

ANALISIS PERBAIKAN SISTEM PENTANAHAN PADA KAKI MENARA DI JARINGAN TRANSMISI 150KV GARDU INDUK PEDAN – KENTUNGAN

Agung Tri Wahyudi¹, Slamet Hani², Mujiman³

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222, Indonesia
agungtriwahyudi95@gmail.com¹, shan.akprind@gmail.com², mujimanst@gmail.com³

ABSTRACT

High voltage power lines are electric power transmission network that serves to transmit high-voltage electric power 30 KV up to 150 KV, the electricity distribution process uses the tower as a carrier (bare conductor) air-conditioning support pole, on the use of tower foot requires a safety that serves to back up in case of interference, one of the safeguard on SUTT is with grounding system, in order to protect the danger of electric current to human, equipment and building.

The grounding system is used on the foot of the tower using a rood electrode planted in a certain depth. The research conducted is to compare the big value of measurement with the calculation based of the material spesifications.

The difference in the vau of grounding resistance is caused by several things such as soil type, electrode specification used, moisture around tower feet. The influence of the greatest value of the value of the water content in the soil around the tower. Analysis of the calculation on the paddy fields 5,99 Ω and on the land of the field 16,49 Ω then done repair of analysis obtained result on paddy land with value of 2,76 Ω and 7,89 Ω on field land.

Keywords: High voltage power lines, Grounding, Tower's foot, Groundwater level.

INTISARI

SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) adalah jaringan transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi 30 KV sampai 150 KV, proses penyaluran tenaga listrik menggunakan menara sebagai tiang penyangga kawat penghantar (bare conductor) di udara, pada penggunaannya kaki menara memerlukan pengaman yang berfungsi untuk membackup apabila terjadi gangguan, salah satu pengaman pada SUTT adalah dengan sistem pentanahan, guna melindungi bahaya arus listrik terhadap manusia, peralatan dan bangunan.

Sistem pentanahan yang digunakan pada kaki menara menggunakan elektroda batang yang ditanam dalam kedalaman tertentu. Penelitian yang dilakukan adalah membandingkan nilai pengukuran yang nilainya besar dengan analisa perhitungan berdasarkan spesifikasi bahan pentanahan.

Perbedaan nilai tahanan pentanahan diakibatkan oleh beberapa hal seperti jenis tanah, spesifikasi elektroda yang digunakan, kelembaban disekitar kaki menara. Pengaruh nilai yang paling besar yaitu dari nilai kadar air pada tanah disekitar kaki menara. Analisa perhitungan pada tanah sawah 5,99 Ω dan pada tanah ladang 16,49 Ω kemudian dilakukan analisa perbaikan didapatkan hasil pada tanah sawah dengan nilai 2,76 Ω dan pada tanah ladang 7,86 Ω .

Kata Kunci: Saluran udara tegangan tinggi, Pentanahan, Kaki Menara, Kadar air.

I. PENDAHULUAN

Jaringan transmisi tenaga listrik adalah proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik hingga saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Proses penyalurannya yaitu, dari pembangkit listrik ke gardu induk, dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya, dan dari gardu induk ke jaringan tegangan menengah dan gardu distribusi.

Untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran langsung dari petir digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak diatas kawat fasa dengan sudut perlindungan 18° . Dengan demikian kemungkinan terjadinya loncatan api karena sambaran petir secara langsung dapat diabaikan. Kemungkinan terjadinya loncatan balik (*back flash over*) karena sambaran petir secara langsung pada puncak menara atau kawat tanah tetap masih ada, dan untuk mengurangnya tahanan kaki menara harus dibuat tidak melebihi 10Ω . (Hutauruk, 1999).

Resistansi pembumian dari elektrode bumi tergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektrode. Resistansi pembumian suatu elektrode harus dapat diukur. Untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektrode bumi atau susunan elektrode bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepaskan. (PUIL, 2000).

Jumlah susunan batang-batang elektrode yang ditanam secara paralel dan tegak lurus ke dalam tanah jumlah yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan semakin kecil dan distribusi tegangan gangguan pada permukaan tanah akan lebih merata dengan jarak dan jari-jari antar batang elektrode pentanahan adalah sama. Faktor yang mempengaruhi konduktansi tanah atau resistansi tanah terhadap pentanahan yang merupakan prinsip-prinsip dasar dalam sistem pentanahan, yaitu: pengaruh uap lembab dalam tanah, pengaruh ukuran elektrode, pengaruh kedalaman elektrode, dan pengaruh tahanan tanah

terhadap tahanan elektrode. Pentanahan pada kaki menara saluran transmisi tegangan tinggi 150 KV dengan penambahan 4 batang elektrode yang di pasang secara paralel dapat menurunkan nilai tahanan pentanahan menara secara signifikan. (Suyanto, Muhammad, 2007).

Tahanan tanah juga sangat dipengaruhi oleh kelembaban air yang terjadi disekitar tanah. Ternyata perubahan sedikit jumlah air didalam tanah akan mempengaruhi besarnya tahanan tanah. Jadi harus ditempatkan pada tanah yang banyak mengandung air atau tanah yang lembab. (Dytchia, 2016).

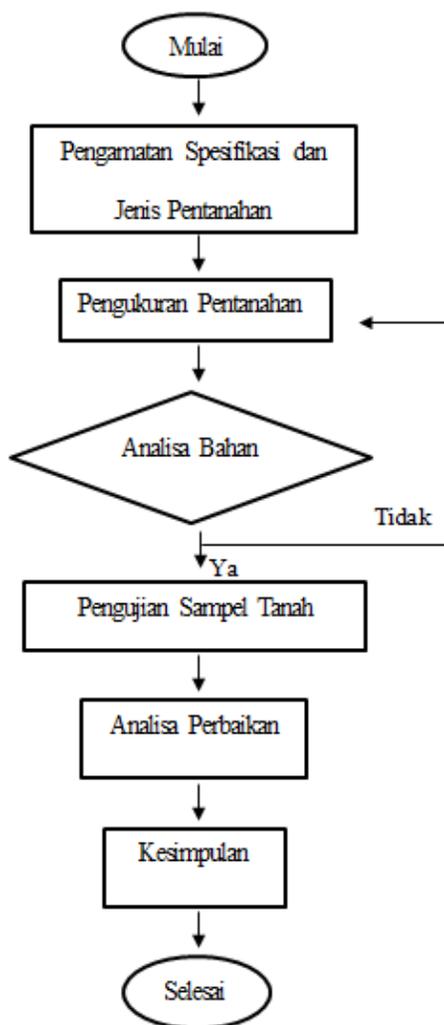
Dengan jenis tanah yang berbeda, besarnya tahanan jenis tanah berbeda untuk masing-masing jenis tanah sehingga dapat dikatakan bahwa jenis tanah berpengaruh terhadap besarnya nilai tahanan pentanahan. Pada jenis tanah berlempung halus memiliki nilai tahanan pentanahan paling besar sedangkan yang paling rendah adalah pada jenis sangat halus. Nilai tahanan pentanahan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, tahanan jenis tanah, kedalaman penanaman pasak/elektroda dan jumlah pasak/elektroda yang dipasang. (I Wayan Sudiarta, I. K. 2016)

II. METODOLOGI

Penelitian dimulai pada bulan September 2017, dimulai dari proses pengajuan proposal dan surat ijin kepada PT. PLN (Persero) Trans-JBT APP Salatiga Basecamp Yogyakarta, Gardu Induk 150 KV kentungan. Data yang diperoleh berasal dari gardu induk kentungan dan juga basecamp Yogyakarta, data ini berupa data pengukuran pentanahan kaki menara pada tahun 2017 di sepanjang jaringan transmisi pedan-kentungan, juga data teori penunjang seperti konstruksi menara dan juga spesifikasi elektrode yang digunakan pada sistem pentanahan.

Pada saluran transmisi pedan-kentungan terdapat 108 menara, namun menara yang diukur oleh peneliti hanya berjumlah 9 menara, dikarenakan pada saat peneliti melakukan penelitian di gardu induk kentungan, petugas PLN di gardu induk kentungan sedang

melakukan pengukuran hanya pada 9 menara, yaitu pada menara 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, dan 27. Dari kesembilan menara tersebut terdapat enam menara yang dicurigai, karena menara tersebut memiliki tahanan pentanahan yang tinggi. Tahanan pentanahan kaki menara SUTT 150 KV ini seperti yang telah ditetapkan oleh standar PUIL 2000 yaitu tidak melebihi 5Ω , dan apabila nilai pentanahan melebihi nilai tersebut maka dilakukan penganalisaan yang menjadi penyebab besarnya nilai pentanahan. Kemudian disarankan untuk melakukan perbaikan jika nilai pentanahannya tidak mengecil. Proses penganalisaan yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart proses penelitian

Pengamatan spesifikasi dan jenis pentanahan yang digunakan dimaksudkan untuk mempermudah menentukan rumus yang akan digunakan dalam penganalisaan, karena setiap spesifikasi dan jenis mempunyai rumus dengan nilai tersendiri. Setelah dilakukan analisa terhadap spesifikasi dan jenis pentanahan kemudian dibandingkan dengan data pengukuran, apabila terdapat selisih angka yang besar maka dilakukan pengujian sampel tanah pada kaki menara dengan kondisi tersebut untuk mengetahui pengaruh perbedaan dan kondisi jenis tanah terhadap nilai pentanahan. Analisa perbaikan yang dilakukan adalah hanya merubah konsep pentanahan awal yang kurang baik menjadi lebih baik berdasarkan analisa spesifikasi dan jenis pentanahan yang baru, hal ini menjadi saran agar nantinya pihak PT. PLN bisa mempertimbangkan apabila akan dilakukan perubahan spesifikasi pentanahan.

A. Tahanan Jenis tanah

Faktor yang paling dominan mempengaruhi nilai tahanan sistem pentanahan adalah pada tahanan jenis tanah dimana elektroda pentanahan tersebut ditanam. Nilai tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu dipengaruhi jenis tanah, kelembaban atau kadar air tanah, temperatur. Nilai tahanan jenis tanah telah ditentukan oleh PUIL 2000 yang menjadi standar dalam penggunaan sistem pentanahan. Lapisan tanah juga mempengaruhi nilai pentanahan karena apabila elektroda ditanam dengan kedalaman tertentu dan menembus lapisan kedua, maka tentu nilai tahanan pentanahannya berbeda Nilai tersebut Nilai tahanan jenis tanah dijelaskan dalam tabel 1.

Tabel 1. Nilai tahanan jenis tanah

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (ohm)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan ladang	100
3	Pasir basah	200

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (ohm)
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000
7	Air laut dan tawar	10 s.d 100

Sumber: PUIL 2000

B. Elektroda

Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa besi atau pipa tembaga yang ditanam ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini.

$$R = (\rho / 2 \pi L) \ln (2L / d) \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

R = Tahanan pentanahan (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (ohm/m)

L = Panjang elektroda (meter)

d = diameter elektroda (meter)

Dari persamaan 1 dapat diketahui cara untuk menurunkan nilai pentanahan dengan cara menambah batang elektroda, hal ini dikarenakan daya hantar arus listrik kedalam tanah lebih besar sehingga nilai pentanahan yang didapatkan semakin kecil kemudian untuk jenis penanaman elektroda dibagi menjadi empat jenis, ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah, ditanam dalam kedalaman beberapa cm dalam tanah dekat permukaan tanah, ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah menembus lapisan kedua, dan ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dan menembus lapisan kedua seperti persamaan berikut :

1. Elektroda ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

2. Elektroda yang ditanam beberapa cm dalam tanah

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \dots\dots\dots(3)$$

3. Elektroda ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah menembus lapisan kedua

$$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) \dots\dots\dots(4)$$

4. Elektroda ditanam tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah dan menembus lapisan kedua

$$R = \frac{\rho_2}{2\pi(h-h_0)} \left(\ln \frac{2L}{d} - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2) h_0}{L}} + \frac{\rho_1}{h} \varphi_0 \right) \dots\dots\dots(5)$$

$$\varphi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1 \right)^2 + 1}} \dots\dots\dots(6)$$

$$F_0 = \frac{L}{1-0,9K} \dots\dots\dots(7)$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

R = Tahanan pentanahan (ohm)

ρ_1 = Tahanan jenis tanah lapisan pertama (ohm meter)

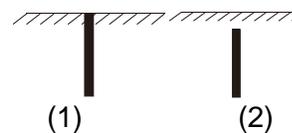
ρ_2 = Tahanan jenis tanah lapisan kedua (ohm meter)

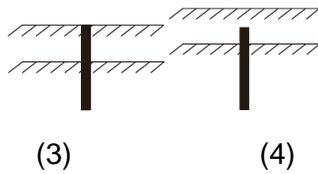
L = Panjang elektroda (meter)

a = Jari-jari elektroda (meter)

h_0 = Kedalaman penanaman elektroda (meter)

K = Faktor refleksi





Gambar 2. Model penanaman elektroda

Dari persamaan 2, 3 dan 4 untuk memperkecil nilai pentanahan maka dapat dilakukan dengan penambahan jumlah elektroda batang dengan mengubah nilai d menjadi nilai A , dengan persamaan :

1. Penempatan 2 elektroda diletakkan dimana saja

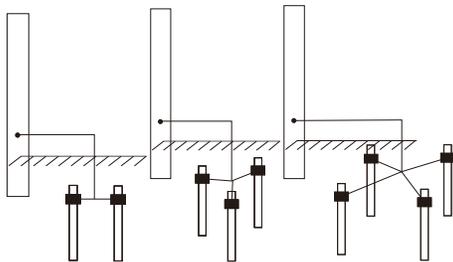
$$A = \sqrt{ar} \dots\dots\dots(9)$$

2. Penempatan 3 elektroda diletakkan dimana saja

$$A = \sqrt[3]{a^2r} \dots\dots\dots(10)$$

3. Penempatan 4 elektroda diletakkan dimana saja

$$A = \sqrt[4]{2\frac{1}{2}a^3r} \dots\dots\dots(11)$$



Gambar 3. Penanaman elektroda dengan jumlah tertentu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Pentanahan

Proses pengukuran dilakukan langsung oleh penulis bersama pihak PT. PLN (Persero) pada tanggal 24 Oktober 2017 di 9 (sembilan) menara jaringan transmisi pedan-kentungan dengan nomor menara 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, dan 27, dari 9 menara terdapat 6 menara yang dicurigai dan dilakukan analisa perbaikan, pengukuran rutin dilakukan oleh PT. PLN (Persero) setiap satu tahun sekali untuk mengetahui kondisi dan nilai pentanahan.

Terdapat 9 tower/menara yang diukur nilai tahanannya dan terdapat 6 menara dalam kondisi melebihi nilai yang diijinkan yaitu 5Ω atau dalam kondisi buruk serta 1 menara dalam kondisi sedang dengan nilai tahanannya $5,9\Omega$. Pada menara nomor 22 dengan nilai tahanannya 14Ω , menara nomor 23 dengan nilai tahanannya $12,8\Omega$ tergolong dalam kondisi buruk, kemudian pada menara nomor 24 dengan nilai tahanannya 27Ω dan menara nomor 25 dengan nilai tahanannya 16Ω lebih tinggi dari menara 22 dan 23, dan nilai tahanannya menara nomor 26 dengan nilai tahanannya 49Ω serta menara nomor 27 dengan nilai tahanannya 47Ω termasuk nilai tahanannya yang sangat besar dan juga dapat membahayakan peralatan. Berikut ini tabel 2. Pengukuran pentanahan dan tabel 3. Nilai pengukuran dan jenis tanah.

Tabel 2. Pengukuran pentanahan

No	Tower	Kaki Tiang (Ohm)	Pentanahan (Ohm)		Bersama (Ohm)
			B	D	
1	19	3,2			4
2	20	2,1	4,6	4,2	1,7
3	21	2,2	5,9	4,3	1,6
4	22	1,4	8,1	14	2,5
5	23	2,4	12,8	12,4	2,2
6	24	4	9	27	2,7
7	25	2,2	8,4	16	1,3
8	26	2,5	49	10,4	3,5
9	27	4,2	47	29	2,7

Tabel 3. Nilai pengukuran dan jenis tanah

No	Tower	Jenis tanah	Pengukuran pentanahan (Ω)	
			B	D
1	22	Sawah	8,1	14
2	23	Sawah	12,8	12,4
3	24	Ladang	9	27

No	Tower	Jenis tanah	Pengukuran pentanahan (Ω)	
			B	D
4	25	Sawah	8,4	16
5	26	Ladang	49	10,4
6	27	Ladang	47	29

B. Analisa Bahan

Untuk perhitungan tahanan pentanahan menara nomor 22, 23, dan 25 yang terletak pada tanah sawah dengan menggunakan *ground rood* berjumlah 2 buah batang elektroda dengan jarak tiap elektroda 1m, dihitung menggunakan persamaan (3) dan (9).

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

$$R = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 3} \left(\ln \frac{2 \times 3}{\sqrt{ar}} \right)$$

$$R = \frac{30}{18,84} \left(\ln \frac{6}{\sqrt{1 \times 0,01905}} \right)$$

$$R = \frac{30}{18,84} \left(\ln \frac{6}{\sqrt{0,01905}} \right)$$

$$R = \frac{30}{18,84} \left(\ln \frac{6}{0,138} \right)$$

$$R = 1,59 (\ln 43,478)$$

$$R = 1,59 \times 3,772$$

$$R = 5,99\Omega$$

Dan untuk perhitungan tahanan pentanahan menara nomor 24, 26 dan 27 yang terletak pada tanah ladang dengan menggunakan *ground rood* berjumlah 3 buah batang elektroda dengan jarak tiap elektroda 1m, dihitung menggunakan persamaan (3) dan (10).

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

$$R = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 3} \left(\ln \frac{2 \times 3}{\sqrt{a^2 r}} \right)$$

$$R = \frac{100}{18,84} \left(\ln \frac{6}{\sqrt[3]{1^2 \times 0,01905}} \right)$$

$$R = \frac{100}{18,84} \left(\ln \frac{6}{\sqrt[3]{0,01905}} \right)$$

$$R = \frac{100}{18,84} \left(\ln \frac{6}{0,267} \right)$$

$$R = 5,3 (\ln 22,47)$$

$$R = 5,3 \times 3,112$$

$$R = 16,49\Omega$$

Dari perhitungan menara 22 sampai dengan menara 27 dimasukkan dalam tabel bersama dengan nilai pengukuran, pada tabel 4.

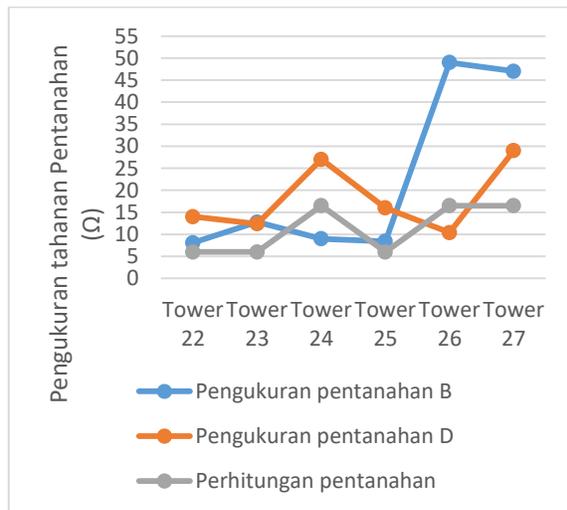
Tabel 4. Nilai pengukuran dan perhitungan

No Tower	Pengukuran pentanahan (Ω)		Perhitungan pentanahan (Ω)
	B	D	
22	8,1	14	5,99
23	12,8	12,4	5,99
24	9	27	16,49
25	8,4	16	5,99
26	49	10,4	16,49
27	47	29	16,49

Dari tabel 4 dapat diketahui pada menara nomor 22 pada kaki D dengan nilai pengukuran pentanahan 14 Ω jauh dari nilai perhitungan yaitu 5,99 Ω . Pada pengukuran menara nomor 23 pada kaki B nilai pentanahannya 12,8 Ω sedangkan nilai perhitungannya 5,99 Ω . Kemudian pada menara nomor 24 pada kaki D dengan nilai pengukuran 27 Ω sedangkan nilai perhitungannya 16,49 Ω , menara nomor 25 nilai pentanahan pada kaki D dengan nilai

pengukuran 16Ω dan nilai perhitungannya $5,99\Omega$. Dan pada pengukuran menara nomor 26 nilai pentanahan pada kaki B nilai pengukurannya 49Ω sedangkan nilai perhitungannya $16,49\Omega$, kemudian pada menara nomor 27 pada pengukuran kaki B dengan nilai pengukuran 47Ω dan nilai perhitungannya $16,49\Omega$.

Dari tabel 4 dimasukkan ke dalam sebuah grafik dan didapatkan hasil seperti gambar 4.



Gambar 4. Grafik pengukuran pentanahan pada kaki B dan D terhadap perhitungan

C. Pengujian Sampel Tanah

Pengujian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui jenis dan parameter tanah pada menara yang mempunyai nilai tahanan melebihi standar yang diberlakukan. Parameter yang diuji antara lain jenis tanah, pH tanah, kadar air asli tanah dan daya hantar listrik tanah. Dari hasil pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui secara lebih detail bahwa kondisi tanah sangat mempengaruhi nilai pentanahan dimana setiap tanah memiliki kandungan yang berbeda-beda. Karena jika tanah pada kondisi yang kering atau kadar airnya kurang, maka tahanan jenis tanah terpengaruh oleh kondisi tersebut. Hasil pengujian tanah ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian sampel tanah

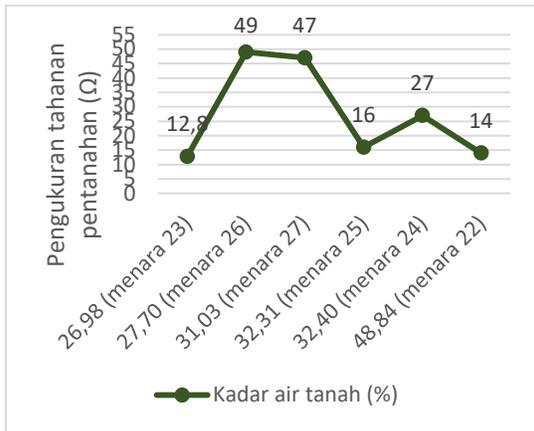
No	Menara	Kadar air (asli)	pH (1:5)	DHL (1:5)
		%	H_2O	μS
1	22D	48,84	6,87	2,64
2	23B	26,98	6,49	2,05
3	24D	32,40	6,35	2,29
4	25D	32,31	6,33	1,20
5	26B	27,70	6,42	1,00
6	27B	31,03	6,00	1,77

Kemudian nilai pengukuran, perhitungan dan kadar air tanah dimasukkan kedalam tabel 6 untuk mengetahui pengaruh perbedaan kadar air terhadap nilai pentanahan.

Tabel 6. Nilai pengukuran, perhitungan, dan kadar air tanah

No Tower	Pengukuran pentanahan (Ω)		Perhitungan pentanahan (Ω)	Kadar air (%)
	B	D		
22	8,1	14	5,99	48,84
23	12,8	12,4	5,99	26,98
24	9	27	16,49	32,40
25	8,4	16	5,99	32,31
26	49	10,4	16,49	27,70
27	47	29	16,49	31,03

Dari tabel 6 diketahui bahwa pada menara nomor 22 kadar airnya $48,84\%$ dengan nilai pengukuran pentanahan tertinggi 14Ω , pada menara nomor 23 kadar airnya $26,98\%$ dengan nilai pengukuran tertinggi $12,8\Omega$, kemudian pada menara nomor 24 kadar airnya $32,40\%$ dengan nilai pengukuran pentanahan tertinggi 27Ω . Pada menara nomor 25 kadar airnya $32,31\%$ dengan nilai pengukuran pentanahan tertinggi 16Ω , kemudian pada menara nomor 26 kadar airnya $27,70\%$ dengan nilai pengukuran pentanahan tertinggi 49Ω , dan pada menara nomor 27 nilai kadar airnya $31,03\%$ dengan nilai pengukuran pentanahan tertinggi 49Ω .



Gambar 5. Grafik nilai kadar air terhadap pengukuran tahanan pentanahan

D. Analisa Perbaikan

Untuk mengecilkan nilai pentanahan, analisa perbaikan yang dilakukan yaitu dengan cara menambah jumlah elektroda batang yang semula pada tanah sawah berjumlah 2 buah menjadi 3 buah dan pada tanah ladang berjumlah 3 buah menjadi 4 buah, dengan panjang elektroda yang semula 3 meter menjadi 5 meter dengan diameter 0,0381m, kemudian jarak penanaman elektroda dirubah dari semula 1 meter menjadi 3 meter, elektroda yang digunakan adalah berbahan tembaga murni agar tidak terpengaruhi oleh pH pada tanah yang dapat menyebabkan korosi. Dari perhitungan yang dilakukan diharapkan mampu mereduksi atau mengecilkan nilai pentanahan.

Untuk perhitungan tahanan menara terletak pada tanah sawah dengan menggunakan 3 batang elektroda, dengan panjang elektroda 5 meter dan jarak penanaman 3 meter, dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan (10).

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

$$R = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 5} \left(\ln \frac{2 \times 5}{\sqrt[3]{a^2 r}} \right)$$

$$R = \frac{30}{31,4} \left(\ln \frac{10}{\sqrt[3]{3^2 \times 0,01905}} \right)$$

$$R = \frac{30}{31,4} \left(\ln \frac{10}{\sqrt[3]{0,17145}} \right)$$

$$R = \frac{30}{31,4} \left(\ln \frac{10}{0,555} \right)$$

$$R = 0,955 (\ln 18,018)$$

$$R = 0,955 \times 2,891$$

$$R = 2,76\Omega$$

Untuk perhitungan tahanan menara terletak pada tanah ladang dengan menggunakan 4 batang elektroda, dengan panjang elektroda 5 meter dan jarak penanaman 3 meter, dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan (11).

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

$$R = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 5} \left(\ln \frac{2 \times 5}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} a^3 r}} \right)$$

$$R = \frac{100}{31,4} \left(\ln \frac{10}{\sqrt[4]{2 \frac{1}{2} \times 3 \times 3 \times 3 \times 0,01905}} \right)$$

$$R = 3,184 \left(\ln \frac{10}{\sqrt[4]{0,514}} \right)$$

$$R = 3,184 \left(\ln \frac{10}{0,846} \right)$$

$$R = 3,184 (\ln 11,82)$$

$$R = 3,184 \times 2,469$$

$$R = 7,86\Omega$$

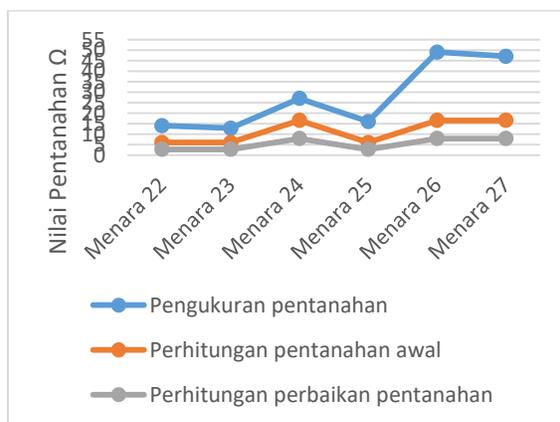
Dari analisa perbaikan diketahui dengan menambahkan panjang dari elektroda dan jarak penanaman dari elektroda dapat mereduksi atau mengecilkan nilai tahanan pentanahan secara perhitungan, walaupun pada menara yang berada di tanah ladang nilainya diatas 5Ω yaitu 7,86Ω namun nilai ini masih dianggap sedang karena pada tanah yang kondisinya

kering nilai maksimal yang diijinkan adalah 10 Ω . Kemudian nilai perhitungan perbaikan diatas dimasukkan kedalam tabel 7 untuk dibandingkan antara perhitungan awal dengan perhitungan perbaikan.

Tabel 7. Perbandingan perhitungan pentanahan terhadap nilai pengukuran

No	Perhitungan awal (Ω)	Perhitungan perbaikan (Ω)	Persentase penurunan (%)
22	5,99	2,76	53,92
23	5,99	2,76	53,92
24	16,49	7,86	52,33
25	5,99	7,86	52,33
26	16,49	2,76	53,92
27	16,49	7,86	52,33

Dari table 7, dapat diketahui bahwa perbandingan antara perhitungan awal dengan perhitungan perbaikan memiliki perbedaan yang cukup besar, ini menandakan bahwa penambahan jumlah batang elektroda, jarak antar elektroda dan panjang elektroda sangat efektif dan berpengaruh terhadap nilai pentanahan.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan nilai pengukuran terhadap nilai perhitungan

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan pengambilan data mengenai sistem pentanahan pada kaki menara SUTT Trans-JBT APP Salatiga Basecamp Yogyakarta, jalur transmisi Pedan-Kentungan didapatkan kesimpulan:

1. Jenis pentanahan yang digunakan pada kaki menara SUTT jaringan transmisi Pedan-Kentungan adalah *ground rod* dengan menanam elektroda batang kedalam tanah yang terhubung dengan kaki menara.
2. Terdapat 9 menara yang diukur nilai tahanan pentanahan nya, terdapat 6 menara dalam kondisi melebihi nilai yang diijinkan yaitu melebihi 5 Ω atau dalam kondisi buruk, serta 1 menara dalam kondisi sedang dengan nilai tahanan 5,9 Ω , dan 2 menara dengan nilai dibawah 5 Ω di nilai baik.
3. Pada menara 22 dengan nilai tahanan 14 Ω , menara 23 dengan nilai tahanan 12,8 Ω tergolong dalam kondisi buruk, kemudian pada menara 24 dengan nilai tahanan 27 Ω dan menara 25 dengan nilai tahanan 16 Ω lebih tinggi dari menara 22 dan 23, nilai tahanan menara 26 dengan nilai tahanan 49 Ω serta menara 27 dengan nilai tahanan 47 Ω termasuk nilai tahanan yang sangat besar dan dapat merusak atau membahayakan peralatan.
4. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tahanan pentanahan, diantaranya tahanan jenis elektroda yang digunakan, spesifikasi pentanahan seperti kedalaman elektroda, jarak penanaman elektroda dan faktor dari kondisi tanah atau kelembaban tanah.
5. Pada kondisi tanah lembab, nilai tahanan pentanahan akan lebih kecil bila dibandingkan dengan tanah yang kering, hal ini bisa dilihat dari menara nomor 25 dengan menara nomor 26, dimana pada menara 25 dengan kadar air 32,31% didapatkan nilai pengukuran pentanahan 16 Ω dan pada menara 26 dengan kadar air 27,70% didapatkan nilai pengukuran pentanahan 49 Ω .

B. Saran

Dari penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa point dari penulis yang menjadi saran seperti berikut:

1. Pada saat melakukan pengukuran tahanan pentanahan harus dipastikan kaki menara dan kawat ACSR dalam kondisi bersih.
2. Harus sangat memperhatikan ketepatan waktu penelitian atau pengambilan data, dikarenakan pemeliharaan atau pengukuran yang dilakukan PT. PLN (Persero) tidak dilaksanakan sewaktu-waktu. Agar mendapatkan data yang kita inginkan dan bisa ikut langsung dalam pemeliharaan atau pengukuran yang dilakukan PT. PLN (Persero). Dan juga memperhatikan waktu pengambilan sample tanah, jangan berjarak terlalu lama dari waktu pengukuran, karna kadar air dan pH pada tanah bisa berubah sewaktu-waktu.
3. Perlu dilakukannya perbaikan terhadap pentanahan kaki menara jaringan transmisi pedan-kentungan pada menara nomor 22D, 23B, 24D, 25D, 26B dan 27B. Perbaikan berupa penggantian seluruh komponen yang berhubungan dengan elektroda, dimana elektroda yang semula dengan panjang 3 meter diganti dengan elektroda dengan panjang 5 meter, kemudian jarak penanaman elektroda nya pun diubah yang semula 1 meter menjadi 3 meter.
4. Agar elektroda tidak mudah mengalami korosi maka elektroda yang digunakan hendaknya berbahan tembaga murni, karena elektroda berbahan tembaga murni lebih tahan terhadap pH atau keasaman yang bisa menyebabkan korosi dibandingkan dengan elektroda berbahan besi, dikhawatirkan jika berbahan besi elektroda tidak bekerja dengan maksimal.
5. Perlu ditambahkannya pemeliharaan sistem pentanahan pada kaki menara SUTT jaringan transmisi pedan-kentungan, yang tadinya 1x dalam 1 tahun ditambah menjadi 2x dalam 1 tahun, agar tahanan pentanahan tidak melebihi standar yang telah ditentukan.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Pada penelitian ini penulis mengucapkan Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. PLN (Persero) APP Salatiga, Gardu Induk Kentungan, Basecamp Yogyakarta, khususnya kepada staf dan karyawan yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di saluran transmisi 150kv pedan-kentungan, bapak Slamet Hani, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pertama, bapak Mujiman, S.T., M.T selaku dosen pembimbing kedua, dan keluarga penulis yang telah memberikan semangat dan motivasinya, dan seluruh pihak yang telah membantu dalam melancarkan penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu per-satu.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Amrulloh, I. (2017). *Analisis Keandalan Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Di Jaringan Transmisi 150KV Gardu Induk Bantul-Wates*. Yogyakarta: Teknik Elektro IST AKPRIND .
- Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT/SUTET)*. (2010). Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Hutauruk. (1999). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- I Wayan Sudiarta, I. K. (2016). Analisis Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Besarnya Nilai Tahanan Pentanahan. *JURNAL LOGIC*.
- IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System. (1972).

- IEEE Std. 142-1972 (IEEE Green Book).
- Ija Darmana, D. O. (2016). Implementasi Sistem Pentanahan Grid Pada Tower Transmisi 150 KV (Aplikasi Pada Tower SUTT 150 KV Tower 33). *Jurnal Ipteks Terapan*.
- Kusuma, D. S. (2016). Analisa Perbedaan Tahanan Tanah Di Musim Hujan dan Musim Kemarau Pada Jaringan Tegangan Rendah Di Daerah Bukit Tinggi. *Menara Ilmu*.
- Marsudi, D. (2016). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Noviyanto, P. (2016). *Analisa Sistem Pentanahan (Grounding) Pada SUTT/SUTET di Gardu Induk 150 KV Bantul-Klaten*. Yogyakarta: Teknik Elektro IST AKPRIND.
- Persyaratan Umum Instalasi (PUIL)*. (2000). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Rajagukguk, M. (2012). Studi Pengaruh Jenis Tanah dan Kedalaman Pembumian Driven Rod terhadap Resistansi Jenis Tanah. *Vokasi*, 121-132.
- Suyanto, M. (2007). Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150KV Bantul-Semanu Jogjakarta. *Jurnal Academia Ista ISSN 1410-5829*.
- Suyanto, M. (2012). Pengaruh Porositas Tanah Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Saluran Transmisi 150KV. *SNAST Periode III ISSN 1979-911X*.
- Syafriyudin. (2012). *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Akprind Press.