

Pola Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Sekarputih – Ngoro

Bambang Minto Basuki¹, Adi Noerhamsyah²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, Indonesia

Alamat : Jl. M.T. Haryono 193 Malang, Jawa Timur, Indonesia

Korespondensi Penulis : bambangmintob@gmail.com

Abstract The electrode rods in the grounding system of the High Voltage transmission tower that are embedded in the ground will experience changes in grounding resistance values over time. If the grounding resistance value increases and exceeds the set standard, which is $<10\ \Omega$, then immediate repairs need to be made. This research was conducted on the 150 kV High Voltage transmission tower from Sekarputih to Ngoro using the Earth Tester tool. The purpose of this study was to find the right method to improve grounding resistance on the 150 kV High Voltage tower that has high impedance to comply with the standard. The results of measurements in the field showed that there were 3 towers with high grounding resistance values, which exceeded $<10\ \Omega$, which required immediate repairs.

Key Words : High Voltage , Ngoro, grounding resistance, electrode rod, tower

Abstrak Batang elektroda pada sistem pentanahan tower transmisi Tegangan Tinggi yang ditanam dalam tanah akan mengalami perubahan nilai tahanan pentanahan seiring berjalannya waktu. Jika nilai tahanan pentanahan meningkat dan melebihi standar yang ditetapkan, yaitu $<10\ \Omega$, maka perlu dilakukan perbaikan segera. Penelitian ini dilakukan pada tower transmisi Tegangan Tinggi 150 kV dari Sekarputih hingga Ngoro dengan menggunakan alat Earth Tester. Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan metode yang tepat dalam memperbaiki tahanan pentanahan pada tower Tegangan Tinggi 150 kV yang memiliki impedansi tinggi agar sesuai dengan standar. Hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa terdapat 3 tower dengan nilai tahanan pentanahan yang tinggi, yaitu melebihi $<10\ \Omega$, yang memerlukan perbaikan segera.

Kata kunci : tahanan pentanahan, batang elektroda, tower, SUTT

1. PENDAHULUAN

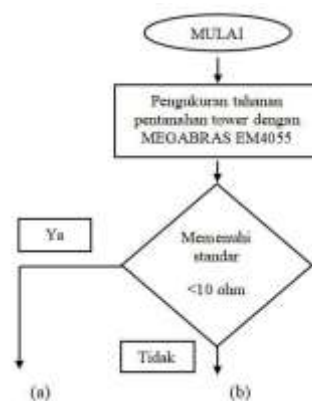
Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV yang menghubungkan GI Ngoro dan GI Sekarputih memainkan peran penting dalam menyalurkan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik seperti PLTU Paiton atau Grati melalui jalur SUTT Sekarputih - Ngoro. Energi listrik yang disalurkan dari kedua pembangkit ini mencapai 180 MW untuk memenuhi kebutuhan konsumen di GI Ngoro. Jika terjadi kegagalan pada sistem proteksi transmisi, hal ini dapat menyebabkan pemadaman yang meluas akibat berfungsinya OLS dan UFR. GI Ngoro merupakan jenis Gardu Induk Radial yang bergantung pada aliran energi dari SUTT Sekarputih - Ngoro. Oleh karena itu, keandalan SUTT Sekarputih - Ngoro harus selalu terjaga, salah satunya dengan memastikan sistem pentanahan pada tower yang menopang saluran tersebut dalam kondisi baik. SUTT Sekarputih - Ngoro memiliki panjang saluran transmisi sekitar 21,4 km, didukung oleh 71 tower, dan merupakan jaringan transmisi sirkit ganda (double circuit), di mana setiap tower terdiri dari dua penghantar.

Umumnya, saluran transmisi listrik menggunakan saluran udara terbuka yang dikenal sebagai SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) atau SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi). Di Indonesia, SUTT beroperasi pada tegangan 70 dan 150 kV, sedangkan SUTET menggunakan tegangan 500 kV. Tujuan utama dari pembangunan SUTT/SUTET adalah untuk meminimalkan penurunan tegangan pada penampang kawat sehingga operasi jaringan menjadi lebih efektif dan efisien.

Pentanahan pada tower SUTT 150 kV memiliki peran yang sangat vital dalam menjaga keamanan operasional sistem tenaga listrik, karena tidak hanya melindungi peralatan listrik dari kerusakan akibat gangguan seperti lonjakan arus atau hubung singkat, tetapi juga berfungsi sebagai perlindungan bagi manusia yang berada di sekitar area gangguan dengan cara mengalirkan arus gangguan tersebut ke dalam tanah. Agar perlindungan ini efektif, nilai tahanan pentanahan pada tower SUTT 150 kV harus sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan, yakni tidak boleh lebih dari 10 ohm. Semakin kecil nilai tahanan pentanahan yang dimiliki oleh sebuah tower SUTT, semakin cepat arus gangguan yang diakibatkan oleh faktor eksternal seperti petir atau kegagalan sistem dapat dialirkan ke tanah, sehingga risiko kerusakan dan bahaya dapat diminimalkan. Namun, seiring berjalannya waktu, elektroda yang ditanam di dalam tanah dapat mengalami perubahan nilai tahanan pentanahan yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi tanah dan usia elektroda itu sendiri. Jika nilai tahanan ini meningkat dan melebihi standar yang diperbolehkan, maka tindakan perbaikan harus segera dilakukan untuk mengembalikan performa sistem ke kondisi optimal. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengukuran secara berkala serta evaluasi.

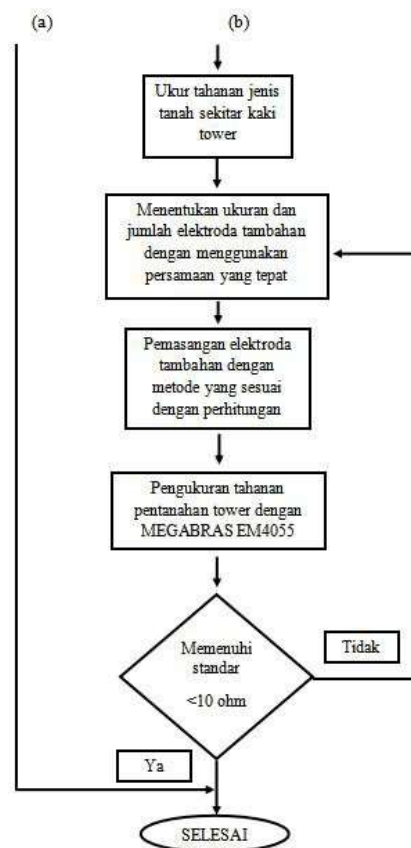
2. METODE PENELITIAN

1. Bagan Alur Penelitian



Bagan 1

2. Langkah - Langkah Penelitian



Bagan 2

Langkah langkah penelitian yang dilakukan sesuai dengan bag, an alurantara lain sebagai berikut:

1. Lakukan pengukuran nilai pentanahan dari tower SUTT 150 kV transmisi Sekarputih - Ngoro dengan *earth tester*.
2. Analisis data yang diperoleh dari hasil pengukuran dan menentukan tower yang harus diperbaiki.
3. lakukan pengukuran nilai tahanan jenis tanah pada tanah sekitar tower yang nilai impedansi pentanahan tinggi.
4. Hitung dan analisis ukuran dan jumlah elektroda tambahan.
5. lakukan pemasangan elektroda tambahan tower SUTT yang akan diperbaiki.
6. Setelah perbaikan,lakukan pengukuran jika sudah sesuai dengan standart yang ditentukan (<10 ohm) maka perbaikan berhasil, tetapi jika belum sesuai dengan standar yang ditentukan maka ada kesalahan dalam perhitungan, harus kembali lagi kelangkah 4, sampai hasil pengukuran tahanan pentanahan sesuai dengan standar yang ditentukan.

3. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan pada sistem pentanahan yang menggunakan elektroda batang

1. Penanaman Satu Batang Elektroda yang Ditanam Secara Tegak Lurus ke dalam Tanah

Metode dengan menggunakan batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus dekat dengan permukaan tanah

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

Metode dengan menggunakan batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{r} - 1 \right)$$

2. Penanaman Dua Batang Elektroda yang Ditanam Secara Tegak Lurus ke dalam Tanah

- Untuk $S < L$, yaitu :

$$R = \frac{37,2}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right)$$

- Untuk $S > L$, yaitu :

$$R = \frac{37,2}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right) + \frac{37,2}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right)$$

3. Penanaman Tiga batang elektroda ditanam Secara tegak lurus ke dalam tanah dengan membentuk segitiga

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left(\ln \frac{2L}{\sqrt[3]{a^2 r}} \right)$$

4. Penanaman Empat batang elektroda ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segiempat

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L} \right) \left(\ln \frac{2L}{\sqrt[4]{\frac{1}{2}a^3 r}} \right)$$

dimana:

R = Tahanan dari satu batang elektroda (Ω)

ρ = Tahanan jenis lapisan ($\Omega\text{-m}$) L = panjang ground rod (m)

S = Jarak penanaman antara kedua elektroda

(m)

d = Diameter ground rod (m)

a = Jarak antara ground rod (m)

r = Jari-jari batang elektroda (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Nilai Tahanan Jenis

Tabel 1 Hasil pengukuran tahanan jenis tanah dari tower yang memiliki nilai tahanan pentanahan tinggi

No	No. Tower	Type Tower	Nilai Tahanan Jenis Pentah ($\Omega\text{-m}$)	Kondisi Tanah Tapak Tower
1	36	Penyangga	37,2	Kering
2	49	Penyangga	40,3	Kering
3	61	Penyangga	25,7	Kering

2. Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan

Menggunakan Elektroda Batang

1. Tower 36

Tabel 2 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
				0,0085	0,011	0,013	0,016
				(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	3,14	30,530	29,003	28,013	26,783
2	37,2	1,5	3,14	21,955	20,936	20,277	19,457
3	37,2	2	3,14	17,318	16,554	16,060	15,445
4	37,2	2,5	3,14	14,383	13,772	13,376	12,884
5	37,2	3	3,14	12,346	11,837	11,507	11,097
6	37,2	3,5	3,14	10,843	10,407	10,124	9,773
7	37,2	4	3,14	9,685	9,304	9,056	8,749
8	37,2	4,5	3,14	8,764	8,425	8,205	7,932
9	37,2	5	3,14	8,013	7,707	7,509	7,263
10	37,2	5,5	3,14	7,387	7,109	6,929	6,706
11	37,2	6	3,14	6,857	6,603	6,438	6,233
12	37,2	6,5	3,14	6,403	6,168	6,016	5,826
13	37,2	7	3,14	6,008	5,790	5,649	5,473
14	37,2	7,5	3,14	5,662	5,458	5,326	5,162

Tabel 3 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus dekat dengan permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
				0,0085	0,011	0,013	0,016
				(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	3,14	26,424	24,897	23,907	22,677
2	37,2	1,5	3,14	19,217	18,199	17,539	16,719
3	37,2	2	3,14	15,265	14,501	14,007	13,392
4	37,2	2,5	3,14	12,741	12,130	11,734	11,242
5	37,2	3	3,14	10,977	10,468	10,138	9,728
6	37,2	3,5	3,14	9,670	9,234	8,951	8,599
7	37,2	4	3,14	8,659	8,277	8,030	7,722
8	37,2	4,5	3,14	7,852	7,513	7,293	7,019
9	37,2	5	3,14	7,192	6,886	6,688	6,442
10	37,2	5,5	3,14	6,640	6,363	6,183	5,959
11	37,2	6	3,14	6,173	5,918	5,753	5,548
12	37,2	6,5	3,14	5,771	5,536	5,384	5,195
13	37,2	7	3,14	5,422	5,203	5,062	4,886

Tabel 4 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan Metode menggunakan batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
				0,0085	0,011	0,013	0,016
				(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	3,14	26,424	24,897	23,907	22,677
2	37,2	1,5	3,14	19,217	18,199	17,539	16,719
3	37,2	2	3,14	15,265	14,501	14,007	13,392
4	37,2	2,5	3,14	12,741	12,130	11,734	11,242
5	37,2	3	3,14	10,977	10,468	10,138	9,728
6	37,2	3,5	3,14	9,670	9,234	8,951	8,599
7	37,2	4	3,14	8,659	8,277	8,030	7,722
8	37,2	4,5	3,14	7,852	7,513	7,293	7,019
9	37,2	5	3,14	7,192	6,886	6,688	6,442
10	37,2	5,5	3,14	6,640	6,363	6,183	5,959
11	37,2	6	3,14	6,173	5,918	5,753	5,548
12	37,2	6,5	3,14	5,771	5,536	5,384	5,195
13	37,2	7	3,14	5,422	5,203	5,062	4,886

Tabel 5 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S < L$) dengan $S = 1$ meter

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1,5	1	3,14	13,145	12,636	12,306	11,896
2	37,2	2	1	3,14	10,605	10,223	9,976	9,668
3	37,2	2,5	1	3,14	8,960	8,654	8,457	8,211
4	37,2	3	1	3,14	7,797	7,542	7,377	7,172
5	37,2	3,5	1	3,14	6,925	6,707	6,566	6,390
6	37,2	4	1	3,14	6,245	6,054	5,930	5,777
7	37,2	4,5	1	3,14	5,697	5,528	5,418	5,281
8	37,2	5	1	3,14	5,246	5,094	4,995	4,872
9	37,2	5,5	1	3,14	4,867	4,729	4,639	4,527
10	37,2	6	1	3,14	4,544	4,417	4,334	4,232
11	37,2	6,5	1	3,14	4,265	4,147	4,071	3,976
12	37,2	7	1	3,14	4,021	3,911	3,841	3,753
13	37,2	7,5	1	3,14	3,805	3,703	3,637	3,555

Tabel 6 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah($S < L$) dengan $S = 2$ meter

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	2	3,14	16,670	15,906	15,412	14,797
2	37,2	1,5	2	3,14	12,281	11,772	11,442	11,032
3	37,2	2	2	3,14	9,882	9,500	9,253	8,945
4	37,2	2,5	2	3,14	8,341	8,036	7,838	7,592
5	37,2	3	2	3,14	7,257	7,002	6,837	6,632
6	37,2	3,5	2	3,14	6,447	6,228	6,087	5,911
7	37,2	4	2	3,14	5,816	5,625	5,501	5,347
8	37,2	4,5	2	3,14	5,308	5,139	5,029	4,892
9	37,2	5	2	3,14	4,891	4,738	4,639	4,516
10	37,2	5,5	2	3,14	4,540	4,401	4,311	4,199
11	37,2	6	2	3,14	4,240	4,113	4,031	3,928
12	37,2	6,5	2	3,14	3,982	3,864	3,788	3,694
13	37,2	7	2	3,14	3,756	3,647	3,576	3,488

Tabel 7 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah($S > L$)

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	1,5	3,14	17,103	16,339	15,845	15,230
2	37,2	1,5	2	3,14	12,368	11,859	11,529	11,119
3	37,2	2	2,5	3,14	9,785	9,403	9,156	8,848
4	37,2	2,5	3	3,14	8,141	7,835	7,637	7,391
5	37,2	3	3,5	3,14	6,995	6,740	6,575	6,370
6	37,2	3,5	4	3,14	6,147	5,928	5,787	5,611
7	37,2	4	4,5	3,14	5,492	5,301	5,177	5,024
8	37,2	4,5	5	3,14	4,970	4,800	4,690	4,554
9	37,2	5	5,5	3,14	4,544	4,391	4,292	4,169
10	37,2	5,5	6	3,14	4,188	4,049	3,959	3,848
11	37,2	6	6,5	3,14	3,887	3,760	3,677	3,575
12	37,2	6,5	7	3,14	3,629	3,511	3,435	3,340
13	37,2	7	7,5	3,14	3,404	3,295	3,224	3,137

Tabel 8 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan tiga batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segitiga

No	ρ	L	a	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,0085	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	4	3,14	8,045	7,536	7,206	6,796
2	37,2	1,5	4	3,14	6,965	6,625	6,405	6,132
3	37,2	2	4	3,14	6,076	5,821	5,656	5,451
4	37,2	2,5	4	3,14	5,389	5,186	5,054	4,890
5	37,2	3	4	3,14	4,851	4,681	4,571	4,435
6	37,2	3,5	4	3,14	4,419	4,273	4,179	4,062
7	37,2	4	4	3,14	4,064	3,937	3,855	3,752
8	37,2	4,5	4	3,14	3,768	3,655	3,581	3,490
9	37,2	5	4	3,14	3,516	3,414	3,348	3,266
10	37,2	5,5	4	3,14	3,299	3,206	3,146	3,072
11	37,2	6	4	3,14	3,110	3,025	2,970	2,902
12	37,2	6,5	4	3,14	2,944	2,865	2,814	2,751
13	37,2	7	4	3,14	2,796	2,723	2,676	2,618

Tabel 9 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 36 dengan metode menggunakan empat batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segiempat

No	ρ	L	a	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	37,2	1	4	3,14	5,007	4,626	4,378	4,071
2	37,2	1,5	4	3,14	4,940	4,685	4,520	4,315
3	37,2	2	4	3,14	4,557	4,366	4,242	4,088
4	37,2	2,5	4	3,14	4,174	4,021	3,922	3,799
5	37,2	3	4	3,14	3,838	3,711	3,629	3,526
6	37,2	3,5	4	3,14	3,551	3,442	3,371	3,283
7	37,2	4	4	3,14	3,305	3,209	3,148	3,071
8	37,2	4,5	4	3,14	3,093	3,008	2,953	2,885
9	37,2	5	4	3,14	2,908	2,832	2,782	2,721
10	37,2	5,5	4	3,14	2,746	2,677	2,632	2,576
11	37,2	6	4	3,14	2,604	2,540	2,499	2,447
12	37,2	6,5	4	3,14	2,476	2,417	2,379	2,332
13	37,2	7	4	3,14	2,362	2,307	2,272	2,228
13	37,2	7,5	4	3,14	2,249	2,208	2,175	2,134

2. Tower 49

Tabel 10 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 49 dengan metode menggunakan satu batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus dekat permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				r =	r =	r =	r =
				0,0085 (m)	0,011 (m)	0,013 (m)	0,016 (m)
1	40,3	1	3,14	33,074	31,420	30,348	29,015
2	40,3	1,5	3,14	23,784	22,681	21,966	21,078
3	40,3	2	3,14	18,761	17,934	17,398	16,732
4	40,3	2,5	3,14	15,582	14,920	14,491	13,958
5	40,3	3	3,14	13,375	12,823	12,466	12,022
6	40,3	3,5	3,14	11,747	11,274	10,968	10,587
7	40,3	4	3,14	10,493	10,079	9,811	9,478
8	40,3	4,5	3,14	9,495	9,127	8,889	8,593
9	40,3	5	3,14	8,680	8,350	8,135	7,869
10	40,3	5,5	3,14	8,003	7,702	7,507	7,265
11	40,3	6	3,14	7,429	7,153	6,974	6,752
12	40,3	6,5	3,14	6,936	6,682	6,517	6,312
13	40,3	7	3,14	6,509	6,272	6,119	5,929
14	40,3	7,5	3,14	6,134	5,913	5,770	5,593

Tabel 11 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan satu batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				r =	r =	r =	r =
				0,0085 (m)	0,011 (m)	0,013 (m)	0,016 (m)
1	40,3	1	3,14	28,626	26,972	25,900	24,567
2	40,3	1,5	3,14	20,819	19,716	19,001	18,113
3	40,3	2	3,14	16,537	15,710	15,174	14,508
4	40,3	2,5	3,14	13,802	13,141	12,712	12,179
5	40,3	3	3,14	11,892	11,341	10,983	10,539
6	40,3	3,5	3,14	10,476	10,003	9,697	9,316
7	40,3	4	3,14	9,381	8,967	8,699	8,366
8	40,3	4,5	3,14	8,506	8,139	7,900	7,604
9	40,3	5	3,14	7,791	7,460	7,246	6,979
10	40,3	5,5	3,14	7,194	6,893	6,698	6,456
11	40,3	6	3,14	6,687	6,412	6,233	6,011
12	40,3	6,5	3,14	6,252	5,997	5,832	5,628
13	40,3	7	3,14	5,873	5,637	5,484	5,293

Tabel 12 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S < L$) dengan $S = 1$ meter

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	40,3	1,5	1	3,14	14,240	13,689	13,331	12,887
2	40,3	2	1	3,14	11,488	11,075	10,807	10,474
3	40,3	2,5	1	3,14	9,707	9,376	9,161	8,895
4	40,3	3	1	3,14	8,446	8,171	7,992	7,770
5	40,3	3,5	1	3,14	7,502	7,266	7,113	6,922
6	40,3	4	1	3,14	6,765	6,558	6,424	6,258
7	40,3	4,5	1	3,14	6,172	5,988	5,869	5,721
8	40,3	5	1	3,14	5,683	5,518	5,411	5,278
9	40,3	5,5	1	3,14	5,273	5,123	5,025	4,904
10	40,3	6	1	3,14	4,923	4,785	4,696	4,584
11	40,3	6,5	1	3,14	4,620	4,493	4,410	4,308
12	40,3	7	1	3,14	4,356	4,237	4,161	4,066
13	40,3	7,5	1	3,14	4,122	4,012	3,940	3,852

Tabel 13 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S < L$) dengan $S = 2$ meter

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	40,3	1	2	3,14	18,059	17,232	16,696	16,030
2	40,3	1,5	2	3,14	13,305	12,753	12,396	11,952
3	40,3	2	2	3,14	10,705	10,292	10,024	9,691
4	40,3	2,5	2	3,14	9,036	8,705	8,491	8,224
5	40,3	3	2	3,14	7,861	7,586	7,407	7,185
6	40,3	3,5	2	3,14	6,984	6,748	6,504	6,404
7	40,3	4	2	3,14	6,300	6,093	5,950	5,793
8	40,3	4,5	2	3,14	5,751	5,567	5,448	5,300
9	40,3	5	2	3,14	5,298	5,133	5,025	4,892
10	40,3	5,5	2	3,14	4,918	4,768	4,670	4,549
11	40,3	6	2	3,14	4,594	4,456	4,367	4,256
12	40,3	6,5	2	3,14	4,314	4,186	4,104	4,001
13	40,3	7	2	3,14	4,069	3,951	3,874	3,779

Tabel 14 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S > L$)

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	40,3	1	1,5	3,14	18,528	17,701	17,165	16,499
2	40,3	1,5	2	3,14	13,399	12,847	12,490	12,046
3	40,3	2	2,5	3,14	10,600	10,187	9,919	9,586
4	40,3	2,5	3	3,14	8,819	8,488	8,274	8,007
5	40,3	3	3,5	3,14	7,578	7,302	7,123	6,901
6	40,3	3,5	4	3,14	6,659	6,422	6,269	6,079
7	40,3	4	4,5	3,14	5,950	5,743	5,609	5,442
8	40,3	4,5	5	3,14	5,384	5,200	5,081	4,933
9	40,3	5	5,5	3,14	4,922	4,757	4,650	4,516
10	40,3	5,5	6	3,14	4,537	4,387	4,289	4,168
11	40,3	6	6,5	3,14	4,211	4,073	3,984	3,873
12	40,3	6,5	7	3,14	3,931	3,804	3,721	3,619
13	40,3	7	7,5	3,14	3,688	3,570	3,493	3,398

Tabel 15 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan tiga batang elektroda yang secara ditanam tegak lurus ke dalam tanah membentuk segitiga

No	p	L	n	π	Tahanan Pentanahan			
					r=	r=	r=	r=
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	40,3	1	4	3,14	8,716	8,164	7,807	7,363
2	40,3	1,5	4	3,14	7,545	7,177	6,939	6,643
3	40,3	2	4	3,14	6,582	6,306	6,127	5,905
4	40,3	2,5	4	3,14	5,838	5,618	5,475	5,297
5	40,3	3	4	3,14	5,255	5,071	4,952	4,804
6	40,3	3,5	4	3,14	4,787	4,630	4,527	4,401
7	40,3	4	4	3,14	4,403	4,265	4,176	4,065
8	40,3	4,5	4	3,14	4,082	3,959	3,880	3,781
9	40,3	5	4	3,14	3,809	3,698	3,627	3,538
10	40,3	5,5	4	3,14	3,574	3,473	3,408	3,328
11	40,3	6	4	3,14	3,369	3,277	3,217	3,143
12	40,3	6,5	4	3,14	3,189	3,104	3,049	2,981
13	40,3	7	4	3,14	3,029	2,950	2,899	2,836

Tabel 16 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.49 dengan metode menggunakan empat batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segiempat

No	p	L	n	π	Tahanan Pentanahan			
					r=	r=	r=	r=
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	40,3	1	4	3,14	5,425	5,011	4,743	4,410
2	40,3	1,5	4	3,14	5,351	5,075	4,897	4,675
3	40,3	2	4	3,14	4,936	4,730	4,596	4,429
4	40,3	2,5	4	3,14	4,522	4,356	4,249	4,116
5	40,3	3	4	3,14	4,158	4,020	3,931	3,820
6	40,3	3,5	4	3,14	3,847	3,729	3,652	3,557
7	40,3	4	4	3,14	3,580	3,477	3,410	3,327
8	40,3	4,5	4	3,14	3,350	3,258	3,199	3,125
9	40,3	5	4	3,14	3,151	3,068	3,014	2,948
10	40,3	5,5	4	3,14	2,975	2,900	2,851	2,791
11	40,3	6	4	3,14	2,820	2,752	2,707	2,651
12	40,3	6,5	4	3,14	2,683	2,619	2,578	2,526
13	40,3	7	4	3,14	2,559	2,500	2,461	2,414
13	40,3	7,5	4	3,14	2,447	2,392	2,356	2,312

3. Tower 61

Tabel 17 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T. 61 dengan metode menggunakan satu batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus dekat permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				r =	r =	r =	r =
				0,0085	0,011	0,013	0,016
				(m)	(m)	(m)	(m)
1	25,7	1	3,14	21,092	20,037	19,353	18,503
2	25,7	1,5	3,14	15,167	14,464	14,008	13,442
3	25,7	2	3,14	11,964	11,437	11,095	10,670
4	25,7	2,5	3,14	9,937	9,515	9,241	8,901
5	25,7	3	3,14	8,529	8,178	7,950	7,666
6	25,7	3,5	3,14	7,491	7,190	6,994	6,751
7	25,7	4	3,14	6,691	6,428	6,257	6,044
8	25,7	4,5	3,14	6,055	5,820	5,669	5,480
9	25,7	5	3,14	5,536	5,325	5,188	5,018
10	25,7	5,5	3,14	5,103	4,911	4,787	4,633
11	25,7	6	3,14	4,737	4,562	4,448	4,306
12	25,7	6,5	3,14	4,423	4,261	4,156	4,025
13	25,7	7	3,14	4,151	4,000	3,902	3,781
14	25,7	7,5	3,14	3,912	3,771	3,680	3,567

Tabel 18 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan satu batang elektroda yang ditanam s e c a r a tegak lurus pada kedalaman beberapa cm dari permukaan tanah

No	ρ	L	π	Tahanan Pentanahan			
				r =	r =	r =	r =
				0,0085	0,011	0,013	0,016
				(m)	(m)	(m)	(m)
1	25,7	1	3,14	18,255	17,200	16,517	15,667
2	25,7	1,5	3,14	13,276	12,573	12,117	11,551
3	25,7	2	3,14	10,546	10,018	9,677	9,252
4	25,7	2,5	3,14	8,802	8,380	8,107	7,767
5	25,7	3	3,14	7,584	7,232	7,004	6,721
6	25,7	3,5	3,14	6,681	6,379	6,184	5,941
7	25,7	4	3,14	5,982	5,718	5,547	5,335
8	25,7	4,5	3,14	5,425	5,190	5,038	4,849
9	25,7	5	3,14	4,968	4,757	4,621	4,451
10	25,7	5,5	3,14	4,588	4,396	4,271	4,117
11	25,7	6	3,14	4,265	4,089	3,975	3,833
12	25,7	6,5	3,14	3,987	3,825	3,719	3,589
13	25,7	7	3,14	3,746	3,595	3,497	3,376

Tabel 19 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S < L$) dengan $S = 1$ meter

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009 (m)	0,011 (m)	0,013 (m)	0,016 (m)
1	25,7	1,5	1	3,14	9,081	8,729	8,502	8,218
2	25,7	2	1	3,14	7,326	7,063	6,892	6,679
3	25,7	2,5	1	3,14	6,190	5,979	5,842	5,672
4	25,7	3	1	3,14	5,386	5,211	5,097	4,955
5	25,7	3,5	1	3,14	4,784	4,634	4,536	4,415
6	25,7	4	1	3,14	4,314	4,182	4,097	3,991
7	25,7	4,5	1	3,14	3,936	3,819	3,743	3,649
8	25,7	5	1	3,14	3,624	3,519	3,451	3,366
9	25,7	5,5	1	3,14	3,363	3,267	3,205	3,127
10	25,7	6	1	3,14	3,139	3,051	2,994	2,924
11	25,7	6,5	1	3,14	2,946	2,865	2,813	2,747
12	25,7	7	1	3,14	2,778	2,702	2,653	2,593
13	25,7	7,5	1	3,14	2,629	2,558	2,513	2,456

Tabel Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S < L$) dengan $S = 2$ meter

Tabel 20 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan dua batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah ($S > L$)

No	ρ	L	S	π	Tahanan Pentanahan			
					$r =$	$r =$	$r =$	$r =$
					0,009 (m)	0,011 (m)	0,013 (m)	0,016 (m)
1	25,7	1	1,5	3,14	11,816	11,288	10,946	10,522
2	25,7	1,5	2	3,14	8,544	8,193	7,965	7,682
3	25,7	2	2,5	3,14	6,760	6,496	6,325	6,113
4	25,7	2,5	3	3,14	5,624	5,413	5,276	5,106
5	25,7	3	3,5	3,14	4,832	4,656	4,543	4,401
6	25,7	3,5	4	3,14	4,246	4,096	3,998	3,877
7	25,7	4	4,5	3,14	3,794	3,662	3,577	3,471
8	25,7	4,5	5	3,14	3,434	3,316	3,240	3,146
9	25,7	5	5,5	3,14	3,139	3,034	2,965	2,880
10	25,7	5,5	6	3,14	2,893	2,798	2,735	2,658
11	25,7	6	6,5	3,14	2,686	2,598	2,541	2,470
12	25,7	6,5	7	3,14	2,507	2,426	2,373	2,308
13	25,7	7	7,5	3,14	2,352	2,276	2,228	2,167

Tabel 21 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan tiga batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segitiga

No	ρ	L	a	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	25,7	1	4	3,14	5,558	5,206	4,979	4,695
2	25,7	1,5	4	3,14	4,812	4,577	4,425	4,236
3	25,7	2	4	3,14	4,197	4,022	3,908	3,766
4	25,7	2,5	4	3,14	3,723	3,582	3,491	3,378
5	25,7	3	4	3,14	3,351	3,234	3,158	3,064
6	25,7	3,5	4	3,14	3,053	2,952	2,887	2,806
7	25,7	4	4	3,14	2,808	2,720	2,663	2,592
8	25,7	4,5	4	3,14	2,603	2,525	2,474	2,411
9	25,7	5	4	3,14	2,429	2,359	2,313	2,256
10	25,7	5,5	4	3,14	2,279	2,215	2,174	2,122
11	25,7	6	4	3,14	2,148	2,090	2,052	2,005
12	25,7	6,5	4	3,14	2,034	1,979	1,944	1,901
13	25,7	7	4	3,14	1,932	1,881	1,849	1,808

Tabel 22 Hasil perhitungan tahanan pentanahan T.61 dengan metode menggunakan empat batang elektroda yang ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah membentuk segiempat

No	ρ	L	a	π	Tahanan Pentanahan			
					r =	r =	r =	r =
					0,009	0,011	0,013	0,016
					(m)	(m)	(m)	(m)
1	25,7	1	4	3,14	3,459	3,196	3,025	2,812
2	25,7	1,5	4	3,14	3,413	3,237	3,123	2,981
3	25,7	2	4	3,14	3,148	3,016	2,931	2,824
4	25,7	2,5	4	3,14	2,884	2,778	2,710	2,625
5	25,7	3	4	3,14	2,652	2,564	2,507	2,436
6	25,7	3,5	4	3,14	2,453	2,378	2,329	2,268
7	25,7	4	4	3,14	2,283	2,217	2,174	2,121
8	25,7	4,5	4	3,14	2,137	2,078	2,040	1,993
9	25,7	5	4	3,14	2,009	1,956	1,922	1,880
10	25,7	5,5	4	3,14	1,897	1,849	1,818	1,780
11	25,7	6	4	3,14	1,799	1,755	1,726	1,691
12	25,7	6,5	4	3,14	1,711	1,670	1,644	1,611
13	25,7	7	4	3,14	1,632	1,594	1,570	1,539
13	25,7	7,5	4	3,14	1,561	1,526	1,503	1,474

4. KESIMPULAN

1. Elektroda ditanam tegak lurus dekat permukaan tanah, akan didapatkan nilai tanahan pentanahan di bawah standar dengan menanam elektroda dengan kedalaman sesuai hasil perhitungan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tanahan pentanahan sudah berada dikisaran nilai yang diijinkan

DAFTAR PUSTAKA

- Suyanto, M. (2012). Pengaruh Porositas Tanah Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Saluran Transmisi 150 kV. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III.
- Solichanl, A. (2010). Analisa Impedansi Pengetanahan Elektroda Batang Tunggal Dalam Beton Rangka Baja Terhadap Injeksi Arus Bolak Balik (Undergraduate thesis). Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Semarang.
- SKDIR 0520.K/DIR/2014. (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET) No. Dokumen
- Setiyono, M. (2007). Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 Kv Transmisi Ungaran – Krapyak (Undergraduate thesis). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Pratanal, D. (2022). Analisa Kelayakan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Jelok-Bringin Menggunakan Metode Komparasi (Thesis). Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- PLN Research Institute. (2020). Buku Petir PLN 2020 Edisi Ketiga Tahun 2019 Jawa, Madura, Bali. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Nugraha, B. T. (2014). Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Telekomunikasi (Undergraduate thesis). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Irawati, I. (2009). Peran Jaringan Energi Kelistrikan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) Dalam Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan. Seminar Nasional Perencanaan Wilayah dan Kota, ITS, Surabaya.
- FOIS. (2024). Retrieved July 17, 2024, from <http://10.1.18.241/~foiseam/>
- Dermawan, A. Analisis Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan yang Ditanam di Tanah dan di Septic Tank pada Perumahan (Thesis). Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Dari, S. W. (2023). Jurnal Evaluasi Pentanahan Langsung Tower Transmisi SUTT 150 Kv Rute Tello – Sungguminasa (Journal Article). Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Badan Standarisasi Nasional. (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta: Yayasan.

Arismunandar, A. (2001). Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta: Pradnya Paramita.

/STT/10:2014.