

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN ELEKTRODA TERHADAP NILAI TAHANAN PENTANAHAN TOWER 105 SUTT 150KV MANINJAU - PADANG LUAR

Randi Gunawan¹⁾, Ir. Yulisman, M.T.

²⁾, Mahyessie Kamil, S.T., M.T. ³⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro, UM Sumatra Barat, Bukittirnggi, Indonesia

e-mail: gunawanrandi1@gmail.com¹⁾, yulisman@umsb.ac.id²⁾,

mahyessie.kamil@gmail.com³⁾

ABSTRACT

In the process of distributing electrical energy, the transmission system plays an important role, for the conductor of the 150 kV High Voltage Air Line (SUTT) that connects the GI. Review with GI. The Padang Luar grounding system plays a very important role in reducing the impact of disturbances caused by lightning. For this reason, security is needed that can secure this SUTT from various disturbances that occur along its path. The value of the stability of this grounding system must be maintained in accordance with predetermined standards in order to maintain the quality of the distribution, especially when there is potential for interference from the transmission line.

The standard for the grounding value that must be used is that it must be below 10 . Evaluation of the value of grounding resistance in the conductor is carried out to maintain, maintain and or improve the quality of the grounding because the value of grounding resistance can change from time to time due to the influence of the resistance value of the soil type and the grounding system itself.

Tower 105 which has a grounding resistance value above 10 , it is necessary to reduce the ground resistance value, based on the calculations carried out, more effective results are obtained by using a grounding system of two electrode rods planted perpendicular to the ground for $S > L$, using an electrode with a diameter of 1 “(25.40 mm) can reduce the value of grounding resistance at the foot of the tower (stub. A) by 37.72% from 12.46 W to 7.76 W; tower foot (stub. B) by 37.71 % from 12.65 W to 7.88 W; tower foot (stub. C) by 37.70% from 13.37 W to 8.33 W; and the tower legs (stub. D) amounted to 37.74% from 14.31 W becomes 8.91 W.

Keywords: *transmission, soil resistivity, electrode grounding resistance*

ABSTRAK

Dalam proses penyaluran energi listrik sistem transmisi memegang peranan penting, untuk penghantar Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV yang menghubungkan GI. Maninjau dengan GI. Padang Luar sistem pentanahannya berperan sangat penting dalam mengurangi dampak gangguan yang disebabkan oleh petir. Untuk itu diperlukan pengamanan yang dapat mengamankan SUTT ini dari berbagai gangguan yang terjadi disepanjang jalur yang dilaluinya. Nilai kestabilan sistem pentanahan ini harus dijaga sesuai dengan standar yang telah ditentukan guna mempertahankan kualitas penyaluran terutama saat potensi gangguan yang berasal dari saluran transmisi.

Standar untuk nilai pentanahan yang harus dipakai adalah harus dibawah 10 Ω . Evaluasi terhadap nilai tahanan pentanahan pada penghantar tersebut dilakukan untuk mempertahankan, menjaga dan atau memperbaiki kualitas pentanahan karena nilai tahanan pentanahan dapat berubah dari waktu ke waktu karena pengaruh nilai resistansi jenis tanah dan sistem pentanahan itu sendiri.

Tower 105 yang memiliki nilai tahanan pentanahan diatas 10 Ω , perlu upaya penurunan nilai tahanan pentanahannya, berdasarkan perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil yang lebih efektif dengan menggunakan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah untuk $S > L$, menggunakan elektroda berdiameter 1 “ (25,40 mm) dapat mereduksi nilai tahanan pentanahan di kaki tower (stub. A) sebesar 37,72 % dari 12,46 Ω menjadi 7,76 Ω ; kaki tower (stub. B) sebesar 37,71 % dari 12,65 Ω menjadi 7,88 Ω ; kaki tower (stub. C) sebesar 37,70 % dari 13,37 Ω menjadi 8,33 Ω ; dan kaki tower (stub. D) sebesar 37,74 % dari 14,31 Ω menjadi 8,91 Ω .

Kata kunci : *transmisi, tahanan jenis tanah, tahanan pentanahan elektroda.*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik mempunyai manfaat yang sangat banyak sekali dalam kehidupan umat manusia di zaman serba modern ini, karena tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat vital bagi kegiatan kehidupan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung disamping mempunyai sifat yang universal yang mudah diubah menjadi bentuk energi lain seperti tenaga mekanik, cahaya maupun panas dan juga energi listrik sangat mudah disalurkan ke tempat-tempat yang jauh melalui suatu sistem tenaga listrik.

Sistem penyaluran energi listrik yang dimulai dari pusat pembangkit ke pusat beban (konsumen) secara garis besar dapat digolongkan atas empat komponen utama, yaitu : pusat pembangkit, saluran transmisi, saluran distribusi, dan sistem beban (konsumen).

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV merupakan bagian dari sistem penyaluran tenaga listrik, saluran tersebut kemungkinan akan terganggu oleh sambaran petir yang dapat menyebabkan kenaikan tegangan dan juga dapat merusak peralatan listrik yang digunakan sebagai pendukung penyaluran tenaga listrik tersebut. Apalagi di Indonesia sebagai negara tropis, sambaran petir cukup sering terjadi. Untuk meminimalisir keadaan tersebut maka harus ada media untuk melindungi penghantar (konduktor), yaitu sistem pentanahan atau kawat arde yang dipasang di sepanjang SUTT 150 kV dan dihubungkan langsung dengan sistem pentanahan menara.

Oleh karena itu, pentanahan pada menara SUTT 150 kV sangat penting. Nilai tahanan pentanahan menara SUTT 150 kV harus memenuhi peraturan atau standar yang diperbolehkan untuk menjamin keandalan sistem penyaluran tenaga listrik jika terjadi tegangan lebih akibat sambaran petir ini. Pemasangan sistem pentanahan menara SUTT 150 kV harus memenuhi syarat yang telah ditentukan antara lain jenis elektroda, kedalaman implantasi elektroda, ukuran elektroda dan jarak antar elektroda yang digunakan.

Seperti yang telah ditetapkan, pentanahan (grounding) ditanam di bawah tanah, dan dalam jangka waktu tertentu, ukuran resistensi akan sangat berubah. Proses pengukuran dan pemeriksaan secara berkala harus dilakukan secara teliti untuk mendapatkan hasil yang akurat. Oleh karena itu, dengan adanya sistem yang dapat mengatasi ancaman atau bahaya gangguan listrik pada peralatan dan pekerja serta makhluk hidup yang berada disekitar menara tersebut diharapkan penyaluran energi listrik ke konsumen berjalan dengan aman dan lancar.

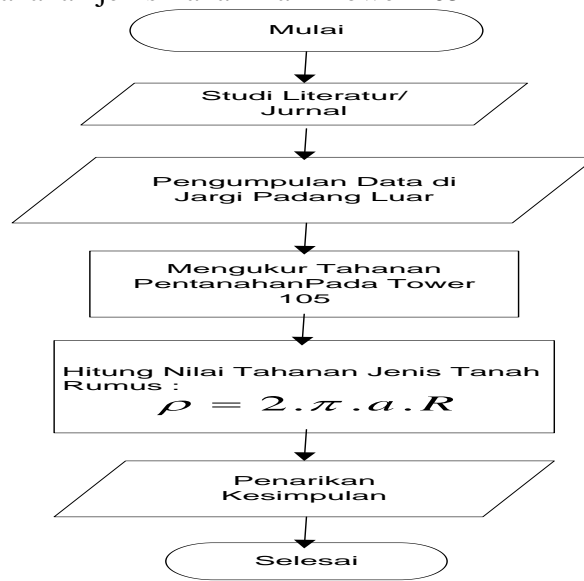
Cara mengatasi gangguan adalah dengan membumikan kaki-kaki menara transmisi, serta melindungi saluran fasa dari sambaran petir langsung dengan menempatkan kabel tanah di atas saluran fasa, sehingga sambaran petir yang mengenai saluran tanah merambat ke tanah melalui impedansi surja. Resistansi ground yang tinggi akan menyebabkan arus pantul merambat ke bagian atas menara, jika arus pantul melebihi tegangan tembus isolator pada tiang transmisi, arus petir akan diinjeksikan ke saluran fasa dan menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pentanahan yang baik yaitu kurang dari 10 Ω dan efektif (SPLN T5.012: 2020, Pembumian pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi).

II. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang disusun ke dalam bentuk *flowchart* untuk menghitung tahanan jenis tanah, dan nilai tahanan pentanahan serta upaya penurunan nilai tahanan pentanahan di kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar dilakukan melalui analisis pengaruh penambahan elektroda batang terhadap nilai tahanan pentanahan yang tidak sesuai standar, dengan urutan sebagai berikut :

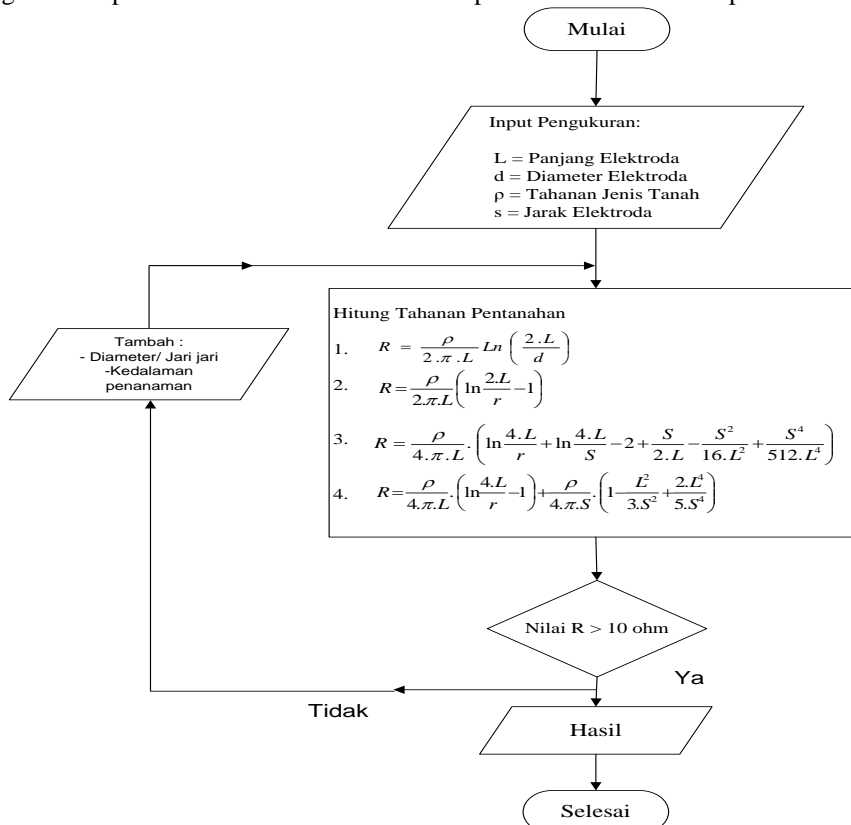
A. BAGAN ALIR PENELITIAN

1). Menghitung Nilai Tahanan jenis Tanah Kaki Tower 105



Gambar 1 Flow Chart Menghitung Nilai Tahanan Jenis Tanah

2). Menghitung tahanan pentanahan kaki tower 105 untuk perbaikan nilai tahanan pentanahannya



Gambar 2 Flowchart menghitung nilai tahanan pentanahan

B. JENIS DAN SUMBER DATA

Data dalam penelitian ini sangat penting, karena sebagai bahan referensi bagi penulis dalam pelaksanaan analisis selanjutnya. Data-data yang dibutuhkan dalam mendukung pelaksanaan penelitian dan analisis hasil perhitungan nantinya menggunakan data yang bersumber dari data primer dan data teknis.

Untuk data primer yang merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan didapat dari hasil pengambilan data pengukuran tahanan pentanahan pada kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar.

Untuk data-data teknis yang dibutuhkan dalam analisa perhitungan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh melalui informasi orang lain (staf perusahaan), dinas terkait atau melalui dokumen yang tersedia pada perusahaan.

C. PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data tahanan pentanahan kaki tower 105 yang menggunakan peralatan digital earth tester tipe 4105a, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. mengecek alat ukur sebelum digunakan dalam melakukan pengukuran seperti : tegangan, baterai, dan tampilan display,
2. memasang semua kabel pada terminal alat ukur,
3. membersihkan kotoran yang menempel pada bagian kaki tower yang akan diukur,
4. terminal dengan kabel hijau dihubungkan pada bagian yang akan diukur, probe kabel kuning ditancapkan pada tanah dengan jarak yang ditentukan dengan probe kabel merah,
5. Tombol (no.5) ditekan, jarum akan bergerak kemudian jarum diatur pada posisi nol. Tombol dilepaskan maka jarum akan bergerak menunjukkan besar nilai tahanan pentanahan yang diukur.

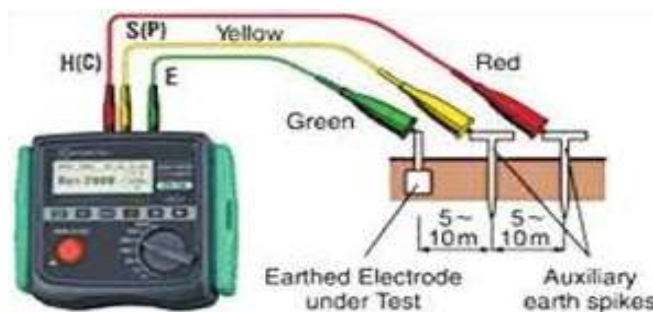
Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan kaki tower ini, dengan menggunakan alat ukur tahanan pentanahan dapat dilihat pada Lampiran 8., nilai tahanan pentanahan yang terbaca pada monitor earth tester. Dari hasil pengukuran yang dilakukan terhadap tahanan pentanahan kaki menara/tower 105 pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar, diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

Kaki tower di Stub. A = 12,46 Ω

Kaki tower di Stub. B = 12,65 Ω

Kaki tower di Stub. C = 13,37 Ω

Kaki tower di Stub. D = 14,31 Ω



Gambar 3 Rangkaian pengukuran tahanan pentanahan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan nilai tahanan jenis tanah

Untuk mengetahui nilai tahanan jenis tanah di titik lokasi kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar, perhitungan dilakukan dengan menggunakan :

Nilai tahanan jenis tanah kaki tower (stub. A), dengan data :

$$a = 1 \text{ m}$$

$$R = 12,46 \Omega$$

diperoleh :

$$\begin{aligned} \rho &= 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 12,46 \\ &= 78,25 \Omega \cdot m \end{aligned}$$

Tabel 1 Hasil perhitungan nilai tahanan jenis tanah

No	Kaki tower 105	Nilai tahanan pentanahan (Ω)	Nilai tahanan jenis tanah ($\Omega \cdot m$)
1	Stub. A	12,46	78,25
2	Stub. B	12,65	79,44
3	Stub. C	13,37	83,96
4	Stub. D	14,31	89,87

B. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan elektroda

Untuk menghitung tahanan pentanahan masing-masing kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar, digunakan nilai tahanan jenis tanah yang diperoleh dari hasil perhitungan sesuai Tabel 4.1. diatas. Nilai hasil perhitungan harus memiliki nilai tahanan pentanahan-nya $< 10 \Omega$ sesuai yang disyaratkan (SPLN T5.012: 2020, Pembumian pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi).

1). Perhitungan tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan *driven ground*

a. Elektroda yang dipakai adalah jenis *copper rod* (tembaga pejal) berdiameter 5/8” (15,88 mm) dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Nilai tahanan pentanahan pada kaki tower (stub. A), dengan :

$L = 2,0 \text{ m}$
 $d = 15,88 \text{ mm (0,016 m)}$
 $\rho = 78,25 \Omega\text{-m}$
 didapat nilai :

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right)$$

$$= \frac{78,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 2,0}{0,016}\right)$$

$$= \frac{78,25}{12,56} \cdot \ln(251,89)$$

$$= 34,45 \Omega$$

Tabel 2 Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,016 m

No	Kaki tower 105	dia. elektrod a (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalama n (6,0 m)	kedalama n (12,0 m)
1	Stub. A	0,016	34,45	13,76	7,60
2	Stub. B	0,016	34,97	13,97	7,72
3	Stub. C	0,016	36,96	14,77	8,16
4	Stub. D	0,016	39,56	15,81	8,73

b. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan *driven ground*, dimana elektroda yang digunakan sebelumnya berdiameter 5/8” (15,88 mm) diperbesar dengan dengan memakai yang berdiameter 1” (25,40 mm), dilakukan perhitungan sampai didapatkan nilai tahanan pentanahannya $< 10 \Omega$ dengan penambahan kedalaman penanaman.

Tabel 3. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,025 m

No	Kaki tower 105	dia. elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalama n (6,0 m)	kedalama n (12,0 m)
1	Stub. A	0,025	31,52	12,79	7,11
2	Stub. B	0,025	32,00	12,98	7,22

3	Stub. C	0,025	33,82	13,72	7,63
4	Stub. D	0,025	36,20	14,69	8,17

2). Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan elektroda ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah, menggunakan Pers. 2.4.

a. Elektroda yang dipakai adalah jenis *copper rod* (tembaga pejal) berdiameter 5/8” (15,88 mm) dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Nilai tahanan pentanahan pada kaki tower (stub. A), dengan :

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$d = 15,88 \text{ mm (0,016 m)} \rightarrow r = 0,008 \text{ m}$$

$$\rho = 78,25 \Omega\text{-m}$$

didapat nilai :

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{r} - 1 \right) \\ &= \frac{78,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,0}{0,008} - 1 \right) \\ &= \frac{78,25}{12,56} \cdot (\ln 503,78 - 1) \\ &= 32,53 \Omega \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,016 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,008	32,53	13,13	7,28
2	Stub. B	0,008	33,03	13,33	7,39
3	Stub. C	0,008	34,91	14,08	7,81
4	Stub. D	0,008	37,36	15,07	8,36

b. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem elektroda ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah, dimana elektroda yang digunakan sebelumnya berdiameter 5/8” (15,88 mm) diperbesar dengan memakai yang berdiameter 1” (25,40 mm), dilakukan perhitungan sampai didapatkan nilai tahanan pentanahannya $< 10 \Omega$ dengan penambahan kedalaman penanaman.

Tabel 5. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,025 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,013	29,61	12,15	6,80
2	Stub. B	0,013	30,06	12,34	6,90
3	Stub. C	0,013	31,77	13,04	7,29
4	Stub. D	0,013	34,00	13,95	7,80

3). Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah. dengan $S < L$.

a. Elektroda yang dipakai adalah jenis *copper rod* (tembaga pejal) berdiameter 5/8” (15,88 mm) dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Nilai tahanan pentanahan pada kaki tower (stub. A), dengan :

$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$d = 15,88 \text{ mm (0,016 m)} \rightarrow r = (0,008 \text{ m})$$

$$S = 150 \text{ cm (1,5 m)}$$

$$\rho = 78,25 \Omega\text{-m}$$

didapat nilai :

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} + \ln \frac{4 \cdot L}{S} - 2 + \frac{S}{2 \cdot L} - \frac{S^2}{16 \cdot L^2} + \frac{S^4}{512 \cdot L^4} \right) \\
 &= \frac{78,25}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot 2,0}{0,008} + \ln \frac{4 \cdot 2,0}{1,5} - 2 + \frac{1,5}{2 \cdot 2,0} + \frac{1,5^2}{16 \cdot 2,0^2} + \frac{1,5^4}{512 \cdot 2,0^4} \right) \\
 &= \frac{78,25}{25,12} \cdot (\ln 1.007,56 + \ln 5,33 - 2 + 0,38 + 0,04 + 0,00062) \\
 &= 21,81 \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,016 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,008	21,81	8,31	4,50
2	Stub. B	0,008	22,14	8,43	4,57

3	Stub. C	0,008	23,40	8,91	4,83
4	Stub. D	0,008	25,04	9,54	5,17

b. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah (untuk $S < L$), elektroda yang dipakai sebelumnya berdiameter 5/8" (15,88 mm) diperbesar dengan memakai yang berdiameter 1" (25,40 mm), dilakukan perhitungan sampai didapatkan nilai tahanan pentanahannya $< 10 \Omega$ dengan penambahan kedalaman penanaman.

Tabel 7. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,025 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,013	20,34	7,82	4,26
2	Stub. B	0,013	20,65	7,94	4,32
3	Stub. C	0,013	21,83	8,39	4,57
4	Stub. D	0,013	23,36	8,98	4,89

4). Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah. dengan $S > L$.

a. Elektroda yang dipakai adalah jenis *copper rod* (tembaga pejal) berdiameter 5/8" (15,88 mm) dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Nilai tahanan pentanahan pada kaki tower (stub. A), dengan :
 $L = 2,0 \text{ m}$
 $d = 15,88 \text{ mm (0,016 m)} \rightarrow r = (0,008 \text{ m})$
 $S = 250 \text{ cm (2,5 m)}$
 $\rho = 78,25 \Omega\text{-m}$
 didapat nilai :

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot L}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot S} \cdot \left(1 - \frac{L^2}{3 \cdot S^2} + \frac{2 \cdot L^4}{5 \cdot S^4} \right) \\
 &= \frac{78,25}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot 2,0}{0,008} - 1 \right) + \frac{78,25}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(1 - \frac{2,0^2}{3 \cdot 2,5^2} + \frac{2 \cdot 2,0^4}{5 \cdot 2,5^4} \right) \\
 &= \frac{78,25}{25,12} \cdot (\ln 1.007,56 - 1) + \frac{78,25}{31,40} \cdot \left(1 - \frac{4}{19} + \frac{32}{195} \right) \\
 &= 20,79 \Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,016 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,008	20,79	8,25	4,52
2	Stub. B	0,008	21,11	8,37	4,58
3	Stub. C	0,008	22,31	8,85	4,85
4	Stub. D	0,008	23,88	9,47	5,19

b. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah (untuk $S > L$), elektroda yang dipakai sebelumnya adalah berdiameter 5/8" (15,88 mm) diperbesar dengan memakai yang berdiameter 1" (25,40 mm), dilakukan perhitungan sampai didapatkan nilai tahanan pentanahannya $< 10 \Omega$ dengan penambahan kedalaman penanaman.

Tabel 9. Hasil perhitungan untuk elektroda dia. 0,025 m

No	Kaki tower 105	Jari-jari elektroda (m)	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
			kedalaman (2,0 m)	kedalaman (6,0 m)	kedalaman (12,0 m)
1	Stub. A	0,013	19,33	7,76	4,27
2	Stub. B	0,013	19,63	7,88	4,34
3	Stub. C	0,013	20,74	8,33	4,58
4	Stub. D	0,013	22,20	8,91	4,91

C. Pembahasan

Penelitian pengaruh elektroda terhadap nilai tahanan pentanahan pada tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar dilakukan dengan memperhitungkan sistem pentanahan yang digunakan, diameter dan kedalaman penanaman dari elektroda. Elektroda yang digunakan dalam perhitungan adalah jenis *copper rod* (tembaga pejal).

- 1) a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan *driven ground*, diameter elektroda 5/8" (15,88 mm) nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 12,0 m dengan nilai di (stub. A) = 7,60 Ω ; (stub. B) = 7,72 Ω ; (stub. C) = 8,16 Ω ; dan (stub. D) = 8,73 Ω .
 b. Dengan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm), nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 12,0 m dengan nilai di (stub. A) = 7,11 Ω ; (stub. B) = 7,22 Ω ; (stub. C) = 7,63 Ω ; dan (stub. D) = 8,17 Ω .
- 2) a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan elektroda ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah, diameter elektroda 5/8" (15,88 mm) nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 12,0 m dengan nilai di (stub. A) = 7,28 Ω ; (stub. B) = 7,39 Ω ; (stub. C) = 7,81 Ω ; dan (stub. D) = 8,36 Ω .
 b. Dengan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm), nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 12,0 m dengan nilai di (stub. A) = 6,80 Ω ; (stub. B) = 6,90 Ω ; (stub. C) = 7,29 Ω ; dan (stub. D) = 7,80 Ω .
- 3) a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah untuk $S < L$, diameter elektroda 5/8" (15,88 mm) nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 6,0 m dengan nilai di (stub. A) = 8,31 Ω ; (stub. B) = 8,43 Ω ; (stub. C) = 8,91 Ω ; dan (stub. D) = 9,54 Ω .
 b. Dengan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm), nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 6,0 m dengan nilai di (stub. A) = 7,82 Ω ; (stub. B) = 7,94 Ω ; (stub. C) = 8,39 Ω ; dan (stub. D) = 8,98 Ω .
- 4) a. Perhitungan nilai tahanan pentanahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah untuk $S > L$, diameter elektroda 5/8" (15,88 mm) nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 6,0 m dengan nilai di (stub. A) = 8,25 Ω ; (stub. B) = 8,37 Ω ; (stub. C) = 8,85 Ω ; dan (stub. D) = 9,47 Ω .
 b. Dengan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm), nilai tahanan pentanahan yang dipersyaratkan terpenuhi pada kedalaman penanaman 6,0 m dengan nilai di (stub. A) = 7,76 Ω ; (stub. B) = 7,88 Ω ; (stub. C) = 8,33 Ω ; dan (stub. D) = 8,91 Ω .

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa pengaruh penambahan elektroda terhadap nilai tahanan pentanahan tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar berdasarkan hasil pengukuran (sebelum penambahan elektroda) nilai tahanan pentanahan di (stub. A) = 12,46 Ω ; (stub. B) = 12,65 Ω ; (stub. C) = 13,37 Ω ; dan (stub. D) = 14,31 Ω .

Dapat diturunkan nilainya menjadi lebih kecil dari 10 Ω sesuai yang dipersyaratkan (SPLN T5.012: 2020, Pembumian pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi) dengan memakai sistem pentanahan dua batang elektroda (berdiameter 1" = 25,40 mm) yang ditanam tegak lurus di dalam tanah pada kedalaman penanaman 6,0 m dengan $S > L$, dapat diperoleh nilai di (stub. A) = **7,76 Ω** ; (stub. B) = **7,88 Ω** ; (stub. C) = **8,33 Ω** ; dan (stub. D) = **8,91 Ω** .

D. Hasil Pengujian Hipotesis

Berdasarkan kajian teori dan kerangka berfikir yang telah dipaparkan, hasil hipotesis dalam penelitian ini adalah besarnya nilai tahanan pentanahan kaki tower 105 yang diukur lebih dari 10Ω , hal ini disebabkan nilai tahanan tanah semakin tinggi yang dipengaruhi oleh usia kaki tower telah lama digunakan. Penyebab selanjutnya belum terdapat sistem pentanahan tambahan yang dapat mereduksi nilai tahanan tanah kaki tower 105.

Penambahan sistem pentanahan tambahan secara perhitungan akan dapat memperkecil nilai tahanan suatu sistem pentanahan, baik dengan cara menambah jumlah batang elektroda, memperbesar jari-jari elektroda yang digunakan, maupun memperdalam penanaman elektroda yang ditanam.

Penurunan nilai tahanan pentanahan kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar yang paling efektif berdasarkan perhitungan yang dilakukan adalah dengan memberikan elektroda tambahan dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah dengan $S > L$, dan menggunakan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm) seperti terlihat pada tabel 4.10. di bawah ini.

Tabel 10. Penurunan nilai tahanan pentanahan

No	Kaki tower 105	Nilai tahanan pentanahan (Ω)		
		sebelum penambahan elektroda	setelah penambahan elektroda	penurunan (%)
1	Stub. A	12,46	7,76	37,72
2	Stub. B	12,65	7,88	37,71
3	Stub. C	13,37	8,33	37,70
4	Stub. D	14,31	8,91	37,74

Metode dengan penambahan jumlah batang elektroda dalam upaya penurunan nilai tahanan pentanahan kaki tower 105 merupakan cara yang efektif untuk membuat nilai tahanan pentanahan tereduksi cukup banyak dibandingkan dengan memperdalam penanaman atau memperbesar diameter dari batang elektroda.

Bila suatu sistem pentanahan yang terdiri dari dua batang elektroda dialiri oleh suatu arus gangguan ke tanah ketika tower mengalami gangguan seperti diakibatkan oleh petir dimana pada keadaan normal mempunyai potensial yang sama dengan potensial bumi akan mengalami kenaikan tegangan karena mengalirnya arus surja petir pada impedansi surja kawat, impedansi surja tower, dan resistansi pentanahan, maka arus tersebut akan lebih cepat menyebar atau mengalir ke tanah.

Penambahan dua batang elektroda pada suatu sistem pentanahan guna melindungi saluran transmisi dari tegangan lebih juga sangat baik diaplikasikan karena dua batang elektroda akan lebih efektif mereduksi nilai tahanan pentanahan pada kaki tower saluran transmisi.

IV. KESIMPULAN

Dari analisa yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

- a. Nilai tahanan jenis tanah akan mempengaruhi besarnya tahanan suatu sistem pentanahan, semakin besar harga tahanan jenis suatu tanah maka akan memperbesar nilai tahanan sistem pentanahan tersebut seperti yang terdapat pada tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar, dimana kaki tower (stub. A) nilai $R = 12,46 \Omega$ dan $\rho = 78,25 \Omega\text{-m}$; (stub. B) nilai $R = 12,65 \Omega$ dan $\rho = 79,44 \Omega\text{-m}$; (stub. C) nilai $R = 13,37 \Omega$ dan $\rho = 83,96 \Omega\text{-m}$; serta (stub. D) nilai $R = 14,31 \Omega$. dan $\rho = 89,87 \Omega\text{-m}$.
- b. Perbaikan nilai tahanan pentanahan kaki tower 105 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Maninjau - Padang Luar paling efektif adalah dengan sistem pentanahan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus di dalam tanah untuk $S > L$, dengan elektroda berdiameter 1" (25,40 mm) dimana dapat mereduksi nilai tahanan pentanahan di kaki tower (stub. A) sebesar **37,72 %** dari $12,46 \Omega$ menjadi $7,76 \Omega$; kaki tower (stub. B) sebesar **37,71 %** dari $12,65 \Omega$ menjadi $7,88 \Omega$; kaki tower (stub. C) sebesar **37,70 %** dari $13,37 \Omega$ menjadi $8,33 \Omega$; dan kaki tower (stub. D) sebesar **37,74 %** dari $14,31 \Omega$ menjadi $8,91 \Omega$.

DAFTAR PUSTAKA

- 1]Putra, A.P., Arnita. dan Ridal, Y. (2014). Evaluasi Nilai Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Transmisi Maninjau- Simpang Empat, *Makalah Seminar Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bung Hatta. <http://eprint.ums.ac.id/id/eprint/12302>, diakses 12 Januari 2021.
- 2] Dermawan, A., Juningtyastuti. dan Syakur, A. (2011). Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan yang Ditanam Di Tanah dan di Septictank pada Perumahan. *Makalah Seminar Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. <http://eprint.undip.ac.id/25304>, diakses 20 Januari 2021.
- 3]Hasrul. (2010). Evaluasi Sistem Pembumian Instalasi Listrik Domestik di Kabupaten Barru. *Media Elektrik*. Volume 5, Nomor 1, Juni 2010. <http://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/fastek/article/view/1664>, diakses 14 Februari 2021.
- 4]Handayani, A.B. (tanpa tahun). Studi Sistem Proteksi Pentanahan pada BTS (Base Transceiver Station) Tipe SST di BSC (Base Station Controller) Jember. *Makalah Seminar Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember. <http://repository.unmuhjember.ac.id/410>, diakses 26 Februari 2021.
- 5]Darmana, I., Yudha D.O. dan Erliwati. (2015). Implementasi Sistem Pentanahan Grid pada Tower Transmisi 150 kV (Aplikasi pada Tower SUTT 150 kV Tower 33), *Jurnal IPTEKS Terapan, Research of Applied Science and Education V9.i2* (185-194). <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/elektrikal/article/view/256>, diakses 3 Maret 2021.
- 6]Kadir, A. (1998). *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

- 7]Pabla, A.S dan Hadi, A. (1986). *Sistem Ditrribusi Daya Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- 8] PT PLN (Persero). (2014). *Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET)*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero) Jl Trunojoyo Blok M I/135.
- 9]Hutauruk, T.S. (1987). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- 10] Standarisasi Nasional Indonesia SNI 04-0225-2000. (2000). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Badan Standardisasi Nasional BSN.
- 11] An American National Standard. (1983). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- 12] PT PLN (Persero). (2020). *SPLN T5.012:2020 Pembedian pada Gardu Induk dan Jaringan Transmisi*. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero) Jl Trunojoyo Blok M I/135.
- 13] American National Standard. (1993). *IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part V-Transmission System and Subtransmission Systems*. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.