

# Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Tower 70 kV pada Transmisi Wlingi - Blitar

Budi Eko Prasetyo<sup>\*a)</sup>, Ahmad Hermawan<sup>a)</sup>, Safira Azizah<sup>a)</sup>

(Artikel diterima: Agustus 2022, direvisi: November 2022)

**Abstract:** 70 KV High Voltage Air Line (in Indonesian known as SUTT) is defined as part of an electric power transmission network that is likely to be struck by lightning. This condition may lead to back flashover (BFO) phenomenon if the grounding value in the transmission is found to be high (>5 Ohms) and may also generate equipment failure. This research was intended to analyze the grounding improvement in tower T17, so that traveling-wave voltages may not result in failure of the main equipment at the substation, specifically the transformer. The value of the traveling wave at the substation was measured through simulation by means of the ATP Draw application in tower T17 to the substation. The grounding value may be reduced by increasing and widening the distance between the electrodes. The value obtained by modeling 4 electrodes with a distance of 0.5 meter was amounted to 1.73 Ohms. Furthermore, modeling 3 electrodes with a distance of 1 meter had successfully generated a value of 1.06 Ohm, and a value of 1.67 Ohm was also successfully obtained through modeling 2 electrodes with a distance of 2 meters. The ground resistance with a value of 67.05 Ohms that has not been repaired will lead to back flashover (BFO) caused by lightning strikes. However, this may be reduced properly with a lightning arrester which is capable of cutting the overvoltage at the substation, so that the voltage entering the transformer is below the BIL (Basic Insulation Level) value.

**Keywords:** Ground Resistance, ATP Draw, Electrode, Lightning Arrester, Traveling Wave, BIL (Basic Insulation Level), Transformer.

## 1. Pendahuluan

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 KV adalah bagian dari jaringan transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi dari gardu induk ke gardu induk yang lainnya. Seringkali perencanaan dan pembangunan yang di lakukan oleh pemerintah tidak sesuai dengan standar-standar yang berlaku, salah satu contohnya yaitu pembangunan gardu induk yang tidak sesuai dengan konsep koordinasi isolasi.

Dalam menyalurkan tenaga listrik tidak menutup kemungkinan akan terjadi gangguan, salah satu gangguan yang tidak dapat diprediksi yaitu gangguan sambaran petir, baik secara langsung maupun tidak langsung. Bila terjadi tegangan lebih akibat petir, besarnya nilai tahanan pentanahan tower SUTT 70 KV harus sesuai dengan ketentuan yang diperbolehkan yaitu tidak boleh lebih atau sama dengan 5 Ohm sesuai dengan standar Keputusan Direksi PT PLN (Persero) PDM/STT/10:2014. Untuk itu dibutuhkan suatu sistem pentanahan dan berkelanjutan pada tower SUTT.

Gardu Induk Wlingi - Blitar memiliki 39 tower yang mensuplai wilayah di sekitar Kabupaten Blitar. Tower T17 memiliki tahanan pentanahan yang tidak sesuai standar yaitu lebih dari 5 Ohm sehingga dapat merusak peralatan isolasi pada saat terjadi sambaran petir dan harus segera diperbaiki. Sambaran petir pada menara transmisi tegangan tinggi menyebabkan tegangan induksi pada saluran dan dapat menimbulkan kegagalan isolasi jika amplitude tegangannya melebihi Basic Insulation Level (BIL) isolasi peralatan serta komponen tenaga listrik yang digunakan. Maka dari itu, penelitian ini akan diteliti analisa perbaikan sistem pentanahan tower T17 70 kV pada Transmisi Wlingi-Blitar supaya dapat diketahui upaya perbaikan tahanan pentanahan tower T17 70 KV agar sesuai dengan standar yang ditetapkan, nilai tegangan induksi yang timbul jika terjadi sambaran petir langsung pada menara T17

pada transmisi Wlingi – Blitar saat sesudah dan sebelum perbaikan nilai tahanan pentanahannya serta nilai tegangan yang melewati lightning arrester di simulasi ATPDraw akibat sambaran langsung pada kawat fasa dan kawat tanah saluran transmisi 70 kV Wlingi - Blitar terhadap lightning arrester sebagai pengaman transformator di gardu induk.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Petir

Petir merupakan proses alam yang terjadi di atmosfer pada waktu hujan (*thunder storm*). Muatan akan terkonsentrasi di dalam awan atau bagian dari awan dan muatan yang berlawanan akan timbul pada permukaan tanah di bawahnya.

Jika muatan bertambah, beda potensial antara awan dan tanah akan naik, maka kuat medan di udara pun akan naik. Jika kuat medan ini melebihi kuat medan diantara awan awan tersebut maka akan terjadi pelepasan muatan. Pada awan yang mempunyai ketinggian 1-2 km di atas tanah dapat menghasilkan tegangan 100 MV.

### 2.2 Tegangan Lebih oleh Surja Petir

#### 2.2.1 Sambaran Langsung pada Kawat

Arus kritis sambaran balik dapat didekati dengan :

$$I_c = 2.2 \cdot BIL / Z_c \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana BIL merupakan Basic Insulation Level (kV)

Sambaran petir pada menara dan kawat tanah pada saluran transmisi 70 kV dapat menyebabkan terjadinya *shielding failure*. Tegangan yang terjadi pada suatu titik di saluran tersebut dan dibaca oleh isolator adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{Z_c \cdot I}{2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

\* Korespondensi: [be.prasetyo12@gmail.com](mailto:be.prasetyo12@gmail.com)

a) Jurusan Teknik Elektro, Polinema.

Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

$Z_c$  = impedansi surja hantaran udara (ohm)

Tegangan tersebut akan berkurang karena faktor redaman saat merambat ke gardu induk, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E(x,t) = V \times e^{-a(t-\frac{x}{v})} \text{ (kV)} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

- V = tegangan yang timbul pada tower
- $a = \frac{1}{T} = \frac{1}{ZC}$
- t = waktu perambatan gelombang ( $\mu$ s)
- x = jarak perambatan gelombang (m)
- v = kecepatan rambat gelombang = 300 m/ $\mu$ s

### 2.2.2 Sambaran pada Menara

Sambaran langsung pada menara akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya *Back Flash Over* (tegangan tembus balik)

### 2.2.3 Sambaran pada Menara dengan Kawat Tanah

Sambaran petir pada transmisi dengan 1 kawat tali, maka arus akan terbagi 3 sesuai dengan impedansi surja kawat tanah dan menara. Jika saluran transmisi menggunakan 2 kawat tanah maka arus akan terbagi 5 dan seterusnya. Arus puncak yang melalui menara akan semakin kecil amplitudonya, tetapi kecuraman gelombang arus petir ( $\frac{di}{dt}$ ) akan tetap sama, sehingga tegangan

yang timbul pada menara ( $U = L \cdot \frac{di}{dt}$ ) akan tetap sama. (Zoro, 2018)

## 2.3 Penggunaan Kawat Tanah

Tegangan lebih yang merusak isolator pada saluran udara tegangan menengah sebagian besar disebabkan oleh insuksi dari sambaran petir dekat (*nearby strike*). Jika menggunakan kawat tanah maka induksi dari sambaran petir itu akan diterima oleh kawat fasa dan juga kawat tanah, sehingga kawat tanah yang lebih dari satu akan mengurangi induksi lebih baik lagi. Untuk daerah-daerah yang kerapatan pertirnya tinggi disertai tingkat gangguan tinggi dapat menggunakan kawat tanah lebih dari satu

## 2.4 Pentanahan/ Grounding pada Transmisi

Sistem pentanahan adalah suatu tindakan pengamanan dalam jaringan distribusi yang langsung rangkaianannya ditanahkan dengan cara mentanahkan badan peralatan instalasi yang diamankan, sehingga bila terjadi kegagalan isolasi, terhambatlah atau bertahannya tegangan sistem karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman tersebut.

### 2.4.1 Jenis Elektroda Pentanahan

Jenis-jenis elektroda pbumian menurut PUIL (2000), diantaranya elektroda batang, elektroda pelat dan elektroda pita. Elektroda batang yaitu elektroda dari batang logam tembaga Cu (Copper Rod / Ground Rod) berdiameter minimum 5/8", atau batang logam baja profil / pipa galvanis berdiameter 1,5" yang dipancangkan secara vertikal atau horizonral dalam tanah sedalam 3 meter. (Mardi, 2013). Elektroda pelat biasanya berdimensi empat persegi panjang dengan ketebalan yang bervariasi dan terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam di dalam tanah.

Elektroda pita terbuat dari penghantar berbentuk pita atau bulat. Pemasangannya dipasang secara horizontal pada kedalaman antara 0,5 m – 1m dari permukaan tanah

### 2.4.2 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$  dalam persamaan tahanan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Di mana:

- R = tahanan pbumian elektroda batang (Ohm)
- $\rho$  = resistansi jenis tanah (Ohm)
- L = panjang elektroda batang yang ditanam (m)
- a = jari-jari batang elektroda (m)

(Sumber: Mardiana, 2013 hal 16)

## 2.5 Gangguan Petir pada Saluran Transmisi

### 2.5.1 Back Flashover (BFO)

*Back Flashover* (BFO) terjadi akibat petir menyambar Kawat Tanah (KT) atau Ground Shield Wire pada tegangan atau seperempat gawang atau petir menyambar langsung pada menara. Kedua sambaran ini akan menyebabkan arus petir mengalir dalam bentuk gelombang berjalan menuju kaki menara dan masuk ke sistem pbumian, dipantulkan balik ke menara dan terjadi lewat denyar atau *flashover* pada isolator yang dapat mengganggu penyaluran daya listrik akibat pecahnya isolator di menara.

### 2.5.2 Shielding Failures (SF)

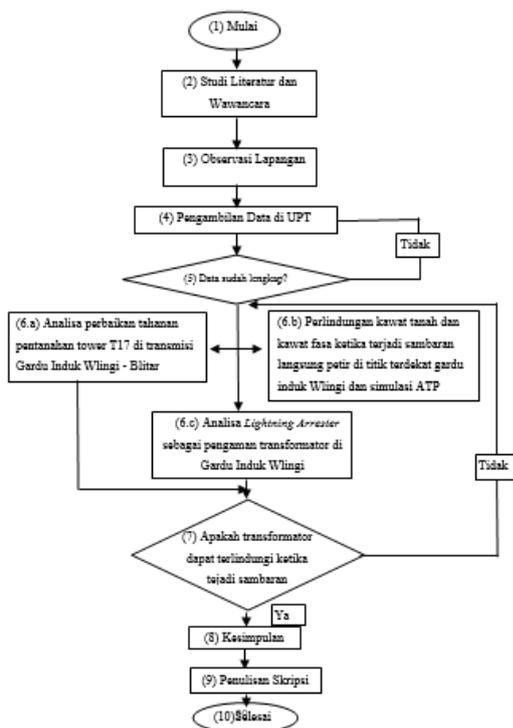
Shielding Failures (SF) yakni sambaran petir langsung mengenai kawat fasa (umumnya petir kecil dari arah samping transmisi). Arus impuls petir bersama dengan tegangan impuls petir akan mengalir ke kedua arah pada kawat fasa, tegangan impuls petir akan mengalir ke kedua arah pada kawat fasa, tegangan impuls (U) timbul akibat adanya surge impedance (Z) atau impedansi surja pada hantaran ( $U = Z \cdot I/2$ ). Arus dan tegangan impuls ini akan bergerak sebagai gelombang berjalan (*travelling wave*) dan sampai di isolator di menara terdekat. Jika gelombang impuls ini lebih besar dari kuat tembus impuls dari isolator (BIL isolator), maka terjadi lewat denyar atau Shielding Failures (SF) yang dapat menyebabkan gangguan penyaluran daya listrik

## 3. Metode Penelitian

Pengambilan data untuk penelitian ini bertempat di Gardu Induk Wlingi dan tower T17 Transmisi Wlingi-Blitar di Desa Sawentar, Kec. Kaniogoro, Kabupaten Blitar. Diagram alir proses penyel

esaian penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.1

Gambar 3.1 Proses Penyelesaian Penelitian



#### 4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

##### 4.1 Perbaikan Pentanahan Tower T-17

Berikut adalah data tower dan nilai pentanahan yang terbentur di transmisi Gardu Induk Wlingi – Blitar.

Tabel 4.1 Nilai Pentanahan Tower di Transmisi Gardu Induk Wlingi-Blitar

NO. TOWER	TIPE TOWER	NILAI ARDE TERBESAR SEBELUMNYA	HASIL PENGUKURAN (Ω)							
			ARDE & TOWER (PARALEL)	ARDE KAKI TOWER				TOWER	GSW LANGSUNG	
			A	B	C	D				
1	Tension	0.00	4.81	4.5	5.8	10	5.6	4.81		
3	Suspension	0.00	4.88	5.64	5.52	5.61	14.3	4.88	22.20	
4	Tension	0.00	3	16.5	4.77	3.5	3.75	3		
5	Suspension	0.00	5.34	8.06	5.87	5.92	6.06	5.14	5.87	
6	Suspension	0.00	4.84	4.84	11.0	10.4	10.8	4.84	11.01	
7	Suspension	0.00	2.49	3.2	3.17	3.19	3.19	2.49		
8	Suspension	0.00	3.15	3.31	3.44	5.02	3.08	3.15	3.11	
9	Tension	0.00	4.34	3.96	3.15	3.18	3.08	4.34		
10	Suspension	0.00	4.69	10.3	7.1	9.59	7.12	4.69	4.34	
11	Suspension	0.00	4.98	8.22	8	7.97	8.38	4.98		
12	Suspension	0.00	5.44	10.7	41.8	42.6	8.44	5.44		
13	Tension	0.00	8.69	9	12.0	10.4	11.0	8.69	8.91	
14	Suspension	0.00	28	32.3	28.7	28.8	34.8	28		
15	Suspension	0.00	32.3	28	34.8	30	34	32.3	31.5	
16	Suspension	0.00	16.22	19.3	19.3	19.8	18.3	16.22	14.6	
17	Suspension	0.00	67.05	67.05	67.05	67.05	67.05	67.05	68	
18	Tension	0.00	59.8	68.7	5	5	71.4	59.8	25	
19	Suspension	0.00	14.25	16.8	22.8	16.9	16.3	14.25	15.6	
20	Suspension	0.00	5	5.76	8.07	6.08	5.53	5	4.37	
21	Suspension	0.00	2.96	3.77	3.72	3.68	3.65	2.96		
22	Suspension	0.00	2.17	7.22	5.79	6.55	5.76	2.17		
23	Suspension	0.00	2.49	3.14	6.85	3.61	4.88	2.49	5.25	
24	Suspension	0.00	2.91	4.34	4.42	4.73	8.59	2.91		
25	Suspension	0.00	3.3	10.4	10.3	10.5	6	10.7	3.3	5.1
26	Suspension	0.00	3	4.0	8.9	4.2	4.0	3	3	
27	Suspension	0.00	2.09	2.4	2.6	2.4	2.4	2.09	2.46	
28	Suspension	0.00	2.19	3	2.6	2.4	2.6	2.19		
29	Tension	0.00	1.8	3.1	3.6	2.9	3.0	1.8	2	
30	Suspension	0.00	2.56	3.5	3.6	2.9	2.9	2.56	3.2	
31	Suspension	0.00	1.28	1.5	4.1	1.3	4.1	1.28		
32	Suspension	0.00	1.52	2.6	2.1	4.4	2.1	1.52		
33	Suspension	0.00	2.45	2.6	2.6	2.6	2.6	2.45	2.97	
34	Tension	0.00	1.7	3.3	3.4	3.4	3.3	1.7		
35	Suspension	0.00	2	3.6	3.7	5.4	3.7	2	2	
36	Suspension	0.00	5.68	7.8	8.0	6.9	8.1	5.68		
37	Suspension	0.00	3.32	4.3	4.4	4.4	5.0	3.32		
38	Suspension	0.00	2.09	3.8	5.3	3.8	3.7	2.09		
39	Tension	0.00	1.4	7.6	5.8	1.4	1.3	1.4		

Dari table di atas dapat dilihat bahwa terdapat 10 titik tower yang tidak sesuai dengan standar, yaitu pada tower nomor 5 sebesar 5,14 Ohm, pada tower nomor 12 sebesar 5,44 Ohm, pada tower nomor 13 sebesar 8,69 Ohm, pada tower nomor 14 sebesar 28 Ohm, pada tower nomor 15 sebesar 32,3 Ohm, pada tower nomor 16 sebesar 16,22 Ohm, pada tower nomor 17 sebesar 67,05 Ohm, pada tower nomor 18 sebesar 59,8 Ohm, pada tower nomor 19 sebesar 14,25 Ohm, pada tower nomor 36 sebesar 5,68 Ohm. Perbaikan yang dilakukan yaitu dengan menambah 4 buah elektroda yang panjangnya 2 meter dengan tebal diameter 4mm yang di jumper dengan arde eksisting. Kedalaman arde yang ditanam di tanah yaitu 4 meter dari permukaan tanah.

Tabel 4.2 Hasil Tahanan Pentanahan Setelah Pertambahan Elektroda

Percobaan	Elektroda yang ditambahkan (batang)	Jarak (m)	Hasil perhitungan elektroda ( $\Omega$ )	Hasil tahanan pentanahan ( $\Omega$ )
Pertama	4	0,5	1,44	2,8
Kedua	3	1	1,06	2,65
Ketiga	2	2	1,67	4,166

Dari data diatas menunjukkan bahwa dengan penanaman elektroda dengan memperpanjang jarak antar batang elektroda mempengaruhi penurunan nilai tahanan pentanahannya. Dari ketiga rekomendasi maka yang mempengaruhi dari perbaikan tahanan pentanahan pada tower yaitu jarak antar batang elektroda dan jumlah elektroda yang tertanam. Karena semakin luas pentanahannya, semakin baik dan semakin banyak batang pentanahan yang tertanam dapat mereduksi nilai tahanan pentanahannya.

## 4.2 Perhitungan Nilai Tegangan Induksi

### 4.2.1 Perhitungan Tegangan Rambatan Sambaran Pada Kawat Fasa dan Kawat Tanah Di Menara T17 Transmisi Wlingi Blitar Sebelum Perbaikan

Presentasi selisih hasil perhitungan dan simulasi sebelum perbaikan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.3 Selisih hasil perhitungan dan simulasi sebelum perbaikan

Selisih Hasil Perhitungan dan Simulasi <5%					
Sambaran		Arus Puncak (kA)	Perhitungan (kV)	Simulasi (kV)	Persentase (%)
Kawat Fasa	Arus Kritis (Ic)	4,41	450.63	456.83	1.357178819
	Probabilitas 80%	20	2043.677	2079.2	1.708493651
	Probabilitas 50%	40	4,157	4159.4	0.048083858
Kawat Tanah	Arus Kritis (Ic)	4,41	255.8	266.2	3.906836965
	Probabilitas 80%	20	1160.1	1218.6	4.800590842
	Probabilitas 50%	40	2377.13	2430.6	2.199868345

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa tegangan sambaran petir pada kawat fasa akan berkurang hingga sampai di gardu induk Wlingi pada saat sambaran arus kritis 450,63 kV, pada saat probabilitas 80% adalah 2043,677 kV, dan pada saat probabilitas 50% adalah 4018,456 kV. Hasil simulasi pada ATP Draw dengan tegangan sambar sebesar 4,41 kA tanpa *arrester* adalah 456,83 kV, pada saat probabilitas 80% adalah 2079,2 kV dan pada saat probabilitas 50% adalah 4159,4kV. Hasil simulasi ini tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan. Perbedaan tersebut dikarenakan adanya parameter – parameter pada simulasi yang tidak ikut diperhitungkan. Nilai yang didapatkan pada saat sambaran arus kritis tidak dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya kurang dari BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV. Sedangkan pada saat probabilitas 80% dan probabilitas 50% nilai yang didapatkan dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya melebihi BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV.

Tegangan sambaran petir akan berkurang hingga sampai di gardu induk terdekat pada saat sambaran 4,41 kA adalah 255,8

kV, pada saat probabilitas 80% adalah 1160,1 dan pada saat probabilitas 50% adalah 2377,13. Hasil simulasi pada ATP Draw dengan tegangan sambar sebesar 4,41 kA tanpa *arrester* adalah 266,2 kV, pada saat probabilitas 80% adalah 1218,6 kV dan pada saat probabilitas 50% adalah 2377,13kV. Hasil simulasi ini tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan. Perbedaan tersebut dikarenakan adanya parameter – parameter pada simulasi yang tidak ikut diperhitungkan.

Nilai yang didapatkan pada saat sambaran arus kritis tidak dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya kurang dari BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV. Sedangkan pada saat probabilitas 80% dan probabilitas 50% nilai yang didapatkan dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya melebihi BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV.

### 4.2.2 Perhitungan Tegangan Rambatan Sambaran Pada Kawat Tanah Di Menara T17 Transmisi Wlingi Blitar Sesudah Perbaikan

Berikut adalah hasil perhitungan kawat tanah sesudah perbaikan di mana  $R \leq 5 \text{ Ohm}$ .

Tabel 4.4 Hasil perhitungan kawat tanah sesudah perbaikan

Sambaran	Arus Puncak (kA)	Hasil Perhitungan (kV)
Arus Kritis	4,41	30,16
Probabilitas 80%	20	214,77
Probabilitas 50%	40	429,54

Dari data tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan kurang dari nilai BIL 6 keping isolator 610 kV. Maka isolator aman begitu pula gardu induk juga aman dari sambaran petir.

## 4.3 Simulasi Sambaran Petir pada Kawat Fasa dan Kawat Tanah di Gardu Induk Wlingi 70 kV

Berikut ini adalah hasil simulasi sambaran petir pada kawat fasa dan kawat tanah di Gardu Induk Wlingi 70 kV.

Tabel 4.5 Hasil simulasi sambaran petir

Sambaran	Arus Puncak (kA)	Tegangan yang masuk ke GI (kV)	Tegangan Potong Arrester Simulasi (kV)	Tegangan pada Trafo (kV)	BIL Isolator (kV)	Tegangan Percik Arrester (kV)	BIL Trafo (kV)
Kawat Fasa (Shielding Failure)	Arus Kritis (Ic)	4,41	378	225	180	610	270
	Prob 80%	20	612	164	209	610	270
	Prob 50%	40	1204	299	174	610	270
Kawat Tanah	Arus Kritis (Ic)	4,41	276	251	238	610	270
	Prob 80%	20	659	282	121	610	270
	Prob 50%	40	3035	326	234	610	270

Hasil simulasi sambaran pada kawat fasa dengan parameter arus puncak Ic, I50% dan I80% menyebabkan arrester bekerja pada saat arus puncak 40 kA karena tegangan potong arrester 299 kV melebihi nilai tegangan percik arrester 270 kV. Tetapi tegangan yang masuk ke trafo di bawah nilai BIL trafo semua, maka trafo dapat terlindungi.

Pada kawat tanah dengan sambaran puncak 20 kA dan 40 kA menyebabkan lightning arrester bekerja, karena nilainya 282 kV dan 326 kV di mana nilai tersebut melebihi tegangan percik atau

tegangan nominal lightning arrester yang ada di Gardu Induk Wlingi. Tetapi trafo dapat terlindungi karena nilai tegangan yang masuk di trafo di bawah tegangan BIL trafo yaitu 750 kV.

## 5. Kesimpulan

Perbaikan yang dilakukan yaitu dengan menambah 4 buah elektroda yang panjangnya 2 meter, jarak antar elektroda 0,5 meter dengan tebal diameter 4mm yang di  *jumper*  dengan arde *eksisting*. Hal yang mempengaruhi dalam mereduksi nilai tahanan pentanahan adalah jarak antar batang elektroda yang ditanam dan jumlah elektroda yang tertanam. Semakin luas jarak batang elektroda semakin kecil nilai tahanan pentanahannya.

Sambaran pada kawat fasa dan kawat tanah sebelum perbaikan, nilai yang didapatkan pada saat sambaran arus kritis tidak dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya kurang dari BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV. Sedangkan pada saat probabilitas 80% dan probabilitas 50% nilai yang didapatkan dapat merusak peralatan yang ada di GI karena nilainya melebihi BIL 6 keping isolator yaitu 610 kV. Pada kawat tanah setelah dilakukan perbaikan tidak melebihi BIL 6 keping isolator maka isolator dan gardu induk aman.

Hasil simulasi sambaran pada kawat fasa dengan parameter arus puncak  $I_c$ ,  $I_{50\%}$  dan  $I_{80\%}$  menyebabkan arrester bekerja pada saat arus puncak 40 kA karena tegangan potong arrester 299 kV melebihi nilai tegangan percik arrester 270 kV. Tetapi tegangan yang masuk ke trafo di bawah nilai BIL trafo semua, maka trafo dapat terlindungi. Pada kawat tanah dengan sambaran punyak 20 kA dan 40 kA menyebabkan lightning arrester bekerja, karena nilainya 282 kV dan 326 kV di mana nilai tersebut melebihi tegangan percik atau tegangan nominal lightning arrester yang ada di Gardu Induk Wlingi. Tetapi trafo dapat terlindungi karena nilai tegangan yang masuk di trafo di bawah tegangan BIL trafo yaitu 750 kV.

## Daftar Pustaka

- [1] Artono, A. (2001). *Teknik Tegangan Tinggi*. Pradnya Paramita.
- [2] Aslimeri. (2008). *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2 Untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [3] Hurauruk, T. S. (1987). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*. Gelora Aksara Pratama.
- [4] *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 200 (PUIL 2000)*. (n.d.). Jakarta: Yayasan PUIL
- [5] Zoro, R. (2018). *Sistem Proteksi Petir Pada Sistem Tenaga Listrik*. Remaja Rosdakarya.
- [6] Bewley, L. V. 1933. *Travelling Waves on Transmission Systems*. London: Chapman & Hall, Limited.
- [7] Hutaaruk, T.S. 1988. *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja*, Jakarta. Erlangga.
- [8] Suswanto, D. (n.d.). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*
- [9] . Jian, L. (2008). *Study On Measuring Grounding Resistance Of Grounding Grid With Short Lead Wire*. China International Conference on Electricity Distribution, 2-5.
- [10] Jumari. (2019). *Sistem Pengetanahan Pada Jaringan Distribusi Di PT.PLN (Persero)*. Universitas Darma Agung.
- [11] Keputusan Direksi Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET). (2014). PT PLN (Persero).
- [12] Mardi, A. (2013). *Analisa Perbaikan Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 kV Rembang-Blora Bertahanan Tinggi Dan Usaha Menurunkannya*. Politeknik Negeri Bandung, 6-33.
- [13] MM, I. J. (2017). *Petunjuk Praktis Perancangan Pentanahan Sistem Tenaga Listrik*. Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.
- [14] Rong, Z. (2004). *Grounding Resistance Measurement Analysis Of Grounding System In Vertical\_layered Soil*. *IEEE Transactions On Power Delivery*, 19.
- [15] Saputro, N. H. (2016). *Analisis Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 KV Rembang-Blora Bertahanan Tinggi Dan Usaha Menurunkannya*. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 15.