

Analisa Proteksi Gangguan Petir Pada SUTT 70 KV Antara GI Kebonagung - Polehan

Priya Surya H^{*a)}, Awan Setiawan^{a)}, Budi Eko Prasetyo^{a)}

(Artikel diterima : Januari 2023, direvisi: Februari 2023)

Abstrak: In maintaining the continuity of its distribution, routine maintenance and a good security system are needed to anticipate abnormal conditions. This study analyzes lightning disturbances along the 70 kV transmission line from the Kebonagung substation to the Polehan substation with different strike point conditions, as well as studies the condition of the equipment when a direct strike occurs in the 70 kV transmission. From the results of the analysis when a direct strike on the phase wire of 1098 kV goes to the Kebonagung Substation, the arrester will work to throw the overvoltage to the ground, so the lightning voltage that reaches the Kebonagung Substation equipment is less than 60 kV so that the equipment at the Kebonagung Substation is protected from disturbance lightning. However, if the arrester does not work when there is a direct strike, then the damaged equipment is CVT (739.26 kV), Ds Line (545.56 kV) and CT (378.274 kV), because the BIL of the equipment is smaller than the lightning voltage that reaches and causing the system to shut down. When an indirect strike of 97.068 kV goes to the Kebonagung substation, the arrester will work and the equipment at the Kebonagung substation is protected. However, if the arrester does not work, the equipment is still protected because the CVT (65.347 kV), DS Line (16.95 kV) and CT (4.230 kV), the BIL of each equipment is higher than the incoming lightning voltage.

Kata kunci : SUTT, surja petir, Sudut Perlindungan, Arrester, LA.

1. Pendahuluan

Pada saluran transmisi 70 kV antara GI Kebonagung menuju GI Polehan terdapat 43 tower. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik tidak menutup kemungkinan terjadi gangguan, salah satunya adalah masalah tegangan lebih transien. Tegangan lebih transien dapat disebabkan oleh sambaran petir. Sambaran petir yang terjadi pada Gardu Induk akan menyebabkan kenaikan tegangan lebih yang besar pada peralatan di Gardu Induk. Tegangan lebih ini dapat merusak isolasi peralatan apabila melewati batas isolasi peralatan (BIL) yang diizinkan. Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh jarak sambaran petir terhadap peralatan di GI Kebonagung dan GI Polehan. Simulasi akan dilakukan dengan menggunakan *software Alternative Transients Program (ATP)* dengan memodelkan jaringan sistem tenaga yang mendekati kondisi eksisting pada ATP sehingga dapat diketahui besar tegangan yang ditimbulkan petir terhadap sistem 70 kV dan menggunakan hitungan gelombang berjalan.

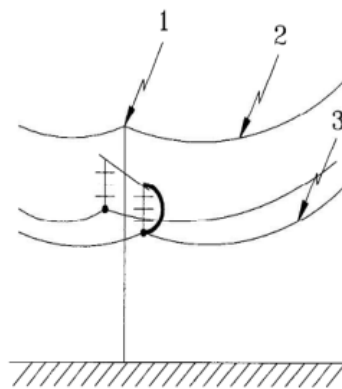
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi

Petir adalah loncatan muatan listrik statis yang besar, muatan listrik dapat hilang dengan pengosongan. Pengosongan terjadi apabila terjadi apabila tersedia suatu

jalan bagi elektron-elektron untuk mengalir dari suatu benda bermuatan ke benda lain. Kelebihan tegangan yang disebabkan petir terbagi menjadi 2 jenis sambaran langsung dan sambaran tidak langsung (induksi) dapat dijelaskan sebagai berikut:

A. Sambaran Langsung



Gambar 2.1 Ilustrasi Sambaran Langsung [1]

Keterangan :

1. Sambaran langsung pada tiang.

Sambaran langsung pada tiang terjadi jika sambaran petir mengenai ujung dari menara saluran transmisi.

2. Sambarang langsung pada kawat tanah

Sambarang langsung pada kawat tanah terjadi jika sambaran petir mengenai *Ground Stelli Wire (GSW)* dari menara transmisi.

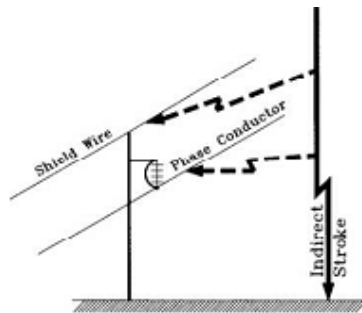
3. Sambaran langsung pada kawat fasa.

Sambaran langsung pada kawat fasa terjadi jika sambaran petir mengenai salah satu dai kawat fasa R, S atau T.

B. Sambaran Tidak Langsung (Induksi)

* Korespondensi: priya.surya@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141



Gambar 2.2 Ilustrasi Sambaran Induksi [1]

Sambaran Induksi atau sambaran tidak langsung terjadi karena induksi elektro magnetik akibat sambaran petir didekat saluran udara atau induksi elektromagnetis akibat awan muatan di atas saluran udara.

2.2 Lightning Arrester

Suatu gelombang energi listrik merambat sepanjang kawat udara dengan konstanta L dan C, maka gelombang tegangan dan arus merambat dengan kecepatan yang sama. [3]

$$L = 2 \left(\ln \frac{2H}{r} \right) \cdot 10^{-7} \text{ henry/m} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$C = \frac{10^{-11}}{18 \cdot \ln \frac{2h}{r}} \text{ farad/m} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan,

- L = Induktansi penghantar tunggal paralel dengan tanah
- C = Kapasitansi penghantar tunggal paralel dengan tanah
- H = Tinggi penghantar diatas tanah
- R = Jari – Jari Penghantar

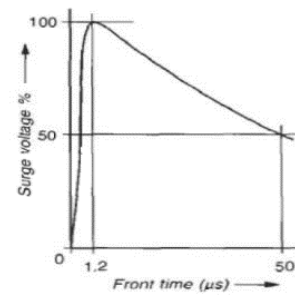
2.3 Lightning Arrester

Dalam memilih arrester yang sesuai untuk keperluan tertentu, beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu:

- Kebutuhan perlindungan, hal ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi.
- Tegangan sistem, ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada terminal arrester.
- Arus hubung singkat sistem, hanya diperlukan untuk arrester jenis ekspulsi
- Jenis arrester, apakah arrester jenis gardu, jenis saluran atau jenis distribusi
- Faktor kondisi luar, apakah normal atau tidak normal, temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran.
- Faktor ekonomi, bisa jadi merupakan perbandingan antara biaya pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester.

2.4 Gelombang Berjalan

Bentuk umum suatu gelombang berjalan berdasarkan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Impuls 1,2 /50 µs [2]

a. Tegangan Gelombang Pantul

$$e_1' = \rho_R \times e_1 \dots\dots\dots (2-3)$$

b. Koefisien Gelombang Pantul

$$\rho_R = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} \dots\dots\dots (2-4)$$

c. Arus Gelombang Pantul

$$i' = \frac{e_1'}{Z_C} \dots\dots\dots (2-5)$$

d. Tegangan Gelombang Rambatan

$$e_1'' = T \times e_1 \dots\dots\dots (2-6)$$

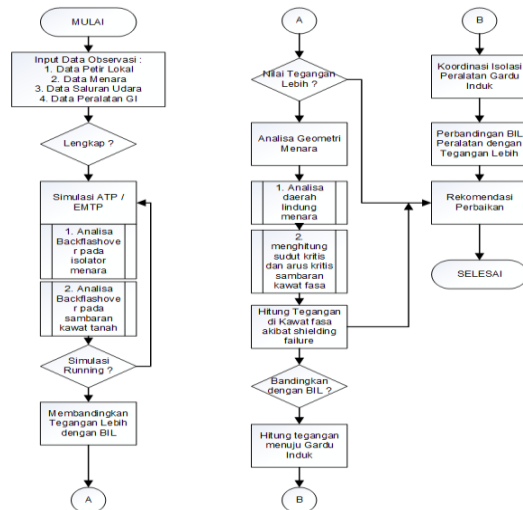
e. Koefisien Gelombang Rambatan

$$T = \frac{2Z_C}{Z_C + Z_R} \dots\dots\dots (2-7)$$

f. Arus Gelombang Pantul

$$i'' = \frac{e_1''}{Z_C} \dots\dots\dots (2-8)$$

3. Metodologi



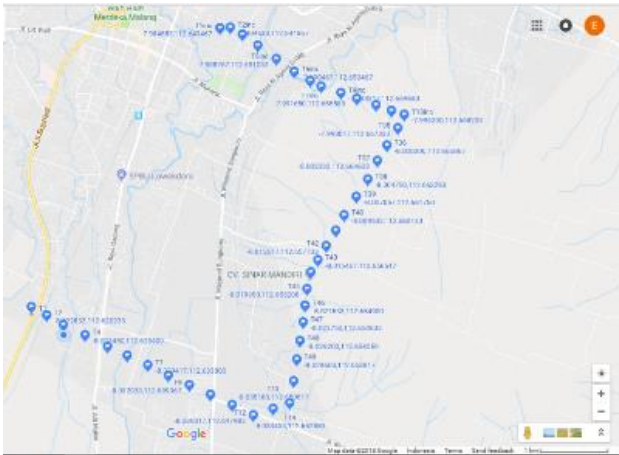
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

4. Pembahasan

4.1. Gambaran Umum SUTT 70 KV Kebonagung – Polehan

Saluran transmisi 70 kV antara GI Kebonagung dengan GI Polehan merupakan sistem transmisi tegangan tinggi. Sistem transmisi dari GI Kebonagung menuju ke GI Polehan dibutuhkan 43 tower. Terdapat 16 tower tension dan 27 tower suspension.

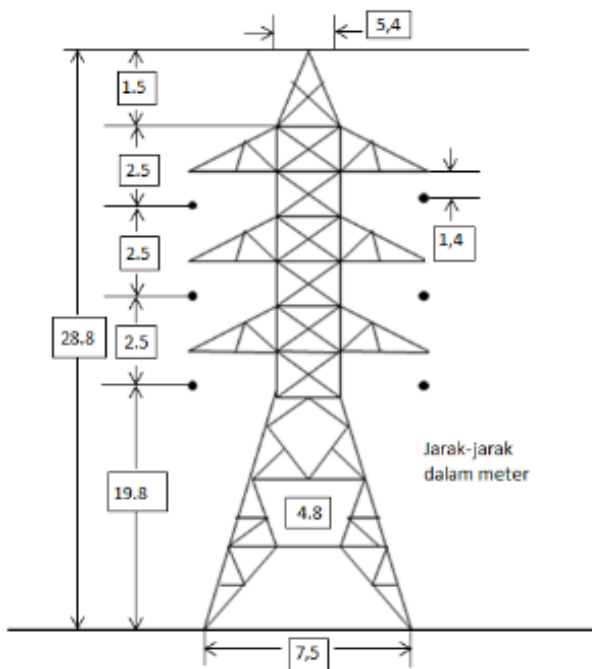
Tower dari GI kebonagung – GI Polehan tersebut membentang sejauh ± 11,425 km. Pada sistem transmisi ini menggunakan penghantar dengan jenis ACSR OSTRICH.



Gambar 4.1 Route Tower 70 kV dari GI Kebonagung ke GI Polehan

4.2. Analisis Dimensi Menara

Menganalisis tower erat kaitannya dengan menghitung sudut perlindungan ground wire dan bagaimana spesifikasi sistem pentanahan SUTT 70 kV pada jalur tersebut. Diketahui data menara transmisi sebagai berikut:



Gambar 4.2 Ukuran Tower SUTT 70 kV

- Jumlah isolator = 7
- Panjang renteng isolator = 1.4
- Jumlah sub konduktor = 1

4.1.1 Sudut Perisai

Maka sudut perisai yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

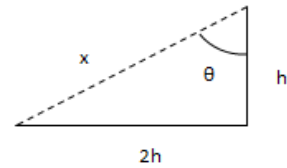
$$x = \sqrt{h^2 + 2h^2}$$

$$x = 3.354 \text{ m}$$

$$\sin \theta = \frac{2h}{x}$$

$$\sin \theta = 0.894$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.894 = 63.38^\circ$$



Gambar 4.3. lebar jalur perisai terhadap sambaran kilat

Provoost bahwa sudut perlindungan dikatakan jelek apabila $\theta > 40^\circ$. Maka tinggi kawat tanah dengan fasa dapat ditambah dengan membalik rumus dan mencari h. sehingga di dapatkan tabel perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.1 perhitungan tinggi tower 70 kV

h (m)	2h	x (m)	sin θ	θ (°)
1.5	3	3.354101966	0.894427191	63.43494882
2	3	3.605551275	0.832050294	56.30993247
2.5	3	3.905124838	0.76822128	50.19442891
3	3	4.242640687	0.707106781	45
3.5	3	4.609772229	0.650791373	40.60129465
4	3	5	0.6	36.86989765
4.5	3	5.408326913	0.554700196	33.69006753
5	3	5.830951895	0.514495755	30.96375653
5.5	3	6.264982043	0.478852131	28.61045967

4.1.2 Pentanahan Arde Tower

Dari tabel terdapat tujuh buah SUTT yang tahanan pentanahannya belum sesuai standart diantaranya pada tower nomer 09 KBA, 11 KBA, 10 PLH, 08 PLH, 05 PLH, 04 PLH dan 03 PLH. Hal tersebut tidak sesuai dengan standart buku pedoman SUTT PT. PLN yang dijelaskan bahwa untuk pentanahan 70 kV nilai pentanahannya harus dibawah 5 ohm.

4.2. Analisis Gangguan Petir di Gardu Induk

Menganalisa gangguan petir di Gardu Induk erat kaitannya dengan alat untuk mengamankan peralatan dari sambaran petir yaitu *lightning arrester*. Alat ini memiliki cara kerja memotong tegangan petir setelah melewati tegangan nominal *lightning arrester* dan membuang tegangan potongan ke dalam tanah. Langkah awal untuk pemilihan karakteristik *lightning arrester* yang sesuai untuk pengaman sambaran petir adalah dengan menentukan kelas *lightning arrester* sesuai dengan standart yang

ada kemudian menentukan tegangan pengenalan serta menentukan arus pelepasan di *lightning arrester* kemudian menentukan seberapa persen *lightning arrester* dapat melindungi alat GI dengan menentukan margin perlindungannya dan menentukan jarak sambaran petir yang dapat diamankan *lightning arrester*.

Tabel 4.2 Tahanan Pentanahan di tiang 1 – 38

No. Tower	Jenis Tower	Hasil Pengukuran (Ω)						
		(total)	Arde Kaki Tower (Klem dilepas dari Tower)				Tower	GSW Langung **)
			A	B	C	D		
01	ST	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
02	ST	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	1.8	
03	ST	1.36		6.4	5.98		1.35	
04	DS	1.5		5.32	4.78		2.3	
05	DS		5.6	6			1.68	
06	DT / ST	1.7		4.6			2.2	
07	DS	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.5	
08	DT / ST	1.6		9.23			2.13	
09	SS	0.8	0.7	0.7	0.6	0.9	1.7	
10	SS	1	2.4	6.5			1.1	
11	SS	0.8		3.1			0.8	
12	SS	1.56					2.33	
13	ST	1.39	1.8	-	3.90	-	2.3	
35	ST	1.5	3.9	-	-	-	1.8	
36	SS	0.14	-	-	-	-	1.74	
37	SS	3.3	-	3.2	-	-	2.6	
38	ST	2.5	-	-	2.30	-	1.1	

A. Menentukan Tegangan Pengenal Arrester

1. Tegangan maksimum sistem :

$$Um = E \text{ sistem} \times 110\% = 77 \text{ kV}$$

2. Tegangan pengenalan arrester :

$$Er = e \times \beta \times Um = 0,8 \times 1 \times 77 = 61,6 \text{ kV}$$

Maka lightning arrester yang dipilih menurut SPLN 1 1995 adalah lightning arrester dengan tegangan pengenalan yaitu 72 kV.

B. Menentukan Arus Pelepasan Arrester

1. Harga puncak surja adalah :

$$E = 1,2 \times TID \text{ Saluran} = 1,2 \times 350 = 420 \text{ kV}$$

Arus Pelepasan

$$Ic = \frac{2,4 \times E - Ec}{Zo} = \frac{2,4 \times 420 - 5}{437,65} = 2,3 \text{ kA}$$

Dari perhitungan diatas dapat dipilih lightning arrester dengan kelas arus rata-rata 10 kA dan apabila daerah tersebut rawan petir maka menggunakan lightning arrester dengan kelas arus 20 kA. Hanya dengan Arester saja masalah sambaran langsung dan tidak langsung dapat teratasi sehingga tidak akan membahayakan peralatan di Gardu Induk.

C. Menentukan Margin Perlindungan

$$MP = \frac{BIL}{LPL} - 1 \times 100\% = \left(\frac{325}{153} - 1 \right) \times 100\% = 112 \%$$

Faktor perlindungan yang diperoleh adalah 112% sehingga pemilihan lightning arrester sudah dapat memberikan faktor perlindungan yang baik karena kriteria margin perlindungan (MP) yang berlaku MP > 20% dianggap cukup baik melindungi transformator.

D. Menghitung induktans penghantar

$$L = 2 \left[\ln \frac{2 \times 5}{0,0069} \right] \times 10^{-9} = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left[\frac{6,15}{0,6} \right] = 0,28 \times 10^{-7} \frac{\text{henri}}{\text{meter}}$$

E. Menghitung kapasintans penghantar

$$C = \frac{10^{-11}}{18 \ln \frac{2 \times 5}{0,0069}} = 7,6 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

F. Menghitung impedans surja

$$Zc = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{15,557 \times 10^{-7}}{7,6 \times 10^{-12}}} = 437,65 \text{ ohm}$$

4.3. Analisis Gangguan Petir di SUTT

Menganalisa sambaran petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) terhadap gangguan petir dapat dibedakan menjadi dua yaitu, sambaran langsung dan sambaran tidak langsung.

4.3.1. Sambaran Langsung

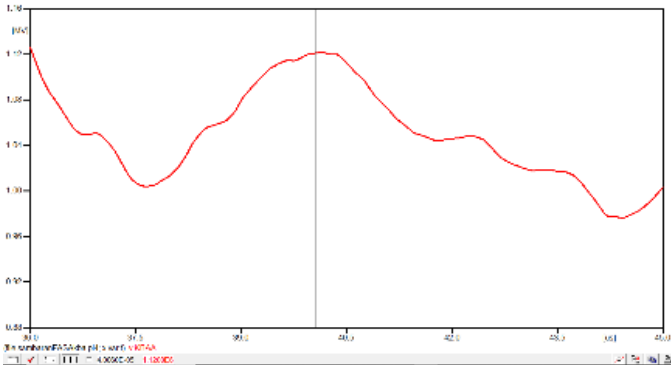
Diasumsikan terdapat tiga titik simulasi, yaitu di titik terdekat sisi kirim saluran transmisi dengan simbol A, di tengah saluran dengan simbol B dan terjauh dengan simbol C, dengan standart IEC 60060-1, sambaran langsung pada kawat fasa sebesar 200 kV dengan gelombang surja 1,2/50µs. Pada saluran transmisi ini memiliki panjang 11,425 kilometer.

• Gangguan Petir Di Titik A

Tabel 4.3 Perhitungan Sambaran Langsung Dekat Sisi Kirim

Bagian	e1 (kV)	e' (kV)	I' (kA)	e'' (kV)	I'' (kA)
GI KBA	1098.12	-739.268	-0.9308	358.8514	2.3136
sambaran	2000	-1098.12	-2.0609	901.8802	5.8146
saluran	901.8802	-48.379	-0.0091	51.29736	0.33072
GI PLH	51.29736	-49.228	-0.006	2.069105	0.01334

Dari hasil perhitungan tabel di atas menunjukkan bahwa gelombang surja yang sampai ke GI Kebonagung menghasilkan gelombang rambatan sebesar 358.8513991 kV dengan arus rambatan sebesar 2.313617954 kA dan gelombang pantul -739.2686009 kV dengan arus pantul sebesar -0.930878262 kA



Gambar 4.5 Hasil simulasi gelombang tegangan yang menuju ke GI Kebonagung

1. Arrester Tidak Bekerja

Tabel 4.4 Perhitungan Tegangan Petir yang Sampai Ketika Arrester Tidak Bekerja

Bagian	e1 (kV)	e' (kV)	I' (kA)	e'' (kV)	I'' (kA)
Saluran	1098.12	-739.27	-0.930878	358.851	2.31362
CVT	739.2686	-82.338	-0.310419	545.56	3.51738
DS Line	545.56	-105.49	-0.360925	378.274	2.43884
CT	378.274	-80.424	-0.260269	252.837	1.63011
CB	252.837	-56.039	-0.172503	163.412	1.05356
DS BUS	163.412	-37.355	-0.109874	102.39	0.66014
Trafo	102.39	-23.957	-0.067589	62.3334	0.40188

Pada peralatan trafo memiliki BIL 325 kV sedangkan tegangan yang sampai ke trafo sebesar 102,39 kV. Karena tegangan yang sampai < BIL Trafo yaitu 325 kV > 102,39 kV maka Trafo GI terlindungi.

Tabel 4.5 Kondisi Peralatan Ketika Arrester Tidak Kerja

Bagian	BIL	e1	Kondisi
Saluran		1098.12	
CVT	480	739.269	Rusak
DS Line	350	545.56	Rusak
CT	325	378.274	Rusak
CB	350	252.837	Aman
DS BUS	350	163.412	Aman
Trafo	325	102.39	Aman

2. Arrester Bekerja

Tabel 4.6 Perhitungan Tegangan Petir yang Sampai Ketika Arrester

Bekerja

Bagian	e1 (kV)	e' (kV)	I' (kA)	e'' (kV)	I'' (kA)
Saluran	1098.12	-739.27	-0.9308783	358.851	2.31362
Arrester	60	-11.602	-0.0437408	44.2784	0.28548
CVT	44.2784	-9.414	-0.0322077	30.7012	0.19794
DS Line	30.7012	-6.8047	-0.0220214	20.5206	0.1323
CT	20.5206	-4.6908	-0.0144395	13.2627	0.08551
CB	13.2627	-3.1032	-0.0091276	8.31014	0.05358
DS BUS	8.31014	-1.9792	-0.0055838	5.05906	0.03262
Trafo	5.05906	-1.2214	-0.0033157	2.99804	0.01933

Tabel 4.7. Kondisi Peralatan Ketika Arrester Bekerja

Bagian	BIL	e1	Kondisi
Saluran		1098.12	
Arrester	350	60	Aman
CVT	480	44.2784	Aman
DS Line	350	30.7012	Aman
CT	325	20.5206	Aman
CB	350	13.2627	Aman
DS BUS	350	8.31014	Aman
Trafo	325	5.05906	Aman

Pada peralatan trafo memiliki BIL 325 kV sedangkan tegangan yang sampai ke trafo sebesar 5,059 kV. Karena tegangan yang sampai < BIL Trafo yaitu 325 kV > 5,059 kV maka Trafo GI terlindungi.

Tegangan yang diterima trafo lebih kecil atau lebih sedikit ketika arrester bekerja dengan baik, namun apabila arrester tidak bekerja dengan baik maka tegangan yang diterima lebih besar dan dapat menimbulkan kerusakan yang fatal pada peralatan. Karena tegangan yang sampai ke trafo tanpa arrester > tegangan yang sampai ke trafo dengan arrester yaitu 102,39 kV > 5, 059 kV.

4.1.3 Sambaran Tidak Langsung

Diasumsikan sambaran surja secara tidak langsung mengenai kawat tower sebesar 200 kV maka Zt sebesar 143, 616 ohm dan Zg sebesar 573,01 ohm. Karena tegangan induksi yang diterima saluran tidak melebihi BIL saluran maka tegangan induksi tersebut dianggap tidak mengganggu tegangan sistem. Sehingga dalam perhitungan sambaran tidak langsung tegangan pantul diabaikan.

• Gangguan Petir Di Titik A

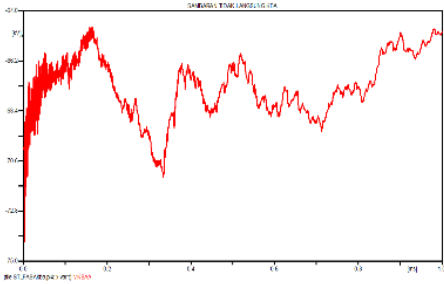


Gambar 4.6. simulasi surja petir pada kawat fasa di titik terdekat

Tabel 8 Perhitungan Sambaran Tidak Langsung Dekat Sisi Kiri

Tower	E1 (kV)	e' (kV)	I' (kA)	e'' (kV)	I'' (kA)
T.1 kba	97.068	-96.089	-0.68299	98.7061	0.68729
T.3 kba	200	-98.137	-0.68333	99.532	0.69304
T.1 plh	30.371	-28.841	-0.20082	29.0838	0.20251

Dari hasil perhitungan tabel di atas menunjukkan bahwa gelombang surja yang sampai ke GI Kebonagung menghasilkan gelombang rambatan sebesar 98.7061 kV dengan arus rambatan sebesar 0.68729 kA dan gelombang pantul -98.089 kV dengan arus pantul sebesar -0.68299 kA.



Gambar 4.7. Hasil simulasi gelombang tegangan yang menuju ke GI Kebonagung

5. Kesimpulan

Beberapa hal yang bisa disimpulkan dari penulisan ini adalah:

- 1) Dari hasil analisis ketika sambaran langsung, tegangan yang sampai ke Gardu Induk terdekat akan tinggi. Sedangkan ketika sambaran tidak langsung, tegangan yang sampai ke Gardu Induk terdekat akan lebih kecil, sehingga tidak membahayakan peralatan di Gardu Induk Kebonagung maupun Gardu Induk Polehan.
- 2) Dari hasil analisis apabila nilai pentanahan tinggi, maka nilai arus dan tegangan yang dibuang ke tanah akan sedikit sehingga menyebabkan tegangan yang sampai ke Gardu Induk tinggi dan dapat membahayakan peralatan.
- 3) Dari hasil perhitungan dan analisis dapat diketahui bahwa ketika sambaran petir yang menuju arrester lebih tinggi daripada tegangan kerja arrester maka arrester akan berubah menjadi konduktor dan membuang tegangan lebih. Dari hasil perhitungan penentuan jarak sambaran petir yang diamankan dapat diketahui bahwa jarak titik sambaran berbanding lurus dengan waktu perambatan namun titik sambaran berbanding terbalik dengan besar tegangan petir yang mengalir.

Shielding Failure Current Causing Flashover in Overhead Lines of The Hellenic Transmission System through ATP-EMTP Simulations", 2012 International Conference in Lightning Protection (ICLP), Vienna, Austria.

- [5] Mikropoulos, Pantelis N et al, "Effects of Simulation Models of Overhead Transmission Line Basic Components on Backflashover Surges Impinging on GIS Substations" 31 Aug – 3 sept UPEC 2010.¥
- [6] J.G Anderson, Lightning Performance of Transmission lines, in Transmission Line Reference Book : 345 kV and above, 2nd edition revised, California: Electric Power Research Institute.
- [7] Klairuang, N et al. "Lightning Performance Indices of Overhead Distribution Lines". IEEE.2009
- [8] Uglesic, Ivo. "Modelling of Transmission Line and Substation for Insulation Coordination Studies". EMTP-RV. Training Dubrovnik. 27-29 April 2009. Croatia
- [9] Yadee, P. Premrudeepreechacharn, S. "Analysis of Tower Footing Resistance Effected Back Flashover Across Insulator". Thailand.
- [10] Lukmantoro, Widen. "Studi Perencanaan saluran Transmisi 150 kV Bambe Incomer" Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [11] Hernandez, J. "Lightning Arresters A Guide to Selection and Application", General Electric.
- [12] Woodworth, J.J. "Selecting an Arrester MCOV and Uc". Arrester Facts 016. Arrester Works.
- [13] Yanuar, Z.A, "Analisis Transien Akibat Surja Petir Pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi dengan Menggunakan Electromagnetics Transients Program (Studi Kasus : GITET 500 kV Suralaya – Gandul), Tesis Magister, Dep. Teknik Elektro ITB, 2016.
- [14] Yuniarti, E., Hermanto, D. and Ahmad, P., 2017. Penggunaan gypsum dan magnesium sulfat sebagai upaya menurunkan nilai resistansi pentanahan. Jurnal Surya Energy, 2(1), pp.140-148.
- [15] Zoro, Reynaldo. 2016. Pelatihan Proteksi Petir pada Jaringan Transmisi, Distribusi & Gardu Induk. Sekolah Teknik Elektro & Informatika Institut Teknologi Bandung
- [16] Zoro, Reynaldo. 2018. Sistem Proteksi Petir pada Sistem Tenaga Listrik. Remaja Rosdakarya.
- [17] P. S. Harijanto, E. Raganingrum, and B. E. Prasetyo, "UJI PERFORMA PENGAMAN GANGGUAN PETIR PADA SALURAN TRANSMISI 70 KV GI KEBONAGUNG – GI POLEHAN MENGGUNAKAN ATP DRAW," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 2, pp. 66–71, Jun. 2021.
- [18] M. M. Effendi, M. F. Hakim, and B. E. Prasetyo, "Analisis Aliran Daya dan Kualitas Daya Voltage Uprating 70 kV ke 150 kV Menggunakan Performance Index," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 8, no. 2, pp. 40–44, Jun. 2021.

Daftar Pustaka

- [1] Grigsby, L.L. 2006. Power Systems. New York : CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
- [2] Agrawal, K.C. 2001. Industrial Power Engineering Handbook. England: Newnes
- [3] Hutauruk, T.S. 1989. Gelombang Berjalan. Jakarta : Erlangga.
- [4] Datsios, Zacharias G, et al, " Estimation of The Minimum