls sebesar $1,2 \times 50\mu\text{s}$. Tegangan impuls saat terjadinya surja petir, jika tidak dipotong oleh *lighting arrester* akan menyebabkan isolasi pada transformator mengalami kerusakan, [5].

2.5 Pengertian Lightning Arrester

Arrester atau *lighting arrester* adalah peralatan pengaman untuk melindungi peralatan lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh *follow current*. Perambatan surja pada jaringan dapat terjadi pada peristiwa sebagai berikut [2]:

1. Peristiwa nilai pentanahan yang tinggi, baik di gardu induk ataupun di saluran transmisi yaitu *Blackflashover*.
2. Sambaran langsung terhadap jaringan
Lightning arrester dipasang untuk memotong tegangan surja dengan cara mengalirkan arus surja ke tanah dikarenakan sambaran langsung/tak langsung dari surja petir menyebabkan terjadinya gelombang berjalan/ *traveling wave* pada saluran dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Surja petir dengan orde gelombang mikro detik sangat berbahaya jika tiba pada peralatan dengan nilai tegangan yang lebih tinggi dari *BIL (Basic Insulation Level)* peralatan [2] [6].

Prinsip kerja *arrester* ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Skema Lightning arrester

Surja yang merambat terdiri dari surja tegangan dan surja arus dan saat mencapai titik peralihan akan mengalami kenaikan pada gelombangnya sehingga terjadi perbedaan dengan gelombang asal, hal ini terjadi akibat gelombang berjalan saat sambaran petir pada kawat saluran menimbulkan *traveling wav* [7].

2.5.1 Tegangan Sistem Maksimum

Nilai tegangan maksimum sistem umumnya digunakan 110% dari harga tegangan nominal sistem, dapat dilihat dari Persamaan 2 [8].

$$V_{max} = V_{nominal} \times 110\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :
Vmax = Tegangan Maksimum (V)

2.5.2 Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Tegangan pengenal lightning arrester merupakan tegangan lightning arrester saat bekerja sesuai karakteristiknya. Tegangan pengenal pada lightning arrester lebih tinggi dari tegangan gangguan fasa ke tanah dan LA pada umumnya tidak boleh bekerja jika ada gangguan fasa ke tanah. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3 [8].

$$E_a = V_{nominal} \times \text{Koefisien Pentanahan} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :
Ea = Tegangan Pengenal
Vn = Tegangan Sistem
Koefisien Pentanahan = 0,8

2.5.3 Arus Pelepasan

Arus pelepasan adalah arus yang digunakan untuk mengklasifikasikan arrester dengan nilai puncak arus impuls sebesar 8/20 µs menurut standar. Persamaan dapat dilihat pada Persamaan 5 [8] :

$$I_a = \frac{2E - E_a}{Z + R} \dots\dots\dots(3)$$

$$R = \frac{\text{Tegangan Nominal}}{\text{Arus Nominal}} \dots\dots\dots(4)$$

- Ia = Arus pelepasan arrester (A)
- E = Tegangan surja yang datang (kV)
- Ea = Tegangan terminal arrester (kV)
- Z = Impedansi kawat transmisi (Ω) Impedansi Surja (Surja Impedance)
- R = Resistansi Saluran (Ω)

2.5.4 Pemilihan Tingkat Isolasi Dasar

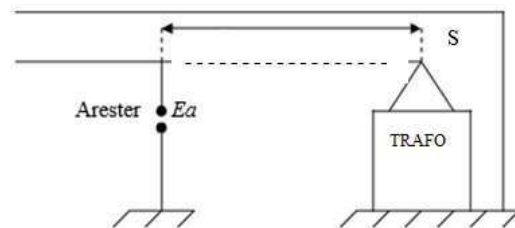
TID (Tingkat Isolasi Dasar) merupakan tingkat isolasi terhadap surja petir, dimana agar arrester masih dalam kordinasi isolasi dapat memberikan hasil proteksi yang maksimal [4].

$$FP = 1,2 \times TID \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :
FP = Faktor Perlindungan
TID = Tingkat Isolasi Dasar

2.5.5 Letak Optimum Arrester

Arrester yang ditempatkan dengan jarak tertentu, dimana jarak penempatan arrester tidak boleh terlalu dekat ataupun terlalu jauh dari peralatan yang dilindungi ,tetapi dalam praktek arrester ditempatkan dengan jarak S dari peralatan yang dilindungi. Jarak maksimum tersebut ditentukan agar mendapatkan hasil yang baik dari kinerja arrester [4].



Gambar 2. Skema Jarak Lightning arrester dan Transformator

Lighting Arrester yang ditempatkan dekat dengan jepitan trafo akan memberikan perlindungan yang baik, akan tetapi dalam praktek arrester itu harus ditempatkan dengan jarak S dari trafo yang dilindungi. Jarak tersebut ditentukan agar perlindungan/ proteksi dapat berlangsung dengan baik. Untuk menentukan jarak optimum arrester dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$E_p = E_a + \frac{A.S}{V} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :
Ep = TID
Ea = Tegangan Kerja Arrester

3. METODE PENELITIAN

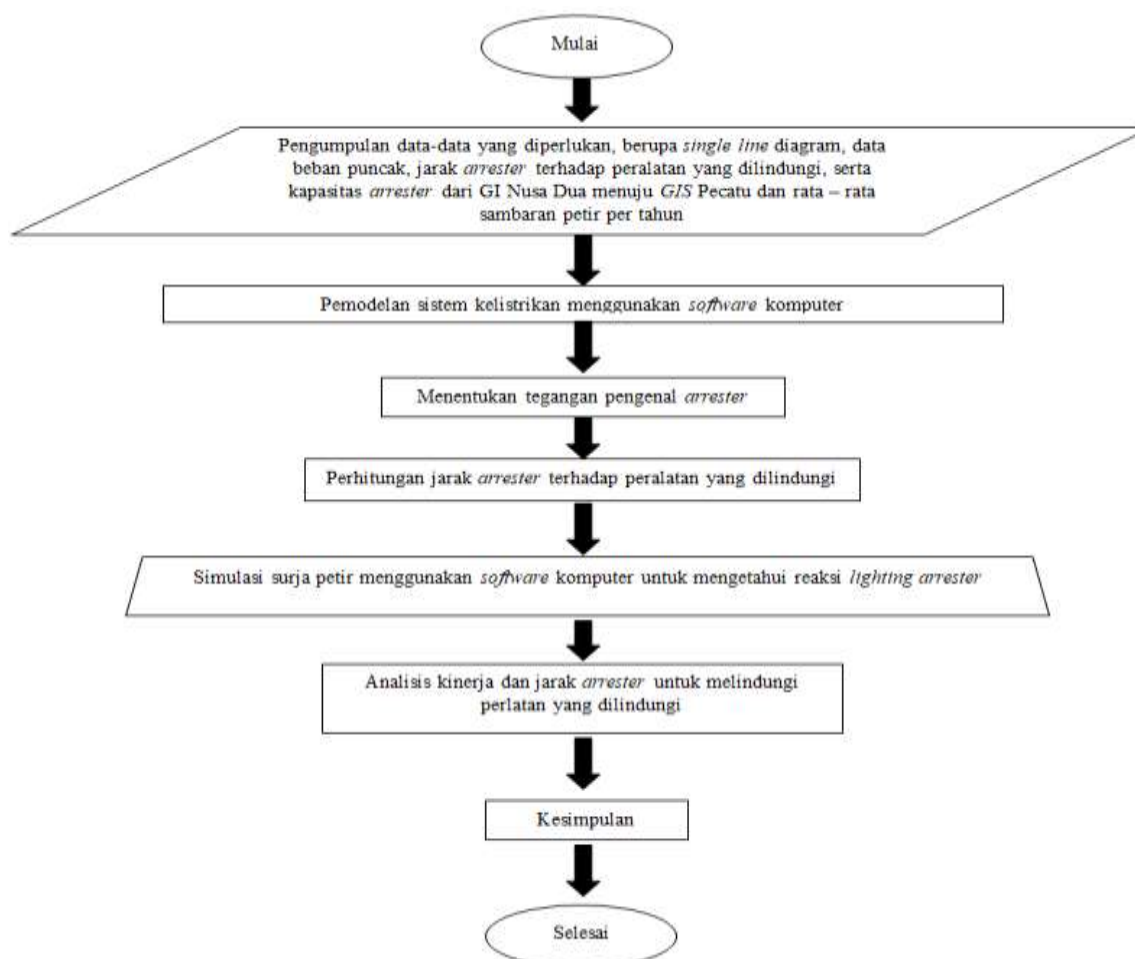
3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang ditempuh meliputi :

1. Melakukan observasi pada lokasi yang akan dijadikan tempat untuk penelitian mengenai pengamanan busbar di GIS Pecatu.
2. Mencari data mengenai spesifikasi, karakteristik & kapasitas *lighting arrester*, jenis penghantar yang digunakan, jarak *arrester* dengan peralatan busbar, tahanan isolasi, serta *single line diagram* Gardu Induk Nusa Dua Bay GIS Pecatu, dan *single line diagram* pada GIS Pecatu.
3. Melakukan simulasi gangguan surja terhadap *lighting arrester*.
4. Mencatat hasil simulasi mengenai dampak dari gangguan surja.
5. Melakukan analisis mengenai rambatan gelombang tegangan saat terjadinya gangguan surja

3.2 Alur Analisis

Alur tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Alur Tahapan Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Lighting Arrester Sebagai Pelindung Petir pada GIS Pecatu

4.1.1 Menentukan Tegangan Sistem Maksimum

Tegangan maksimum system dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 1.

$$V_m = V_{nominal} \times 110\%$$

$$V_m = 150 \text{ kV} \times 1,1$$

$$V_m = 165 \text{ kV}$$

Mengacu pada standar PLN dimana tegangan maksimum dapat mencapai 170 kV, maka tegangan sistem maksimum yang dipakai adalah 170 kV.

4.1.2 Menentukan Tegangan Pengenal Lightning Arrester

Tegangan pengenal *lighting arrester* dapat dihitug menggunakan Persamaan 2.

$$E_a = (V_{nominal} \times \text{Koef. Tanah}) \times 110\%$$

$$E_a = (150 \text{ kV} \times 0,82 \Omega) \times 110\%$$

$$E_a = 135 \text{ kV}$$

Tegangan pengenal *lighting arrester* yang didapat sebesar 135 kV, dapat dilihat pada Tabel 1. nilai yang mendekati dari perhitungan diatas adalah sebesar 138 kV, sehingga tegangan pengenal *arrester* yang digunakan sebesar 138 kV.

Tabel 1. Nilai Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Arrester rating kV	Front steepness FOW kV/ μs	10 kA Light-and heavy-Duty and 5 kA, Serie A	
		Std. kV, peak	FOW.kV, peak
1	2	3	4
108	870	363	418
120	940	940	463
126	980	420	495
138	1.030	500	577
174	1.160	570	660
186	1.180	610	702
198	1.200	649	746

Sumber : PT. PLN Persero

4.1.1 Menentukan Tegangan Percik *Impuls* Maksimum

Dapat dilihat pada Tabel 2 tegangan percik impuls maksimum *lighting arrester* dengan tegangan operasi pada sistem 150 kV didapat nilai nya sebesar 577 kV.

4.1.2 Menentukan Arus Pelepasan *Lightning Arrester*

Arus pelepasan *lighting arrester* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.

a. Arus nominal busbar 150 kV diperoleh sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{5730}{150}$$

$$I = 3820 \text{ A}$$

Jadi arus nominal sebesar 3820 A

b. Hambatan saluran dapat ditentukan menggunakan Persamaan 4 berikut

$$R = \frac{\text{Tegangan Nominal}}{\text{Arus Nominal}}$$

$$R = \frac{150 \text{ KV}}{3820 \text{ A}}$$

$$R = 0.04 \Omega$$

Jadi hambatan saluran sebesar 0,04 Ω

c. Arus pelepasan *lighting arrester* untuk mengisolasi busbar 150 kV didapat dengan perhitungan Persamaan 3 berikut.

$$I_a = \frac{2E + E_a}{Z + R}$$

$$I_a = \frac{2(1030) - 138}{400 + 86}$$

$$I_a = 3,96 \text{ kA}$$

Jadi arus pelepasan diperoleh sebesar 3,69 kA

$$S = 650 - 633,2$$

$$S = 16,8 \text{ meter}$$

Jadi jarak optimum *arrester* menurut perhitungan adalah 16,8 meter. Pada kenyataannya di lapangan di pasang sejauh 12,08 km, dikarenakan pada saluran menuju GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu menggunakan saluran kabel bawah tanah, sehingga *lighting arrester* dipasang pada ujung penyulang sejauh 12,08 Km.

4.2 Optimalisasi Penempatan Lighting Arrester

4.2.1 Perhitungan Jarak Lighting Arrester Terhadap Busbar 150 kV Pada GIS Pecatu

Data yang diperoleh saat melakukan survey dimana hanya terdapat *lighting arrester* dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu. Data mengenai *lighting arrester* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Data *Lighting Arrester* dari arah GI Nusa Dua Menuju GIS Pecatu

Tegangan Sistem (kV)	BIL / TID		Tegangan Percik (Kv)	Jarak Arrester ke Peralatan (Km)	Kecepatan Rambat Surja (UGC) (m/μdet)
	Peralatan (kV)	Lighting Arrester (kV)			
150	325	650	577	12,08	15

Sumber : PT. PLN Persero

Berdasarkan Tabel 2 diatas dapat ditentukan jarak optimum antara *lighting arrester* terhadap busbar pada GIS Pecatu sebagai berikut :

Diketahui :

- Tegangan Kerja LA (Ea) = 500 kV
- TID *Lighting arrester* (Ep) = 650 kV
- Kecuraman Gelombang (A) = 1000 dv/dt
- Rambat Gelombang (UGC) = 15 m/μdet

Berdasarkan data diatas, surja datang dengan kecuraman gelombang 1000 dv/dt, sehingga dapat ditentukan jarak optimum *arrester* menggunakan Persamaan 7 sebagai berikut:

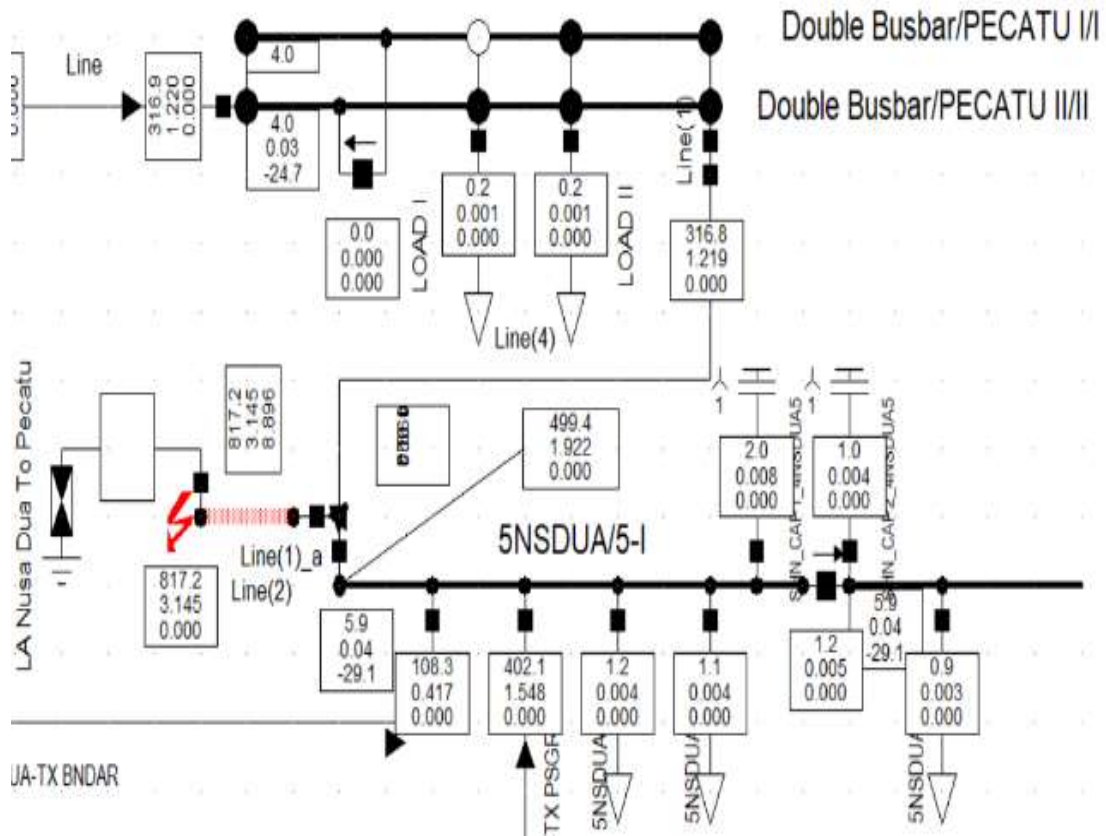
$$EP = EA + 2 \frac{(A.S)}{v}$$

$$650 = 500 + 2 (1000.s) / 15$$

4.3 Simulasi Penempatan Lighting Arrester Dengan Menggunakan Program Digsilent

4.3.1 Simulasi Penempatan Lighting Arrester Dengan Jarak 12,08 Km Dari GIS Pecatu

Penempatan *lighting arrester* pada GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu, diketahui sejauh 12,08 km dari peralatan yang dilindungi. Simulasi dilakukan dengan memberikan surja petir pada area LA GI Nusa Dua. Didapatkan hasil simulasi sebagai berikut.:



Gambar 4. Simulasi *Lightning Arrester* arah GI Nusa Dua Menuju GIS Pecatu (jarak 12,08 Km dari GIS Pecatu)

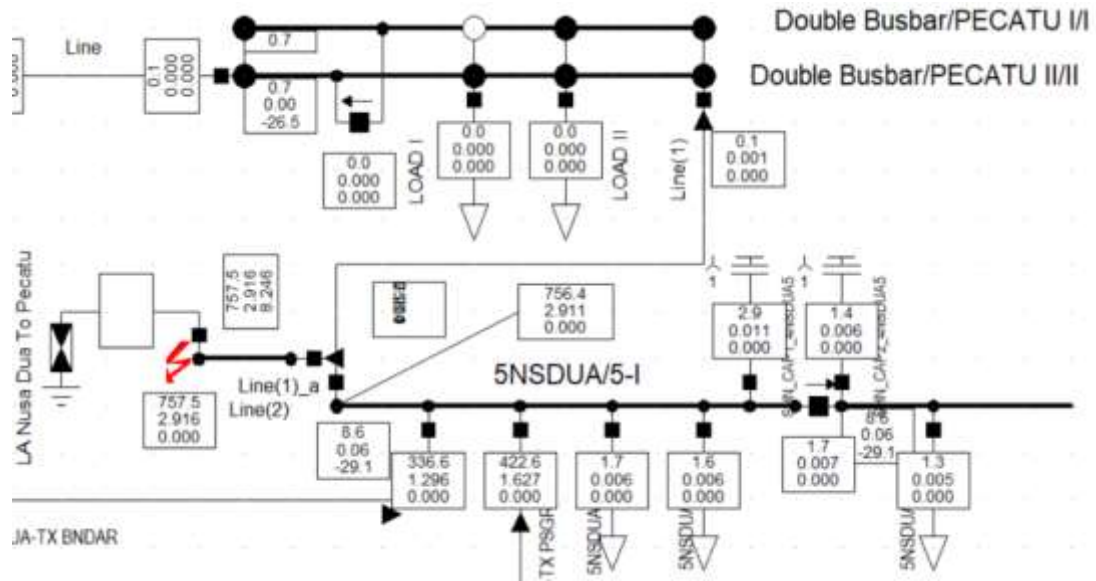
Berdasarkan Gambar 4 hasil simulasi penempatan *lightning arrester* dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu dengan jarak 12,08 km dari peralatan yang dilindungi didapatkan hasil dimana pemotongan gelombang surja petir oleh *lightning arrester* kurang maksimal diketahui dengan indikator adanya sisa arus yang melewati busbar 150 kV sebesar 1,219 kA dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja petir sebesar 4 kV. Dijabarkan melalui Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Simulasi Pengaruh Penempatan *Lightning Arrester* dengan Jarak 12,08 Km

No	Indikator	12,08 Km
1	Tegangan	4 kV
2	Daya	316,8 MVA
3	Arus	1,219 kA

4.3.2 Simulasi Penempatan *Lightning Arrester* Dengan Jarak 16,8 m Dari GIS Pecatu

Hasil perhitungan jarak optimum *arrester* didapatkan jarak optimum *arrester* sejauh 16,8 m. Simulasi dilakukan dengan memberikan surja petir pada area LA GI Nusa Dua. Didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar 5. Simulasi *Lighting Arrester* arah GI Nusa Dua Menuju GIS Pecatu (jarak 16,8 mdari GIS Pecatu)

Berdasarkan Gambar 5 hasil simulasi penempatan *lighting arrester* dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu dengan jarak 16,8 m dari peralatan yang dilindungi didapatkan hasil dimana pemotongan gelombang surja petir oleh *lighting arrester* sudah maksimal dilakukan diketahui dengan indikator adanya sisa arus yang melewati busbar 150 kV sangat kecil yaitu sebesar 0,001 kA dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja petir sebesar 0,7 kV. Dijabarkan melalui Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan dan Simulasi Pengaruh Penempatan *Lighting Arrester* dengan Jarak 16,8 m

No	Indikator	16,8 m
1	Tegangan	0,7 kV
2	Daya	0,1 MVA
3	Arus	0,001 kA

4.4 Analisis Hasil Simulasi Penempatan *Lighting Arrester* Dari Arah GI Nusa Dua Menuju GIS Pecatu

Berdasarkan Gambar 4 *lighting arrester* pada jarak 12,08 Km kurang maksimal dalam memotong surja petir dimana simulasi pemasangan *arrester* sejauh 12,08 km dari peralatan yang dilindungi menunjukkan indikator adanya arus yang melewati busbar sebesar 1,219 kA dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja sebesar 4 kV. Tegangan 4

kV dan arus 1,219 kA yang melewati busbar masih dalam toleransi busbar dengan maksimal tegangan sistem 170 kV dan arus sebesar 4 kA.

Berdasarkan Gambar 5 *lighting arrester* pada jarak 16,8 m sudah maksimal dalam memotong surja petir dimana hasil simulasi pemasangan *arrester* sejauh 16,8 m dari peralatan yang dilindungi menunjukkan indikator sisa arus yang sangat kecil melewati busbar 150 kV sebesar 0,001 kA dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja sebesar 0,7 kV.

Hasil analisis yang didapatkan adalah *lighting arrester* bekerja dengan baik dalam memotong surja petir, dan hasil maksimal yang didapatkan *arrester* dalam memotong surja petir pada jarak *arrester* dipasang sejauh 16,8 m. Jarak 16,8 m di dapatkan dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 7, dan pada jarak *arrester* dipasang sejauh 12,08 Km sesuai data yang didapatkan arus yang melewati busbar 150 kV sebesar 1,219 kA dan tegangan yang terdapat pada busbar 150 kV saat terjadinya surja petir sebesar 4 kV masih dalam batas toleransi tegangan maksimum sistem sebesar 170 kV dan arus sebesar 4 kA.

V. SIMPULAN

Adapun hasil simpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian untuk mengetahui pengaruh penempatan *lighting*

arrester dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu yaitu sebagai berikut :

1. *Lighting arrester* dari arah GI Nusa Dua menuju GIS Pecatu yang digunakan untuk memproteksi GIS Pecatu memiliki arus pelepasan sebesar 3,96 kA. *Lighting arrester* yang ditempatkan pada GI Nusa Dua dengan Panjang saluran sejauh 12,08 km mempengaruhi kinerja *arrester*, dimana hasil perhitungan jarak optimum pemasangan *arrester* sejauh 16,8 m. *Lighting arrester* yang ditempatkan sejauh 16,8 m sesuai perhitungan jarak optimum *arrester* bekerja maksimal dalam memotong surja petir dibuktikan dengan arus yang melewati busbar 150 kV sangat kecil sebesar 0,001 kA dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja petir sebesar 0,7 kV.
2. *Lighting arrester* ditempatkan sejauh 12,08 Km sesuai data yang didapat juga bekerja dengan baik dalam memotong surja petir, hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian menggunakan simulasi menunjukan indikator dimana pada saat *lighting arrester* diberikan surja petir, arus yang melewati busbar 150 kV sebesar 1,219 kA dan tegangan pada busbar 150 kV sebesar 4 kV.
3. Arus yang melewati busbar dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja petir masih dalam toleransi busbar dengan tegangan maksimal sistem sebesar 170 kV dan arus 4 kA. Penempatan *lighting arrester* sejauh 12,08 km dari peralatan/busbar 150 kV mampu bekerja dengan baik dalam memotong surja petir. Arus yang melewati busbar dan tegangan pada busbar saat terjadinya surja petir memiliki pengaruh yang sangat kecil pada busbar GIS Pecatu dikarenakan tegangan dan arus yang lewat masih dalam toleransi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmawati, Yuni. 2004. Optimasi Peletakan *Arrester* pada Saluran Distribusi Kabel Cabang Tunggal Akibat Surja Petir Gelombang Penuh. Malang : Universitas Negeri Malang, 1. 1693-8739
- [2] Rusdjaja, Tatang. 2010. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester (LA)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero).
- [3] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000. *Available from:* <https://mulyono.staff.uns.ac.id> [19 Januari 2021].
- [4] Jayanthana. I. P. W., Partha, C. G. I., Arjana. I. G. D. 2020. "Analisa Penempatan *Lighting Arrester* Pada *Cable Head* 60 Sebagai Pengaman Transformator GIS Bandara Ngurah Rai". *Jurnal SPEKTRUM*, Vol. 7, No. 1.
- [5] T. S. Hutauruk. 1991. "*Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*". Jakarta: Erlangga.
- [6] Ulawia, M. H. 2003. Evaluasi Pengaruh Lokasi Pemasangan Surja *Arrester* Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Terhadap Tegangan Lebih *Switching*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [7] Bandri, Sepannur. 2015 Analisa Gangguan Petir Sutt 150 kV Dengan Memperhatikan Tegangan Pada *Lightning Arrester* Dan Trafo. Tugas Akhir. Padang: Institut Teknologi Padang, 4. 1.
- [8] Kelompok Bidang Transmisi Standardisasi. 2014. *Spesifikasi Arrester Untuk Jaringan Transmisi 66 kV, 150 kV, 275 Kv DAN 500 kV*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero).
- [9] Team O & M. 1981. *Operasidan Memelihara Peralatan*". Jawa Barat dan Jakarta: PLN Pembangkitan.
- [10] IEEE/IEC *Lightning arresters Class 4 Ratings*. 2015. IEC60099-4 CLASS 4 IEEE C62.11. *IEEE/IEC Lightning arrester, Arresters for AC and DC Application*. GE Digital Energy.