

ANALISIS PERBAIKAN SISTEM PENTANAHAN PADA TOWER TRANSMISI 150 KV TERHADAP SAMBARAN PETIR MENGGUNAKAN SIMULASI ALTERNATIVE TRANSIENT PROGRAM (ATP)

Budi Eko Prasetyo¹⁾, Wijaya Kusuma²⁾, Priya Surya Harijanto³⁾, Ahmad Hermawan⁴⁾, Alif fitrah⁵⁾

^{1,2,3,4,5}Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

¹⁾be.prasetyo12@gmail.com

²⁾wijayakusuma.polinema@gmail.com

³⁾priya.surya@polinema.ac.id

⁴⁾ahmad.hermawan@polinema.ac.id

⁵⁾aliffitah24@gmail.com

Abstrak

Sistem transmisi merupakan sistem yang sering terkena gangguan sambaran petir terutama sambaran langsung yang mengenai kawat tanah maupun menara yang berpotensi menyebabkan back flashover (BFO). Sistem pentanahan bertujuan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik dengan cara mengalirkan arus gangguan ke tanah, salah satu faktor untuk mendapatkan nilai pentanahan yang kecil yaitu dengan memodifikasi tahanan pentanahan dengan zat aditif bentonite, arang dan garam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa seberapa besar efek dari zat aditif itu sendiri dalam mereduksi nilai tahanan pentanahan Tower 19 di tanah kapur dan efek sambaran petir ke peralatan Gardu Induk Wlingi. Dengan melakukan eksperimen langsung serta menghitung tegangan berjalan dan melakukan simulasi tegangan lebih dengan software ATP Draw di Tower 19 ke Gardu Induk Wlingi. Dari pengujian pentanahan dengan menggunakan elektroda batang didapatkan penurunan persentase tahanan pentanahan pada perlakuan 1 sebesar 46,098 % dan perlakuan 2 sebesar 54,8% namun nilai resistansi tersebut masih melebihi standar yang ditentukan oleh PLN yaitu sebesar 10 ohm. Pada perhitungan tegangan timbul di sambaran pada menara R=238 ohm akan menyebabkan terjadinya back flashover (BFO) namun dapat diamankan Lightning Arrester. Tegangan timbul pada sambaran di kawat fasa juga dapat dilindungi oleh Lightning Arrester sehingga tegangan yang melalui peralatan setelahnya akan dipotong dibawah nilai BIL Trafo sehingga Trafo IBT dapat dikategorikan aman dari gangguan tegangan lebih transien.

Kata kunci : Zat Aditif, Tahanan Pentanahan, Tanah Kapur, Gelombang Berjalan, Lightning Arrester, Proteksi Transformator.

1. PENDAHULUAN

Petir merupakan fenomena alam yang memiliki kemampuan untuk mengganggu dan bahkan merusak infrastruktur publik seperti sistem transmisi yang sering terkena gangguan sambaran petir terutama sambaran langsung karena posisi menara transmisi yang tinggi akan mengenai kawat tanah maupun menara akan menimbulkan arus yang mengalir pada menara menuju ke dasar menara untuk kemudian diketanahkan. Apabila tegangan yang timbul pada isolator sama atau melebihi garis *Critical Flashover Voltage* (CFO), maka terjadi *back flashover*. [5]

Pada *Tower 19* Sutami-Wlingi mempunyai nilai resistansi pentanahan sebesar 24,1 ohm dengan kondisi tanah kapur. Tanah kapur memiliki karakteristik berbatu dan mudah dialiri oleh air. Untuk itu harus didapatkan nilai pentanahan yang rendah dengan cara memodifikasi komposisi kandungan kimia dari tanah untuk menurunkan resistansi pentanahan dengan menggunakan zat aditif bentonite, arang dan garam karena dengan kondisi daerah berbatu akan sulit untuk memodifikasi panjang dari elektrode pentanahan. Kelebihan dari penggunaan zat aditif adalah dapat menurunkan tahanan jenis tanah jika tanah disekitaran daerah tersebut tidak memiliki kelembaban yang baik sehingga dapat mengikat air

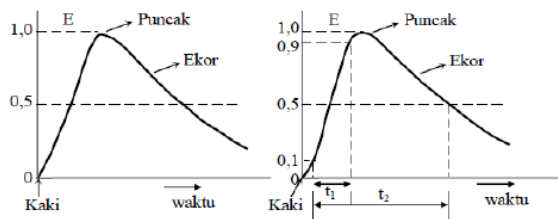
agar nilai resistansi tanah menjadi rendah.

Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian berlandaskan pada seberapa besar efek dari zat aditif itu sendiri dalam mereduksi nilai tahanan pentanahan di tanah kapur, selain itu juga akan membahas sambaran petir terhadap sistem saluran transmisi SUTT 150 kV Sutami-Wlingi dan mensimulasikan tegangan lebih akibat sambaran petir tersebut.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Surja Petir

Petir adalah mekanisme pelepasan muatan listrik di udara yang dapat terjadi didalam awan, antara awan, awan dengan udara, dan antara awan dengan tanah. [4] Dalam sistem penyaluran tenaga listrik tidak menutup kemungkinan terjadi gangguan, salah satunya adalah masalah tegangan lebih transien yang disebabkan oleh sambaran petir baik secara langsung dan tidak langsung. Gelombang surja terjadi pada saluran udara dapat disebabkan oleh: (1) Sambaran kilat secara langsung pada kawat. (2) Sambaran kilat tidak langsung pada kawat (induksi). (3) Operasi pemutusan (*switching operation*). (4) Busur tanah (*arcing grounds*). (5) Gangguan-gangguan pada sistem oleh berbagai-bagai kesalahan.[3]



Gambar 2. 1 Bentuk gelombang berjalan

Jika sambaran mengenai kawat fasa pada suatu titik maka akan timbul gelombang berjalan kedua arah yang berlawanan pada saluran. Dapat diuraikan dengan persamaan sebagai berikut: [6]

$$V = \frac{Z_c \cdot I}{2} \quad (2-1)$$

Tegangan lebih yang timbul pada menara akibat terkena sambaran petir akan dibaca oleh isolator sebagai berikut.

$$V_m = I \cdot R + L \cdot di/dt \quad (2-2)$$

Untuk menghitung nilai induktansi pada menara dibutuhkan perhitungan impedansi menara yang dapat dihitung sebagai berikut:

a. Impedansi surja kawat tanah

$$Z'_g = \frac{2Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t} \quad (2-3)$$

b. Impedansi pentanahan dasar menara

$$R'_0 = \frac{R \cdot Z_t}{R - Z_t} \quad (2-4)$$

c. Impedansi gelombang menara

$$Z_w = \left\{ \frac{2Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t} \right\} \left\{ \frac{Z_t - R}{R + Z_t} \right\} \quad (2-5)$$

d. Faktor *damping* menara

$$a = \left\{ \frac{2Z_t - Z_g}{Z_t + 2Z_g} \right\} \left\{ \frac{Z_t - R}{R + Z_t} \right\} \quad (2-6)$$

e. Induktansi menara

$$L = \left\{ \frac{Z'_g + 2R'_0}{Z'_g} \right\} \left\{ \frac{2Z_w \times t'}{(1-a)^2} \right\} \quad (2-7)$$

2.2. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan suatu hantaran yang berfungsi menyalurkan arus lebih kedalam bumi dan memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik. [1] Pada jaringan sistem pentanahan akan melewati arester terlebih dahulu untuk memutuskan aliran arus listrik. Untuk mencari nilai tahanan pentanahan dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L R} \left[\ln \left(\frac{2L R}{A R} \right) - 1 \right] \quad (2-8)$$

Untuk parallel 4 batang diletakan membentuk segi empat :

$$A = \sqrt[4]{2 \frac{1}{2} a^3 r} \quad (2-9)$$

2.3. Zat Aditif

Pada penelitian ini, zat aditif yang digunakan untuk mereduksi tahanan pentanahan di tanah kapur adalah sebagai berikut :

1. Bentonite

Bentonite merupakan jenis tanah liat yang memiliki kandungan montmorillonite bersifat menyerap air dan menahan air pada strukturnya.[2]

2. Arang

Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuhan untuk menurunkan tahanan grounding dan memelihara tahanan grounding rendah secara permanen.[2]

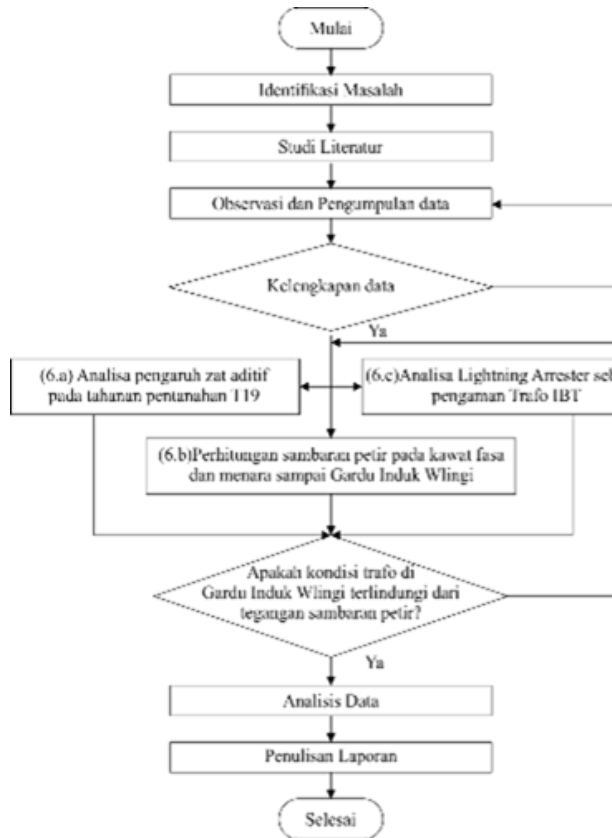
3. Garam

Garam adalah senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion), sehingga membentuk senyawa netral (tanpa bermuatan).

Semakin banyak jumlah garam yang terlarut maka konduktivitasnya semakin besar.

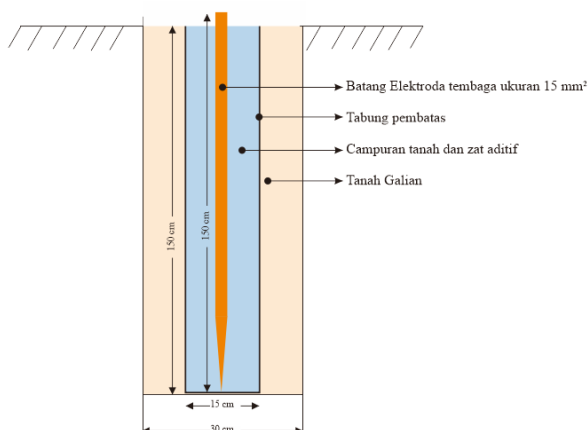
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Desain Alat Penunjang Penelitian



Gambar 3. 2 Rancangan Alat Penunjang Penelitian

3.3. Indikator penelitian

1. Kondisi Tanah

Penelitian ini mengambil sampel tanah kapur sebagai objek penelitian dengan pengukuran dilakukan di Area *Tower* 19 Sutami- Wlingi, Kedungwungu, Blitar, Jawa Timur.

2. Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengukuran terbuat dari tembaga dengan diameter 15 mm dengan panjang nominal 1,5 m yang dipasang vertikal atau ditanam di tanah kapur.

3. Peralatan Pengukuran

Pengukuran tahanan pentanahan menggunakan *Earth Grounding Tester* Kyoritsu 4105A dengan metode pengukuran 3 titik.

4. Standar nilai tahanan pentanahan

Nilai resistansi pentanahan untuk *tower* 150 kV maksimal adalah 10Ω .

5. Komposisi zat aditif

a. Perlakuan 1, Penambahan bentonite 3 kg didalam tabung, arang 3 kg diluar tabung, garam 3 kg disekitaran tanah kapur.

b. Perlakuan 2, Penambahan arang 3 kg didalam tabung, bentonite 3 kg diluar tabung, garam 3 kg disekitaran tanah kapur.

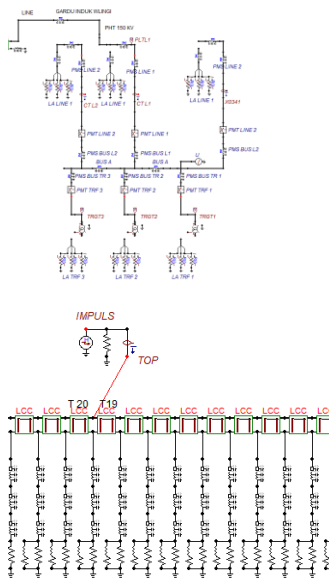
3.4. Data *Tower* 19 Sutami-Wlingi

Tabel 3.1. Data Pentanahan *Tower* 19

No. <i>Tower</i>	Hasil Pengukuran (Ω)						
	Arde (Paralel)	ARDE KAKI <i>TOWER</i>				<i>Tower</i>	Gsw Langsung
		A	B	C	D		
19	24,1	24	24,5	24,1	24,1	24,1	24,1

Tabel 3.1. Spesifikasi *Tower* 19 Sutami-Wlingi

Speifikasi	Keterangan
Tahun pembuatan	1975
Tipe <i>tower</i>	<i>Tower</i> Suspension-Tension
Lebar <i>tower</i>	28 m
Tinggi <i>tower</i>	4,6 m
Jarak antar lengan menara	3,8 m
Jarak lengan kawat fasa dan kawat tanah	2 m
Jumlah isolator	10 keping/string Keramik
Penghantar	ACSR 160 mm ²
GSW	55 mm ²



Gambar 3. 3 Pemodelan GI Wlingi dan Transmisi dalam ATP

4. HASIL PENELITIAN

4.1. Pengukuran Resistansi Pentanahan dengan Penambahan Zat Aditif

Pengukuran dilakukan dengan cara menanam batang elektroda secara langsung ke dalam tanah. Dari pengujian pentanahan dengan menggunakan elektroda batang didapatkan penurunan persentase tahanan pentanahan pada perlakuan 1 sebesar 46,098 % dan perlakuan 2 sebesar 54,8% namun nilai resistansi tersebut masih melebihi standar yang ditentukan PLN yaitu sebesar 10 ohm. Adapun hasil pengukuran tahanan pentanahan dengan 3 Percobaan diantaranya 2 kali perlakuan dan 1 kali tanpa perlakuan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran dan Porsentase Penurunan Resistansi Pentanahan dengan Zat Aditif

Perlakuan	Resisitansi (Ω) hari ke-		Porsentase Penurunan Resistansi (%)	
	1	2	Hari 1 dan 2	Perlakuan dan tanpa perlakuan
Tanpa perlakuan	551	535	2,90381	-
Perlakuan 1	325	297	8,61538	46,09
Perlakuan 2	246	238	3,25203	56,80

Pada tabel diatas , dapat dilihat dibagian hari 1 dan 2 merupakan perhitungan penurunan antara resistansi pada hari 1 dan 2 dikarenakan pada saat hari kedua terjadi hujan, maka penulis mengukur lagi untuk melihat perbedaan ketika terjadi hujan pada tanah kapur.

4.2. Rekomendasi perbaikan pentanahan pada Tower 19 Sutami-Wlingi

Agar mengurangi kemungkinan terjadinya pemadaman dan kerusakan peralatan transmisi akibat BFO, maka dilakukan dengan cara menurunkan nilai pentanahan yang kondisi ketahanannya dalam waktu jangka panjang.

Dengan mengambil percobaan penyusunan komposisi bahan zat aditif menggunakan Metode Trial and Error dan mengambil hasil perlakuan nilai terendah yaitu perlakuan 2 sebesar 238 ohm maka :

$$\rho = \frac{238 \times 2 \times 3,14 \times 1,5}{\left[\ln \left(\frac{2 \times 1,5}{0,0075} \right) - 1 \right]}$$

$$\rho = 374,34 \Omega\text{-m}$$

Maka nilai tahanan pentanahan yang dibutuhkan agar mencapai nilai 10 ohm adalah

$$\rho_2 = \frac{10 \times 2 \times 3,14 \times 1,5}{\left[\ln \left(\frac{2 \times 1,5}{0,0075} \right) - 1 \right]}$$

$$\rho_2 = 15, \quad \blacklozenge \text{ Arus Kritis} \quad \blacksquare \text{ Prob. 80\%} \quad \blacktriangle \text{ Prob. 50\%}$$

Berdasarkan nilai diatas, didapatkan selish nilai resistansi tahanan pentanahan sebesar :

$$\% \text{ Selisih} = \frac{374,34 - 15,72}{374,34} \times 100\%$$

$$\% \text{ Selisih} = 95,79\%$$

Maka dengan selisih sebesar 95,79 % dapat diterapkan pada komposisi zat aditif dengan mengalikan faktor selisih dengan jumlah komposisi awal zat aditif yang diuraikan di tabel dibawah ini

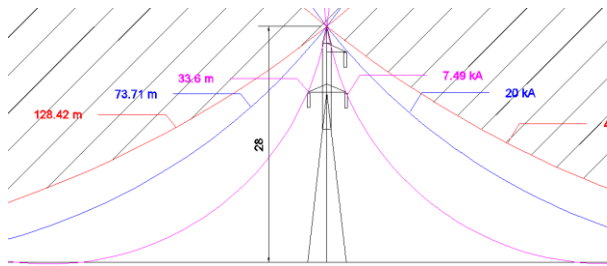
Tabel 4. 2 Komposisi Zat Aditif untuk R=10 ohm

Zat aditif	Komposisi awal (kg)	Komposisi yang dibutuhkan (kg)
Bentoni te	3	287,395
Garam	3	287,395
Arang	3	287,395

Maka untuk mendapatkan nilai tahanan 10 ohm dapat menggunakan komposisi sebesar 287,395 kg untuk setiap bahan zat aditif yang ditaburi disekitar batang elektroda.

4.3. Penentuan Daerah Lindung Menara dengan Metode Elektrometri

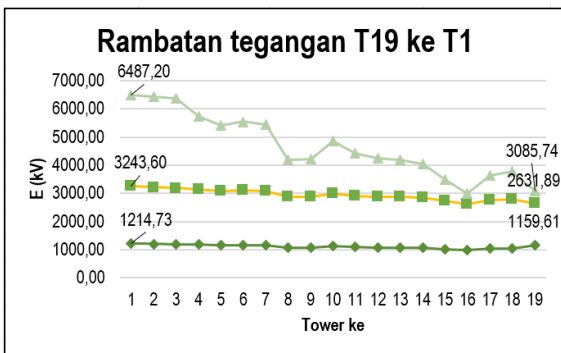
Daerah yang didalam garis referensi merupakan daerah yang terlindungi oleh sambaran petir secara langsung. Dapat dilihat dalam gambar dibawah jika arus sambar semakin kecil maka daerah lindung dan jarak sambarnya akan semakin kecil.



Gambar 4. 1 Arus *Shielding Failure* dan Daerah Lindung Menara

4.4. Perhitungan Sambaran Petir Pada Kawat Fasa

Tegangan sambaran *shielding failure* dengan parameter arus kritis dengan variasi arus kritis (7,49 kA), probabilitas 50% (40 kA), probabilitas 80% (20 kA) ke kawat fasa adalah:

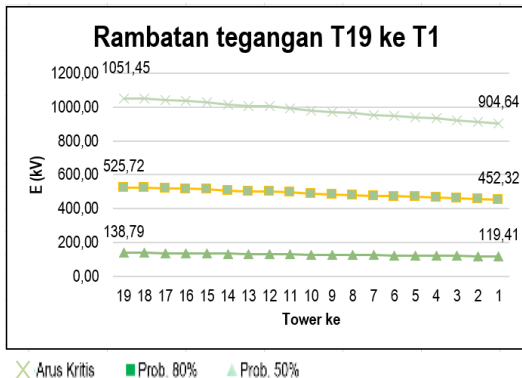


Gambar 4. 2 Rambatan Tegangan pada Kawat Fasa

Dari semua parameter arus kritis didapatkan tegangan rambatan melebihi nilai BIL *Lightning Arrester* 750 kV sehingga tegangan akan diteruskan ke peralatan selanjutnya.

4.5. Perhitungan Sambaran Petir Pada Menara Sebelum Penambahan Zat Aditif (R=24 ohm)

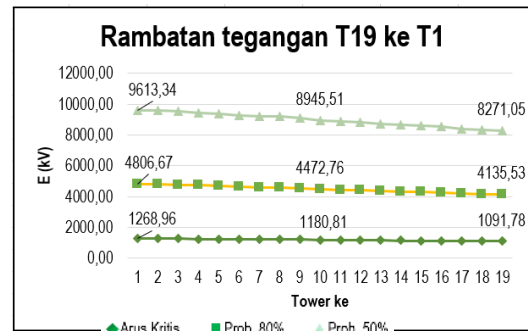
Tegangan pada *tower* di menara transmisi ke-19 menurut parameter arus 5,28 kA, 20 kA, dan 40 kA dengan *tower* yang terdekat dengan gardu induk wlingi adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Rambatan Tegangan pada Menara R= 24 ohm

Pada probabilitas 50% sebesar 40 kA nilai nya melebihi dari BIL isolator 8 keping sebesar 780 kV yaitu 1051 kV sehingga menyebabkan *Back flashover* (BFO).

4.6. Perhitungan Sambaran Pada Menara Setelah Penambahan Zat Aditif (R= 238 Ohm)



Gambar 4. 4 Rambatan Tegangan pada Menara R= 238 ohm

Dari semua parameter arus kritis didapatkan tegangan rambatan akan menyebabkan *Back flashover* (BFO).

4.7. Hubungan antara Tingkat Kecuraman Muka Gelombang Terhadap Tegangan pada Jepitan Transformator

Tegangan pada Jepitan Transformator (E_p) merupakan tegangan maksimal yang akan diterima transformator, apabila transformator menerima tegangan melebihi tegangan pada Jepitan Transformator (E_p), maka transformator tersebut akan memutus aliran listriknya terhadap sistem, dan apabila transformator tersebut menerima tegangan melebihi BIL nya (750 kV) maka transformator tersebut akan mengalami panas berlebih dan bahkan terbakar.

Tabel 4. 3Tingkat Kecuraman Muka Gelombang Terhadap Tegangan pada Jepitan Transformator

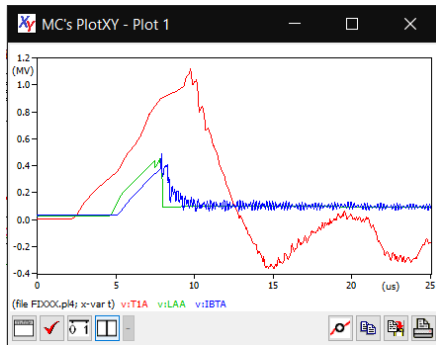
No	Gelombang Surja (kV/ μ s)	Tegangan Jepitan Trafo (kV)	BIL Trafo 750 (kV), maka
1	1000	480	Terlindungi
2	2000	500	Terlindungi
3	5000	560	Terlindungi
5	10000	660	Terlindungi
6	13000	720	Terlindungi
7	14500	750	Terlindungi
8	15000	760	Tidak Terlindungi
9	20000	860	Tidak Terlindungi

Tabel 4. 4 Rekap Perhitungan Tegangan Sampai di Arrester Berdasar Jarak Sambaran

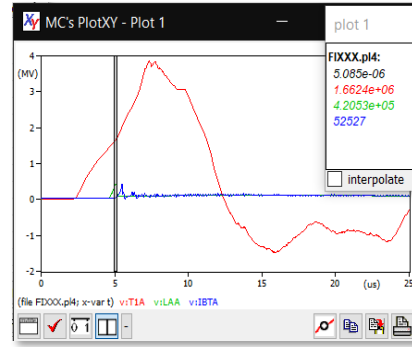
Parameter sambaran	Jarak km	Tegangan yang sampai di arrester E (kV)	Waktu rambat gelombang t (µs)	BIL LA 750 kV, maka	Kondisi Arrester (Teg pelepasan 460 kV)
Tower 1 Ke LA Switchyard (GI Wlingi)	0,0371	888,941	0,124	Tidak Terlindungi	Bekerja
Tower 60- Tower 64 (GI Sutami)	1,37	616,685	4,567	Terlindungi	Bekerja
Tower 5- Tower 1 (GI Wlingi)	1,48	601,482	4,933	Terlindungi	Bekerja
Tower 19- Tower 1 (GI Wlingi)	6,77	275,208	22,567	Terlindungi	Tidak bekerja
Tower 19- Tower 64 (GI Sutami)	16,89	135,056	56,300	Terlindungi	Tidak bekerja

4.8. Hasil Simulasi Sambaran Petir

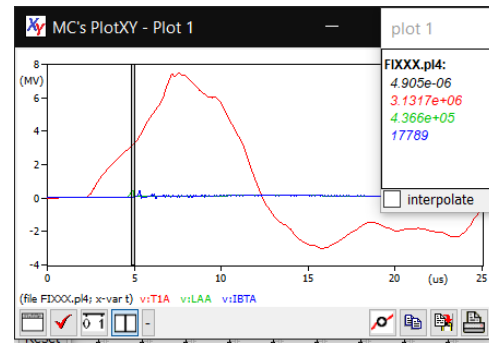
4.8.1. Simulasi Sambaran Kawat Fasa



Gambar 4. 5 Tegangan Timbul Tower 1, Lightning Arrester, Trafo IBT ketika Arus Kritis Ic (7,49 kA)



Gambar 4. 6 Tegangan Timbul Tower 1, Lightning Arrester, Trafo IBT ketika probabilitas I_{80%} (20 kA)



Gambar 4. 7 Tegangan Timbul Tower 1, Lightning Arrester, Trafo IBT ketika probabilitas I_{50%} (40 kA)

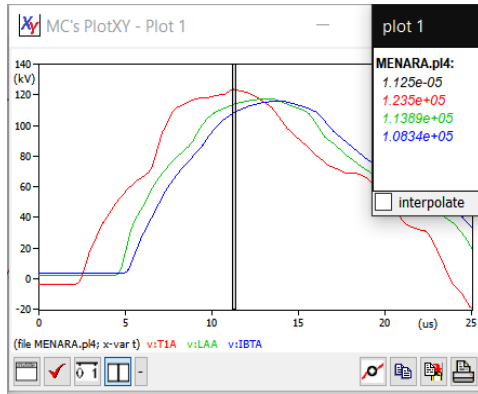
Tabel 4. 5 Rekap Data Simulasi dan Perhitungan Sambaran Kawat Fasa

Parameter Arus Kritis	Tegangan Menara T1		Selisih (%)
	Perhitungan (kV)	Hasil Simulasi (kV)	
Arus kritis	1159,61	1175	-1,327
Probabilitas 80%	2631,89	2590	1,591
Probabilitas 50%	3085,738	3029	1,838

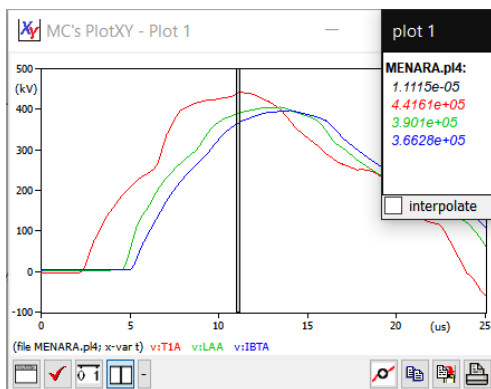
Tabel 4. 6 Rekap Tegangan Potong pada LA dan Trafo IBT di Kawat Fasa

Parameter	Tegangan Simulasi (kV)		
	Menara T1	Lightning Arrester	Trafo IBT
Arus kritis	1175	460	381
Probabilitas 80%	2590	421	268
Probabilitas 50%	3029	463	351

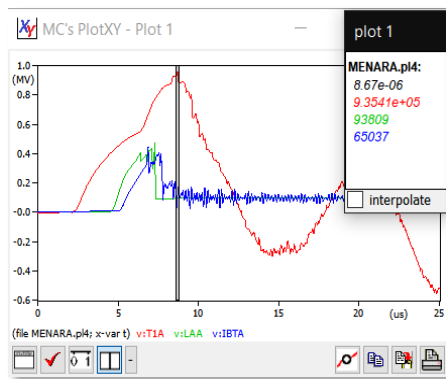
4.8.2. Simulasi Sambaran pada Menara (R=24ohm)



Gambar 4. 8 Tegangan Timbul Tower 1, *Lightning Arrester*,Trafo IBT ketika Arus Kritis Ic (7,49 kA)



Gambar 4. 9 Tegangan Timbul Tower 1, *Lightning Arrester*,Trafo IBT ketika probabilitas $I_{50\%}$ (20 kA)



Gambar 4. 10 Tegangan Timbul Tower 1, *Lightning Arrester*,Trafo IBT ketika probabilitas $I_{50\%}$ (40 kA)

Tabel 4. 7 Rekap Data Simulasi dan Perhitungan Sambaran Menara R=24 Ohm

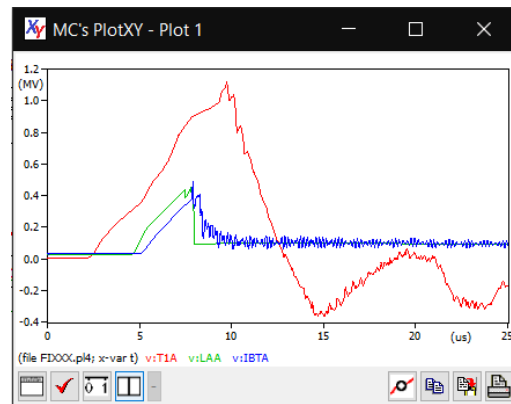
Parameter	Tegangan Menara T1		Selisih (%)
	Perhitungan (kV)	Hasil Simulasi (kV)	
Arus kritis	119,41	123	-3,00
Probabilitas 80%	452,31	438	3,16

Probabilitas 50%	904,63	908	-0,371
------------------	--------	-----	--------

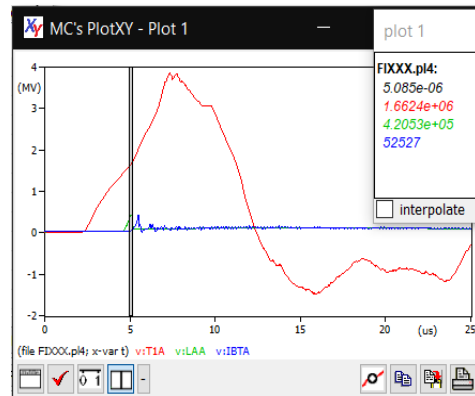
Tabel 4. 8 Rekap Tegangan Potong pada LA dan Trafo IBT di Menara

Parameter	Tegangan Simulasi (kV)		
	Menara T1	<i>Lightning Arrester</i>	Trafo IBT
Arus kritis	123	117	116
Probabilitas 80%	438	409	397
Probabilitas 50%	908	425	429

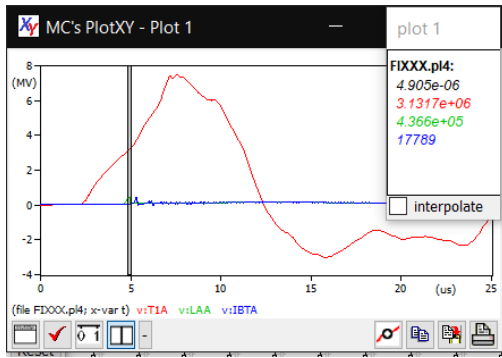
4.8.3. Simulasi Sambaran pada Menara (R=238 ohm)



Gambar 4. 11 Tegangan Timbul Tower 1, *Lightning Arrester*,Trafo IBT ketika Arus Kritis Ic (7,49 kA)



Gambar 4. 12 Tegangan Timbul Tower 1, *Lightning Arrester*,Trafo IBT ketika probabilitas $I_{50\%}$ (20 kA)



Gambar 4. 13 Tegangan Timbul Tower 1, Lightning Arrester, Trafo IBT ketika probabilitas I_{50%} (40 kA)

Tabel 4. 9 Rekap Data Simulasi dan Perhitungan Menara R=238 ohm

Parameter	Tegangan Menara T1		Selisih (%)
	Perhitungan (kV)	Hasil Simulasi (kV)	
Arus kritis	119,41	123	-3,00
Probabilitas 80%	452,3178071	438	3,165
Probabilitas 50%	904,6356142	908	-0,371

Tabel 4. 10 Rekap Tegangan Potong pada LA dan Trafo IBT di Menara

Parameter	Tegangan Simulasi (kV)		
	Menara T1	Lightning Arrester	Trafo IBT
Arus kritis	1114	405	403
Probabilitas 80%	4130	496	432
Probabilitas 50%	8167	470	223

5. KESIMPULAN

1. Pada percobaan penambahan zat aditif. Nilai resistansi pentanahan tanpa perlakuan sebesar 551 ohm, dengan penurunan resistansi 46,098 % untuk perlakuan 1 ($R_g = 238$ ohm), sedangkan untuk perlakuan 2 didapatkan 56,8% ($R_g = 297$ ohm). Namun hasil pengukuran melebihi standar pentanahan 10 ohm. Untuk mencapai standar pentanahan dicapai dengan metode 4 titik dan counterpoise.
2. Pada sambaran pada kawat fasa. Untuk semua parameter arus kritis nilai tegangan timbul di Tower 1 dan LA lebih dari 750 kV Sehingga pada Lightning Arrester tidak mampu melindungi karena melebihi nilai BIL yaitu 750 kV.
3. Pada sambaran pada menara ($R_g = 24$ Ohm). Untuk parameter probabilitas 50% dengan arus 40 kA Tower 1 dan LA didapatkan lebih dari 750 kV Sehingga terjadi BFO. Namun jika nilai $R_g = 238$ Ohm, maka untuk ketiga parameter arus puncak

terjadi back flashover.

4. Pada sambaran pada kawat fasa. Untuk semua parameter arus kritis maka tegangan akan dipotong sehingga Trafo IBT aman dari gangguan.
5. Pada sambaran pada menara ($R_g = 24$ Ohm) dan $R_g = 238$ Ohm. Tegangan akan dipotong sehingga Trafo IBT terlindungi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hutahuruk, T.S. (1987). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Asih, N., (2019). *ANALISIS PENGGUNAAN GYPSUM, BENTONITE DAN ARANG SEBAGAI ZAT ADITIF UNTUK SOIL TREATMENT DALAM SISTEM PENTANAHAN*. Semarang: UNNES.
- [3] Firmansyah, H, Muhammad., Aini. Jihan., (2019), *Proteksi Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Kebonagung Dengan Gardu Induk Turen*. Malang: Polinema
- [4] Hajar, Ibnu., Rahman, Eko., (2017). *KAJIAN PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA SISI HV TRANSFORMATOR DAYA UNIT SATU GARDU INDUK TELUK BETUNG*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik PLN Jakarta.
- [5] Setiawan, Deva. (2014). *Analisa dan Evaluasi Koordinasi Isolasi dan Tegangan Lebih Transient Akibat Sambaran Petir Pada Gardu Induk 150 kV*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [6] P. S. Harijanto and R. Zoro, "Analysis of lightning strike to overhead EHV 500 KV transmission system Jawa-Bali Crossing," 2016 3rd Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE), 2016, pp. 275-280, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904880.
- [7] B.E. Prasetyo, W. Kusuma, R.A. Ananto, P.S. Harijanto, I.A. Wicaksono, "Analisa Gangguan Petir Pada Jaringan Distribusi 20 kV Gunungjati Kab. Malang," 2021 Seminar Terapan Nasional Teknologi Elektro Terapan (SNTET), 2021.