

UJI PERFORMA PENGAMAN GANGGUAN PETIR PADA SALURAN TRANSMISI 70 KV GI KEBONAGUNG – GI POLEHAN MENGUNAKAN ATP DRAW

Priya Surya Harijanto ^{a)}, Budi Eko Prasetyo ^{a)}, Ekasari Raganingrum ^{a)}

(Artikel diterima:Mei 2021, direvisi: Juni 2021)

Abstrak: Dalam menjaga kelangsungan penyalurannya di butuhkan perawatan rutin dan sistem pengaman yang bagus untuk mengantisipasi keadaan yang tidak normal. Pada studi ini menganalisis gangguan petir di sepanjang saluran transmisi 70 kV dari Gardu Induk Kebonagung menuju Gardu Induk Polehan dengan kondisi titik sambaran yang berbeda, serta menstudi kondisi peralatan ketika terjadi sambaran langsung di transmisi 70 kV. Dari hasil analisis ketika sambaran langsung pada kawat fasa sebesar 1098 kV menuju ke Gardu Induk Kebonagung, arrester akan bekerja membuang tegangan lebih ke tanah, maka tegangan petir yang sampai ke peralatan Gardu Induk Kebonagung kurang dari 60 kV sehingga peralatan di Gardu Induk Kebonagung terlindungi dari gangguan petir. Namun apabila arrester tidak bekerja ketika terjadi sambaran langsung, maka peralatan yang rusak adalah CVT (739,26 kV), Ds Line (545,56 kV) dan CT (378,274 kV), karena BIL peralatan tersebut lebih kecil daripada tegangan petir yang sampai dan mengakibatkan sistem padam. Ketika sambaran tidak langsung sebesar 97,068 kV menuju ke GI Kebonagung maka arrester akan bekerja dan peralatan di GI Kebonagung terlindungi. Namun apabila arrester tidak bekerja, peralatan tetap terlindungi karena CVT (65,347 kV), DS Line (16,95 kV) dan CT (4,230 kV), BIL masing-masing peralatan lebih tinggi daripada tegangan petir yang sampai. Maka dapat diketahui bahwa perlu adanya perawatan pada arrester agar dapat bekerja dengan baik ketika terjadi sambaran langsung serta perlu adanya pengecekan GSW dan nilai pentanahan pada tower agar nilai tegangan petir yang sampai di GI Kebonagung tidak lebih besar daripada ketika terjadi sambaran langsung.

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

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.

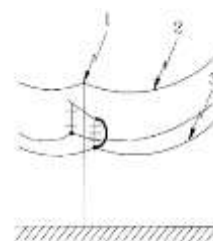
2. Tinjauan Pustaka

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 1. Ilustrasi Sambaran Langsung [1]

Keterangan

1. Sambaran langsung pada tiang.

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

* Korespondensi: priyasuryapoweritb14@gmail.com@gmail.com

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

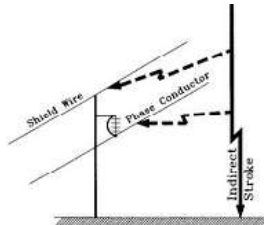
2. Sambaran langsung pada kawat tanah

Sambaran langsung pada kawat tanah terjadi jika sambaran petir mengenai *Ground Still 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 Induksi



Gambar 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]

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

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

Keterangan,

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

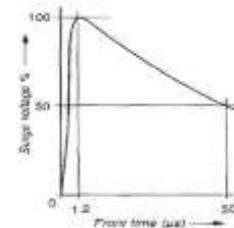
2.3 Lightning Arrester

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 3 Bentuk Gelombang Impuls 1,2 /50 µs [2]

a. Tegangan Gelombang Pantul

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

b. Koefisien Gelombang Pantul

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

c. Arus Gelombang Pantul

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

d. Tegangan Gelombang Rambatan

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

e. Koefisien Gelombang Rambatan

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

f. Arus Gelombang Pantul

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

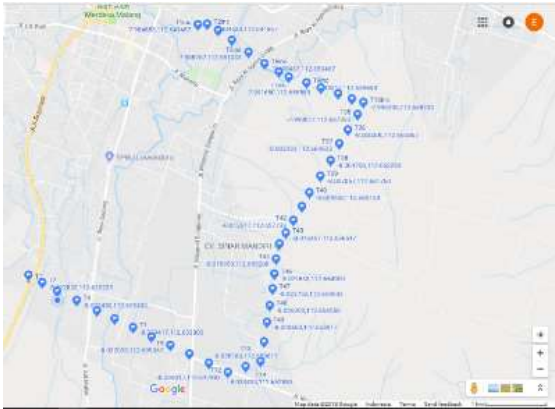
3. Metodologi

Proses pengerjaan dimulai dengan survey lapangan untuk melihat kondisi existing yang ada, kemudian dilakukan dengan pemetaan data tower yang isolatornya rusak, mengukur resistansi pentanahan dimana terdapat tower dengan isolator rusak, kemudian mengidentifikasi peralatan yang terpasang pada GI, dan membuat sebuah simulasi.

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.

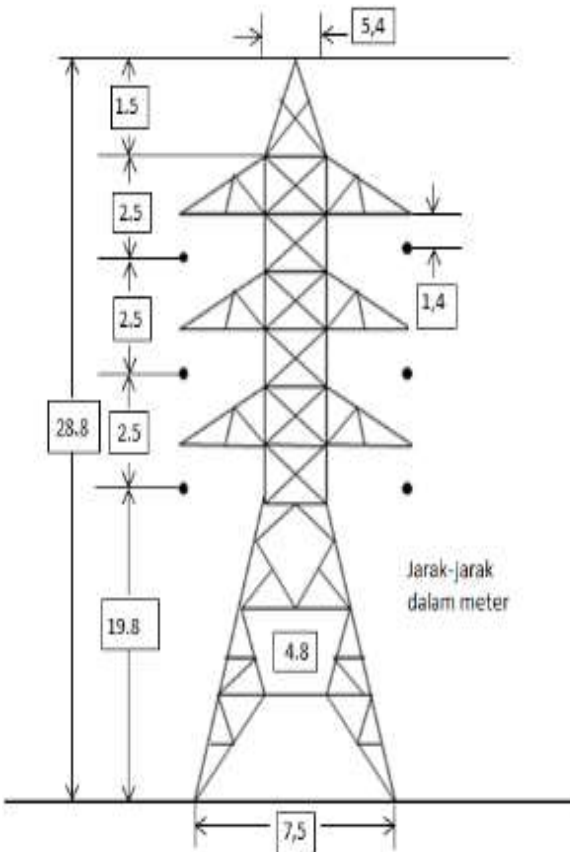


Gambar 5 Route Tower 70 kV dari GI Kebonagung ke GI Polehan

4.2 Analisis Tower

Menganalisis tower erat kaitannya dengan menghitung sudut perlindungan ground wire dan bagaimana spesifikasi sistem pentanahan SUTT 70 kV pada jalur tersebut.

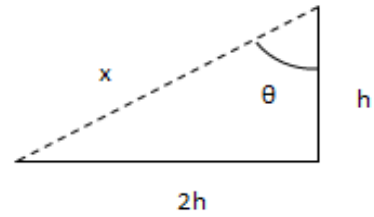
Diketahui data menara transmisi sebagai berikut:



Gambar 6 Ukuran Tower SUTT 70 kV

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

4.2.1 Sudut Lindung



Gambar 7 besar sudut lindung terhadap sambaran kilat

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

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

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

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

$$\sin \theta = 0.894$$

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

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 1 perhitungan tinggi kuncup tower 70 kV

h (m)	2h	x (m)	sin θ	θ ($^\circ$)
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

4.2.2 Pentanahan Arde Tower

Tabel 2 Tahanan Pentanahan di tiang 1 plh – 38

No. Tower	Jenis Tower	Hasil Pengukuran (Ω)					GSW Langs ung **)
		(total)	Arde Kaki Tower (Klem dilepas dari Tower)				
			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	1.78	5.66				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	1.85	-	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

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.

4.3 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*.

- Menentukan Tegangan Pengenal Arrester

- Tegangan maksimum sistem :

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

- 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.

- Menentukan Arus Pelepasan Arrester

- 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 Arrester saja masalah sambaran langsung dan tidak langsung dapat teratasi sehingga tidak akan membahayakan peralatan di Gardu Induk.

- 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.

- Menghitung induktans penghantar

$$L = 2 \left[\ln \frac{2 \times 5}{0,0069} \right] \times 10^{-9}$$

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

- Menghitung kapasintans penghantar

$$C = \frac{10^{-11}}{18 \ln \frac{2 \times 5}{0,0069}}$$

$$= 7,6 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

- Menghitung impedans surja

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

4.4 Analisis Gangguan Petir di SUTT

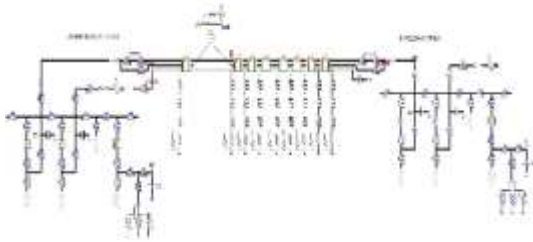
Menganalisa sambaran petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) terhadap gangguan petir dapat dibedakan menjadi

dua yaitu, sambaran langsung dan sambaran tidak langsung.

4.4.1 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 1,2/50 μ s. Pada saluran transmisi ini memiliki panjang 11,425 kilometer.

• Gangguan Petir Di Titik A

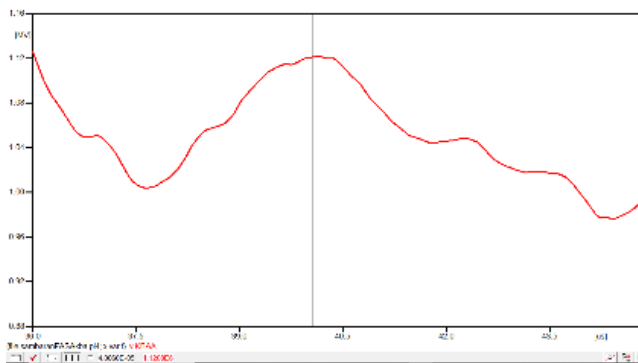


Gambar 8 simulasi surja petir pada kawat fasa di titik terdekat

Tabel 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 9 hasil simulasi gelombang tegangan yang menuju ke GI Kebonagung

Tabel 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

Tabel 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

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 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 7 Kondisi Peralatan Ketika Arrester Kerja

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

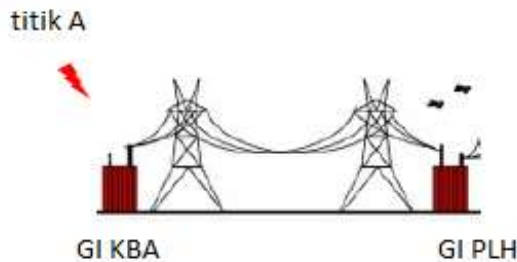
Pada peralatan trafo memiliki *BIL* 325 kV sedangkan tegangan yang sampai ke trafo sebesar 5,059 kV. Karena tegangan yang sampai < *BIL* Trafo yaitu 325 kV > 5,059 kV maka Trafo GI terlindungi.

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.

4.4.2 Sambaran Tidak Langsung

Diasumsikan sambaran surja secara tidak langsung mengenai kawat tower sebesar 200 kV maka Z_t sebesar 143, 616 ohm dan Z_g 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



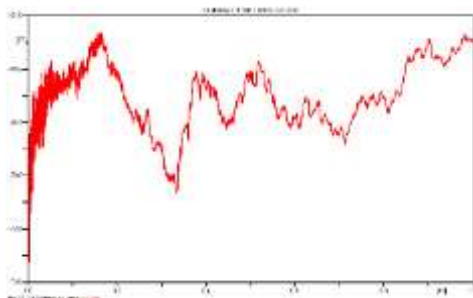
Gambar 10 simulasi surja petir pada kawat fasa di titik terdekat

Tabel 8 Perhitungan Sambaran Tidak Langsung Dekat Sisi

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

Kirim

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 11. 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.

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] F. Kresimir, N. Srete, K. Goran, S.Marinko, K. Zoran, "Simulation of Lightning Transients on 110 kV Overhead-Cable Transmission Line Using ATP-EMTP," IEEE Conference Publications, 26-28 April 2010 MELECON 2010 - 2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Valetta,2010.
- [5] A. Ametani, and T. Kawamura, "A Method of a Lightning Surge Analysis Recommended in Japan Using EMTP," IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 20, No 2, pp. 867-875, April 2005.
- [6] B. V. Bewley, *Travelling Waves on Transmission Systems*, New York: Dover, 1963.
- [7] IEEE Task Force, "Modeling guidelines for fast front transients," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, no. 1, pp. 493-506, Jan. 1996.