

Analisa Dampak Perubahan Jarak Antar Konduktor Dan Kedalaman Pada Sistem Pentanahan Grid-Rod Berbasis IEEE Std 80 – 2000

Meike Alif Latifah, Muhamad Haddin

Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 14 Oktober 2019

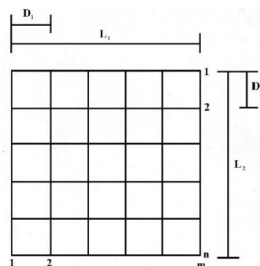
Direvisi : 06 Desember 2019

Disetujui : 20 Desember 2019

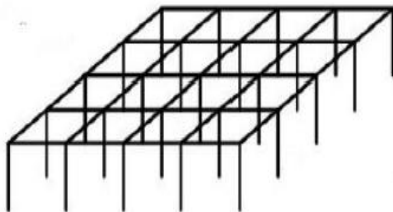
*Korespondensi Penulis :

meikealiflatifah@std.unissula.ac.id

Graphical abstract



Model penelitian



Sistem Pentanahan Grid-Rod

Abstract

Electric energy in the Tunda Island from early 2016 is provided by diesel and solar power with operating time of 12 hours. This island has an average wind speeds over 6m/s, so the potential using of wind power plant is sufficient for the need of the electrical load. The purpose of this research is to design hybrid power plant using HOMER software, in order to obtain optimal system between diesel, solar power and wind turbine configuration. This thorough integration of hybrid power plant is a multi variable system so it needs help or method using software, in this case HOMER version 2.68, This software optimizes based on the smallest cost aspect. The results showed that the design of optimal hybrid power plant is scenario 3 with capacity at each plant is: 117kWp at solar power, 60kW at wind turbine and 75kW at diesel generator. The conclusions obtained contribution from solar-wind-diesel is 43%, 56% and 1%. Optimization in scenario 3 has the smallest cost aspect with the present net value (NPC) of \$544703, the cost of electrical energy (COE) of \$0.349/kWh. This system can reduce exhaust emissions by 4584kg/yr if paid for exhaust gas emission penalty of about \$1018/year.

Keywords: PLTH, NPC, COE

Abstrak

Gangguan fasa ke tanah pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV menyebabkan mengalirnya arus gangguan ke tanah. Arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan yang terbuat dari metal dan menuju ke piranti pengetnahan. Hal in akan menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien dengan permukaan tanah itu sendiri yang berbahaya bagi keselamatan manusia yang berada di area *switchyard*.

Kata kunci: Sistem pentanahan grid-rod, Kedalaman, GITET 500 KV

© 2019 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Gangguan fasa ke tanah pada gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET) 500 kV menyebabkan mengalirnya arus gangguan ke tanah. Arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan yang terbuat dari metal dan menuju ke piranti pentanahan. Hal ini berdampak pada gradien tegangan yang timbul diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien dengan permukaan tanah itu sendiri yang berbahaya bagi keselamatan manusia yang berada di area *switchyard* [1]. Solusi dari permasalahan tersebut adalah digunakan pentanahan. Terdapat tiga jenis sistem pentanahan: *driven rod*, *counterpoise* dan gabungan antara sistem pentanahan grid dan rod.

Pentanahan grid-rod merupakan sistem pentanahan peralatan dengan konduktor yang menghubungkan badan peralatan dengan tanah yang ditanam bersilangan sejajar dengan permukaan tanah dan terdiri dari sejumlah konduktor paralel sisi panjang dan sisi lebar. Pada setiap titiknya ditanam konduktor yang tegak lurus di permukaan tanah yang fungsi utamanya adalah mencegah besarnya tegangan

sentuh (*touch voltage*) dan tegangan langkah (*step voltage*) ketika terjadi gangguan fasa ke tanah. Sistem ini banyak digunakan pada gardu induk skala besar. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana pengaruh perubahan jarak antar konduktor paralel terhadap resistansi pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah.

Beberapa penelitian terdahulu tentang pentanahan gardu induk skala besar telah dilakukan antara lain: sistem pentanahan pada PLTP [2]. Perbandingan sistem grid-rod dengan grid tak simetri pada gardu induk. Hasil menunjukkan bahwa pentanahan grid tak simetri lebih hemat dalam pemakaian konduktor pentanahan sebesar 45% [3]. Perbandingan sistem pentanahan grid dan grid-rod pada gardu induk dengan hasil menunjukkan bahwa sistem grid-rod mempunyai nilai resistansi pentanahan lebih rendah dibandingkan dengan sistem pentanahan grid [4].

Fokus penelitian ini adalah membahas tentang dampak perubahan jarak antar konduktor dan kedalaman penanaman konduktor terhadap nilai resistansi, tegangan sentuh, dan tegangan langkah. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan sistem pentanahan gardu induk skala besar adalah merujuk pada Std IEEE 80-2000 [5]. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah: resistansi pentanahan ≤ 1 Ohm, tegangan sentuh lebih kecil dari nilai tegangan sentuh yang diijinkan, tegangan langkah lebih kecil dari nilai tegangan langkah yang diijinkan, *ground potential rise* (GPR) lebih kecil dari tegangan langkah yang diijinkan. Sebagai obyek penelitian diambil lokasi GITET 500 kV Ungaran.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Dasar Teori

Sistem pentanahan grid-rod merupakan sistem pentanahan gabungan antara sistem pentanahan grid dan sistem pentanahan rod dengan menanamkan batang sejajar di permukaan tanah yang terhubung satu sama lain kemudian setiap titik ditanami elektroda pentanahan yang tegak lurus di permukaan tanah. Nilai resistansi pentanahan dari sistem grid-rod dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1):

$$R_g = \rho \left\{ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \left(1 + \frac{1}{1+h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right\} \quad (1)$$

Nilai resistansi pentanahan tergantung pada tahanan jenis rata tanah (ρ), jumlah total panjang konduktor batang rod (L), kedalaman penanaman konduktor (h), dan luas area pentanahan grid (A).

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada dibawahnya. Tegangan sentuh dapat membahayakan keselamatan manusia maka tegangan sentuh yang tinggi harus diberi proteksi. Persamaan (2) menunjukkan bahwa tegangan sentuh yang diijinkan.

$$E_s = (R_k + \frac{R_f}{2}) I_k \quad (2)$$

Dengan menggunakan tahanan tubuh manusia (R_k), Tahanan kontak ke tanah dari satu kaki pada tanah yang diberi lapisan koral 10 cm (R_f), besaran arus yang melalui badan (I_k).

Diasumsikan bahwa objek yang disentuh terhubung dengan kisi-kisi pentanahan yang berada dibawahnya, maka besarnya tegangan sentuh yang di iijinkan dapat dilihat pada persamaan (3):

$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \rho_s) \quad (3)$$

Tegangan sentuh sebenarnya adalah tegangan pada peralatan yang diketanahkan ke dalam daerah yang membentuk konduktor kisi-kisi selama gangguan tanah. Pada konduktor kisi-kisi arus yang mengalir tidak sama, dikarenakan tahanan jenis tanah pada kenyataanyapun tidak merata. Tegangan sentuh sebenarnya dapat dilihat pada persamaan (4).

$$E_{sm} = \frac{\rho I_k K_m K_i}{L_c + 1,15 L_r} \tag{4}$$

Dengan menggunakan tahanan jenis tanah (ρ), besaran arus yang melalui badan (I_k), nilai konstanta tegangan sentuh yang sebenarnya (K_m), faktor koreksi untuk ketidak merataan kerapatan arus (K_i), total panjang konduktor grid (L_c), total panjang batang rod (L_r).

Tegangan langkah yaitu ketika seseorang berdiri di atas tanah kemudian terdapat tegangan yang timbul di antara dua kaki seseorang tersebut dan sedang terjadi gangguan. Dimisalkan ketika seseorang tidak menggunakan sepatu dengan jarak antara kedua kaki seseorang 1 meter dan diameter dari kaki orang tersebut dimisalkan 8 cm. Permukaan tanah yang dipijak seseorang dengan jarak tertentu tanpa menggunakan sepatu akan menghasilkan tegangan langkah hal tersebut terjadi karena terdapat beda potensial di tanah pada saat terjadi gangguan dan tanah terhubung dengan kisi-kisi (grid). Arus listrik dapat mengalir di antara kedua kaki seseorang, hal ini disebabkan karena terdapat beda potensial yang ada diantara kedua kaki seseorang. Persamaan (5) dan (6) merupakan persamaan yang digunakan untuk mengukur tegangan langkah.

$$E_l = (R_k + 2R_f). I_k \tag{5}$$

$$= (1000 + 6 \rho s)x \frac{0,116}{\sqrt{t}} \tag{6}$$

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ke tanah. Persamaan (7) digunakan untuk mendapatkan nilai pendekatan tegangan langkah sebenarnya.

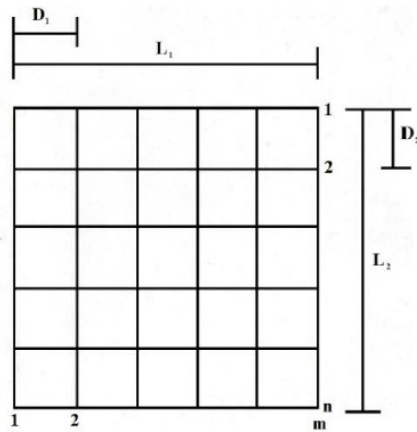
$$E_{lm} = \frac{\rho I_G K_s K_i}{L} \tag{7}$$

Dengan menggunakan nilai konstanta tegangan langkah sebenarnya (K_s), faktor koreksi saat terjadi peningkatan arus ekstrimitas (K_i), arus gangguan tanah maksimum (I_G), panjang konduktor (L).

2.2 Model Penelitian

Model penelitian merupakan gambaran skema pemodelan pada Gardu Induk yang di gunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan maupun mencari nilai – nilai yang telah di tentukan. Penulis mengambil lokasi penelitian pada Gardu Induk 500 KV Ungaran.

Lokasi tersebut dipilih karena merujuk pada data primer yang ada. dikarenakan tidak semua data primer yang dibutuhkan untuk penelitian ada pada lokasi penelitian, oleh sebab itu pemilihan lokasi di pilih dengan megggunakan data yang terlengkap yang dibutuhkan dari suatu gardu induk yang ada sehingga memungkinkan untuk dilakukanya penelitian. Gambar dari model penelitian dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram Model penelitian

2.3 Data Sistem Pentanahan

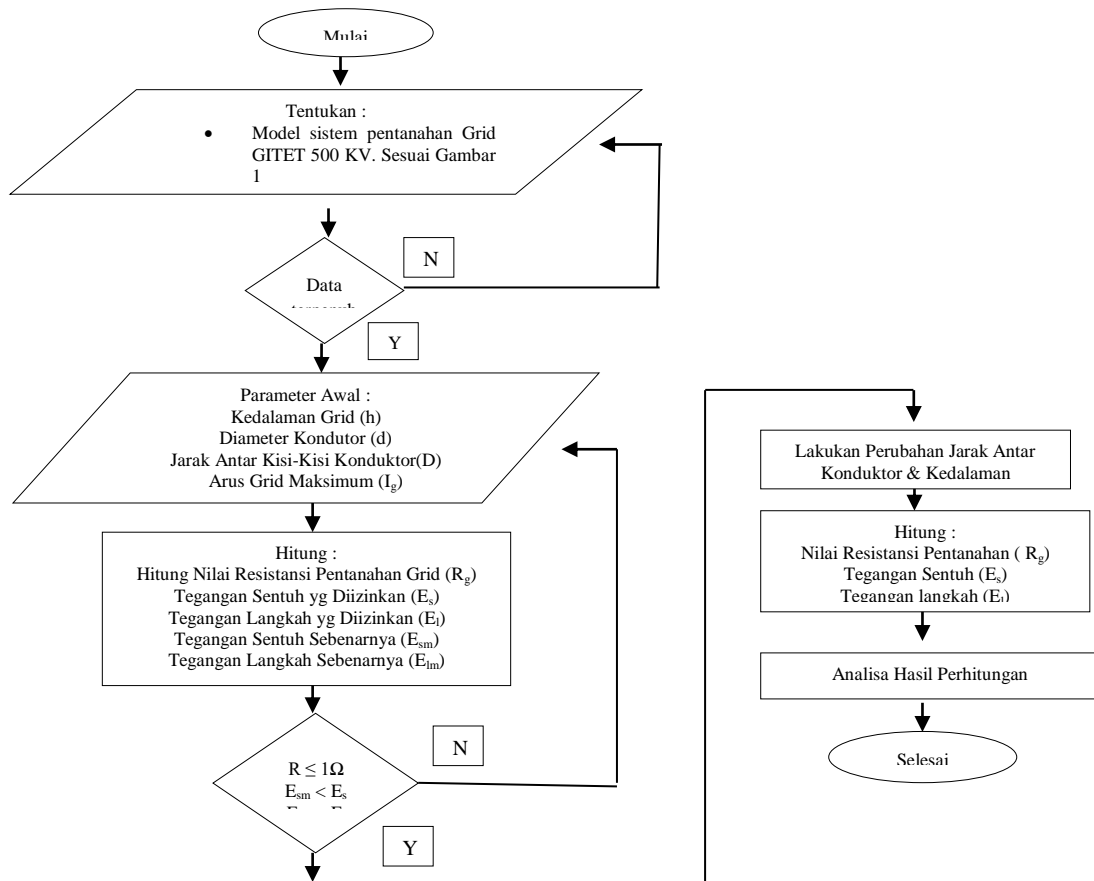
Perancangan merupakan suatu proses permulaan sebelum melakukan suatu penelitian. Pada penelitian ini pengumpulan data mencakup beberapa hal yang berkaitan dengan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500 KV Ungaran mulai dari data primer maupun data skunder. Pada Tabel 1 merupakan data sistem pentanahan GITET 500 KV Ungaran.

Tabel 1. Data Sistem Pentanahan GITET

No.	Deskripsi	Nilai	Satuan
1.	Nilai Resistansi Pentanahan	0,3	Ohm
2.	Nilai Arus Hubung Singkat	3.284	Ampere
3.	Lama Waktu Gangguan Hubung Singkat	0,075	Detik
4.	Tahanan Jenis Rata Tanah	100	Ohm
5.	Diameter Batang Pentanahan	0,0127	Meter
6.	Panjang Konduktor Rod	3	Meter
7.	Kedalaman Penanaman Konduktor	0,6	Meter
8.	Jumlah Konduktor Rod	221	Buah
9.	Panjang Sisi Konduktor	192	Meter
10.	Lebar Sisi Konduktor	215	Meter
11.	Jarak Antar Konduktor	8	Meter

2.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian untuk perencanaan sistem pentanahan gardu induk skala besar diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Sistem Pentanahan 500 kV Ungaran

Dengan merujuk dari Gambar 1 dan Tabel 1 dilakukan perhitungan untuk mencari nilai resistansi pentanahan pada gardu induk, kemudian tegangan sentuh maupun tegangan langkah. Nilai resistansi pentanahan harus memiliki nilai $\leq 1\Omega$ apabila nilai resistansi pentanahan yang terukur $\leq 1\Omega$ berarti pentanahan tersebut di katakan baik atau memenuhi standart.

Tegangan sentuh (E_s) dan Tegangan langkah (E_l) yang diizinkan nilainya dapat dicari dengan cara menghitung besar nilai arus fibrasi pada manusia dengan lama waktu gangguan yang terjadi pada GITET Ungaran. Untuk berat manusia sebesar 50kg setara dengan 0,116 Ampere dan lama gangguan hubung singkat yang ada pada GITET Ungaran sebesar 0,075 detik. Tegangan sentuh sebenarnya (E_{sm}) dan tegangan langkah sebenarnya (E_{lm}) dapat dicari setelah nilai tegangan sentuh yang diizinkan (E_s) dan tegangan langkah yang diizinkan (E_l) diketahui. Karena nilai tegangan sentuh sebenarnya dan tegangan langkah sebenarnya tidak boleh melebihi tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan. Tabel 2 merupakan hasil dari perhitungan nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Sistem Pentanahan GITET 500 KV Ungaran

No.	Deskripsi	Nilai	Satuan
1.	Resistansi Pentanahan	0,227	Ohm
2.	Tegangan Sentuhan Yang Diizinkan	2330	Volt
3.	Tegangan Langkah Yang Diizinkan	8048	Volt
4.	Tegangan Sentuh Sebenarnya	59,21	Volt
5.	Tegangan Langkah Sebenarnya	57,39	Volt

3.2 Pengaruh Perubahan Jarak Antar Konduktor

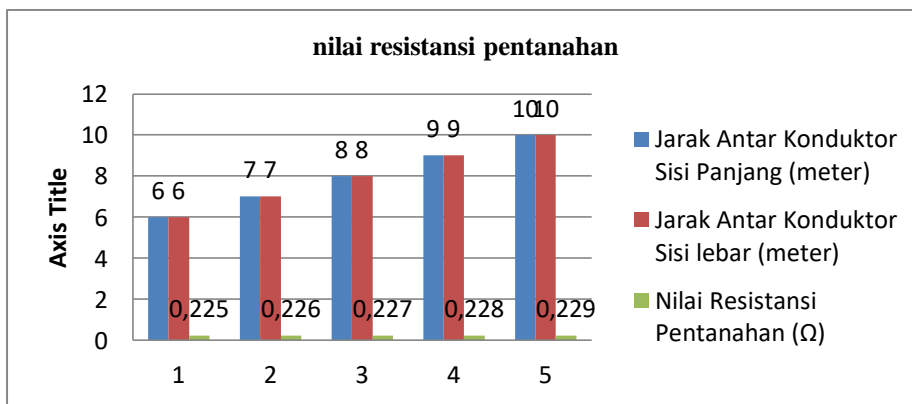
Jarak antar konduktor (*D*) merupakan jarak konduktor antar satu konduktor dengan konduktor yang lain pada sisi panjang maupun pada sisi lebar. Simulasi perhitungan yang akan dilakukan pertama mengubah jarak antar konduktor semakin rapat maupun semakin renggang pada sisi panjang maupun sisi lebar tanpa mengubah kedalaman dan tahanan jenis tanah. Kemudian mencari nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah.

Tabel 3 dan Gambar 3 merupakan hasil pensimulasian dari jarak antar konduktor yang berubah dan kedalaman yang tetap. Jarak dirapatkan maupun direnggagkan bertahap untuk mengetahui perubahan yang terjadi terhadap nilai resistansi pentanahan.

Tabel 3. Nilai Resistansi Pentanahan Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi lebar (meter)	Nilai Resistansi Pentanahan (Ω)
1.	37	6	23	6	0,225
2.	32	7	29	7	0,226
3.	28	8	25	8	0,227
4.	25	9	23	9	0,228
5.	23	10	20	10	0,229

Hasil perhitungan didapatkan hasil seperti pada Tabel 3. Kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar 3 agar mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi terhadap nilai resistansi pentanahan.



Gambar 3 . Grafik Nilai Resistansi Pentanahan Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

Tabel 3 dan Gambar 3 menunjukkan nilai resistansi pentanahan apabila jarak diubah dengan kedalaman 0,6 meter dan tahanan jenis tanah 100 ohm atau tetap. Apabila jarak antar konduktor semakin rapat maka nilai resistansi pentanahan menurun atau semakin kecil sedangkan apabila jarak antar konduktor semakin renggang maka nilai resistansi pentanahan meningkat atau semakin besar. Jumlah konduktor pada sisi panjang maupun sisi lebar bertambah dan berkurang seiring dengan dirapatkan maupun direnggagkan jarak antar konduktor. Semakin rapat jarak jumlah konduktor juga akan semakin banyak, begitu sebaliknya semakin renggang jarak maka jumlah konduktor yang digunakan akan semakin sedikit.

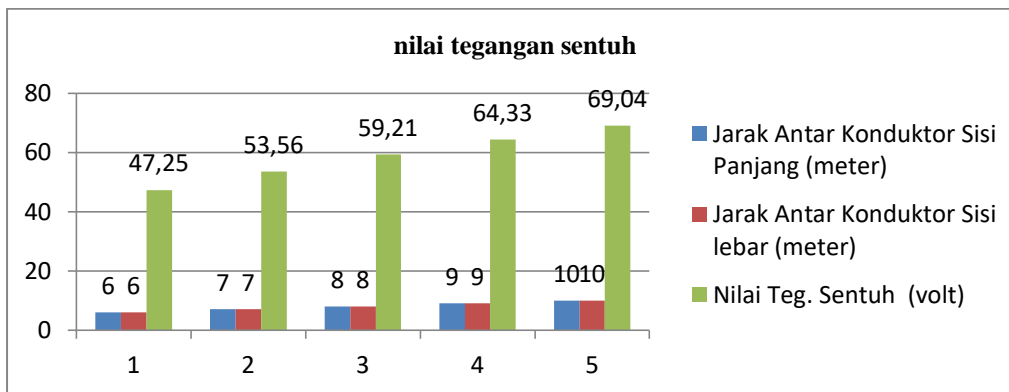
Saat jarak antar konduktor awal 8 m kemudian dirapatkan menjadi 7 meter nilai resistansi mengalami penurunan sebesar 0,001 ohm , saat jarak antar konduktor dirapatkan lagi menjadi 6 meter

maka nilai resistansi mengalami penurunan kembali sebesar 0,001 ohm. Untuk mengetahui pengaruh jarak antar konduktor dilakukan simulasi kembali dengan merenggangkan jarak antar konduktor pada sisi panjang dan sisi lebar menjadi 9 meter maka terjadi peningkatan nilai resistansi pentanahan sebesar 0,001 ohm , kemudian saat kerenggangan ditambah menjadi 10 meter maka nilai resistansi pentanahan kembali mengaami peningkatan sebesar 0,001ohm. Tetapi peningkatan dan penurunan nilai resistansi pentanahan sangat kecil yaitu 0,001ohm dengan hasil perhitungan antara 0,225 -0,229 ohm. Jadi peningkatan dan penurunan jarak sekitar 1–2 m tidak berpengaruh besar terhadap nilai resistansi pentanahan dan masih dalam batas aman dan sesuai standart PLN yaitu $\leq 1\Omega$. Hal tersebut berbeda pada tegangan sentuh maupun tegangan langkah. Untuk mengetahui pengaruh perubahan terhadap nilai tegangan sentuh dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Tabel 4. Nilai Tegangan Sentuh Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi lebar (meter)	Nilai Teg. Sentuh (volt)
1.	37	6	23	6	47,25
2.	32	7	29	7	53,56
3.	28	8	25	8	59,21
4.	25	9	23	9	64,33
5.	23	10	20	10	69,04

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan perubahan jarak anatar konduktor terhadap tegangan sentuh. Kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar 4 agar mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi.



Gambar 4. Grafik Nilai Tegangan Sentuh Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

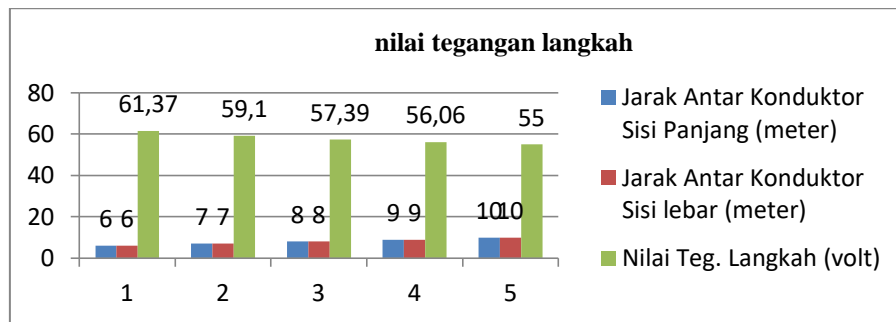
Tabel 4 dan Gambar 4 menunjukkan nilai tegangan sentuh apabila jarak antar konduktor diubah dengan kedalaman 0,6 meter dan tahanan jenis tanah 100 ohm atau tetap. Dengan mengubah jarak antar konduktor semakin rapat maupun semakin renggang didapatkan hasil ketika jarak semakin rapat maka nilai tegangan sentuh juga menurun atau semakin kecil. Sedangkan ketika jarak semakin renggang maka nilai tegangan sentuh semakin tinggi atau semakin meningkat. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 maupun Gambar 4 pada saat jarak antar konduktor pada sisi panjang maupun sisi lebar yang semula 8 meter di rapatkan menjadi 7 meter nilai tegangan sentuh mengalami penurunan sebesar 5,7 volt , kemudian dilakukan perapatan jarak antar konduktor kembali menjadi 6 meter dan didapatkan hasil nilai tegangan sentuh mengalami penurunan sebesar 6,3 volt.

Jarak antar konduktor juga dilakukan perengganan menjadi 9 m dan tegangan sentuh mengalami peningkatan sebesar 5,1 volt, sedangkan saat jarak perengganan ditambah menjadi 10m tegangan sentuh kembali mengalami peningkatan sebesar 4,7 volt dari nilai sebelumnya. Dengan merubah jarak antar konduktor antara 1 sampai 2 m maka terjadi penurunan dan peningkatan antara 4,7 - 6,3 volt. Untuk mengetahui pengaruh perubahan terhadap nilai tegangan langkah dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 5. Nilai Tegangan Langkah Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Antar Konduktor Sisi lebar (meter)	Nilai Teg. Langkah (volt)
1.	37	6	23	6	61,37
2.	32	7	29	7	59,1
3.	28	8	25	8	57,39
4.	25	9	23	9	56,06
5.	23	10	20	10	55

Tabel 5 merupakan hasil perhitungan perubahan jarak anatar konduktor terhadap tegangan langkah. Kemudian dibuat grafik seperti pada Gambar 5 agar mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi terhadap tegangan langkah tersebut.



Gambar 5. Grafik Nilai Tegangan Langkah Jarak Antar Konduktor Yang Diubah dengan Kedalaman dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

Tabel 5 dan Gambar 5 menunjukkan nilai tegangan sentuh apabila jarak antar konduktor diubah dengan kedalaman 0,6 meter dan tahanan jenis tanah 100 ohm.

Pada tegangan langkah semakin rapat atau semakin renggang jarak antar konduktor pada bagian sisi panjang maupun sisi lebar didapatkan hasil semakin rapat jarak antar konduktor maka nilai tegangan langkah semakin tinggi. Sedangkan semakin renggang jarak antar konduktor maka tegangan langkah semakin rendah. Hal ini berkebalikan dengan tegangan sentuh.

Ketika dilakukan simulasi dengan merapatkan jarak antar konduktor yang semula 8 meter menjadi 7 meter maka nilai tegangan langkah mengalami peningkatan 1,7 volt, saat dirapatkan kembali menjadi 6 meter nilai tegangan langkah masih mengalami peningkatan sebesar 2,3 volt. Kemudian dilakukan pula perengganan dengan jarak antar konduktor sebesar 9 meter dan nilai tegangan langkah mengalami penurunan sebesar 1,3 volt, dilakukan kembali perengganan sebesar 10 meter dan nilai tegangan langkah mengalami penurunan sebesar 1,1 volt. Dengan mengubah jarak antara 1-2 meter maka terjadi penurunan maupun peningkatan sebesar 1,1–2,3 volt.

3.4. Pengaruh Kedalaman Konduktor

Kedalaman konduktor (*h*) merupakan jarak penanaman kedalaman konduktor dari permukaan tanah hingga masuk ke dalam tanah. Simulasi perhitungan akan dilakukan dengan mengubah nilai kedalaman konduktor semakin menjauhi maupun semakin mendekati permukaan tanah tanpa

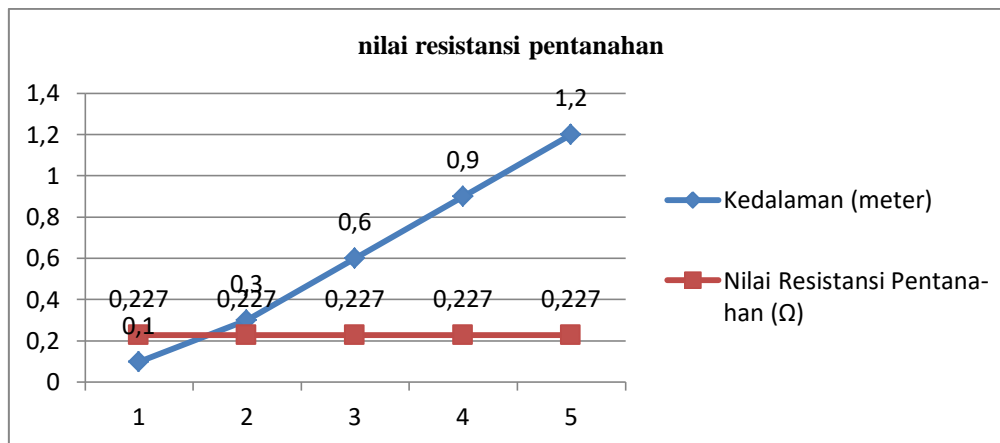
mengubah nilai jarak antar konduktor pada sisi panjang maupun sisi lebar dan tahanan jenis tanah. Kemudian mencari nilai resistansi pentanahan, tegangan sentuh, dan tegangan langkah.

Tabel 6 dan Gambar 6 merupakan hasil pensimulasian kedalaman yang diubah dengan jarak antar konduktor dan tahanan jenis tanah yang tetap. Penanaman konduktor ditanam semakin dalam maupun semakin mendekati permukaan tanah.

Tabel 6. Nilai Resistansi Pentanahan Kedalaman yang Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Konduktor Sisi lebar (meter)	Kedalaman (meter)	Nilai Resistansi Pentana-han (Ω)
1.	28	8	25	8	0,1	0,227
2.					0,3	0,227
3.					0,6	0,227
4.					0,9	0,227
5.					1,2	0,227

Perubahan nilai resistansi pentanahan dengan kedalaman yang diubah ditunjukkan pada Tabel 6. Untuk mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi terhadap nilai resistansi pentanahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Nilai Resistansi Pentanahan Kedalaman Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

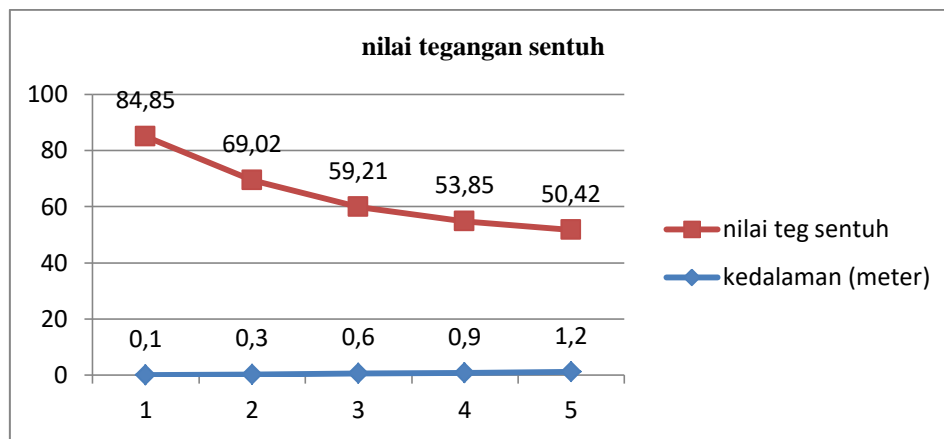
Tabel dan Gambar nilai resistansi pentanahan dengan mengubah kedalaman tanpa mengubah jarak antar konduktor dan tahanan jenis tanah dapat dianalisa. Bahwa dengan mengubah kedalaman penanaman konduktor semakin dalam maupun semakin rendah atau semakin mendekati permukaan tanah tidak mempengaruhi nilai resistansi pentanahan. Nilai resistansi pentanahan masih tetap berada pada nilai 0,227 ohm walaupun kedalaman dilakukan perubahan mulai dari 0,1–1,2 meter. Jadi dengan mengubah kedalaman tidak berpengaruh terhadap nilai resistansi pentanahan, tetapi memiliki pengaruh pada nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah.

Untuk mengetahui pengaruh perubahan terhadap nilai tegangan sentuh dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 7.

Tabel 7. Nilai Tegangan Sentuh Kedalaman yang Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Konduktor Sisi lebar (meter)	Kedalaman (meter)	Nilai Teg Sentuh (volt)
1.	28	8	25	8	0,1	84,85
2.					0,3	69,02
3.					0,6	59,21
4.					0,9	53,85
5.					1,2	50,42

Perubahan nilai tegangan sentuh dengan kedalaman yang diubah ditunjukkan pada Tabel 7. Gambar 7 dibuat untuk mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi terhadap nilai tegangan sentuh.



Gambar 7. Grafik Nilai Tegangan Sentuh Kedalaman Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

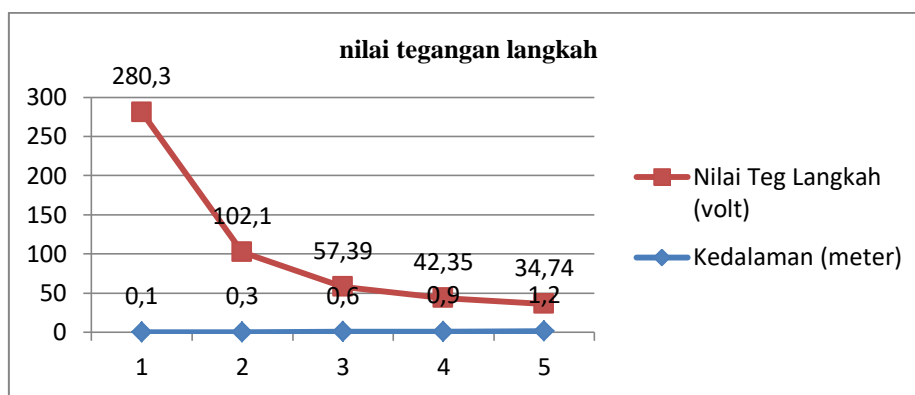
Tabel 7 dan Gambar 7 menunjukkan nilai tegangan sentuh dengan mengubah kedalaman dan menggunakan jarak antar konduktor dan tahanan jenis tanah yang tetap. Apabila penanaman konduktor semakin dalam maka nilai tegangan sentuh semakin rendah atau semakin kecil. Sedangkan apabila konduktor ditanam semakin mendekati permukaan tanah maka nilai tegangan sentuh semakin tinggi. Ketika kedalaman penanaman konduktor yang semula 0,6 meter diubah atau didekatkan ke permukaan tanah menjadi 0,3 meter maka nilai tegangan sentuh meningkat sebesar 9,8 volt, saat didekatkan kembali ke permukaan tanah dengan jarak 0,1 meter maka nilai tegangan sentuh yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar 15,8 volt. Kemudian penanaman konduktor diperdalam sebesar 0,9 volt dan nilai tegangan sentuh yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar 9,8 volt, saat kedalaman ditambah menjadi 1,2 meter maka nilai tegangan sentuh semakin mengalami penurunan sebesar 5,9 volt.

Dilakukan penanaman mulai dari 0,1–1,2 meter dan di dapatkan hasil perubahan nilai tegangan sentuh mengalami penurunan maupun peningkatan antara 3,4–15,8 volt. Perubahan nilai mengalami peningkatan dan penurunan yang lumayan tinggi. Untuk mengetahui pengaruh perubahan terhadap nilai tegangan langkah dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 8.

Tabel 8. Nilai Tegangan Langkah Kedalaman yang Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

No.	Jml Konduktor Sisi Panjang (buah)	Jarak Konduktor Sisi Panjang (meter)	Jml Konduktor Sisi Lebar (buah)	Jarak Konduktor Sisi lebar (meter)	Kedalaman (meter)	Nilai Teg Langkah (volt)
1.	28	8	25	8	0,1	280,3
2.					0,3	102,1
3.					0,6	57,39
4.					0,9	42,35
5.					1,2	34,74

Nilai tegangan langkah mengalami perubahan ketika kedalam konduktor diubah, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 8. Dibuat grafik seperti pada Gambar 8 yang bertujuan mempermudah dalam melihat karakteristik perubahan yang terjadi pada tegangan langkah.



Gambar 8. Grafik Nilai Tegangan Langkah Kedalaman Diubah dengan Jarak Antar Konduktor dan Tahanan Jenis Tanah Tetap

Gambar 8 dan Tabel 8 dapat dianalisa bahwa semakin dalam penanaman konduktor dengan jarak antar konduktor pada sisi panjang maupun sisi lebar dan tahanan jenis tanah yang tetap, maka nilai tegangan sentuh akan mengalami penurunan atau semakin rendah. Dan sebaliknya apabila kedalaman semakin rendah atau semakin mendekati permukaan tanah maka nilai tegangan langkah akan semakin tinggi.

Dalam grafik dapat dilihat bahwa pada kedalaman yang hanya 0,1 meter mengalami kenaikan yang sangat signifikan tegangan langkah berada pada nilai 280,3 volt. Dan untuk kedalaman sebesar 1,2 meter tegangan langkah memiliki nilai 25,57 volt. Nilai tegangan langkah mengalami penurunan dan peningkatan nilai antara 7,6–178,2 volt dengan penanaman 0,1-1,2 m. Jadi semakin dalam penanaman konduktor grid semakin baik tetapi membutuhkan konduktor yang lebih panjang juga dan itu dapat berpengaruh juga terhadap pengeluaran pembelian bahan baku.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan mengenai pengaruh perubahan jarak antar konduktor dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Pengaruh perubahan jarak antar konduktor yaitu untuk perubahan jarak semakin rapat maka semakin menurun atau semakin kecil nilai resistansi pentanahan (R_g) dan nilai tegangan sentuh (E_{sm}), sedangkan nilai tegangan langkah (E_{lm}) mengalami kenaikan atau peningkatan.

1. Pengaruh perubahan kedalaman konduktor pengaruh yang dihasilkan yaitu semakin dalam penanaman konduktor maka nilai tegangan sentuh(E_{sm}) dan tegangan langkah(E_{lm}) semakin kecil.
- 2) Nilai resistansi (R_g) yang dihasilkan yaitu masih stabil dan berada di nilai yang sama yaitu 0,227 ohm. Nilai resistansi pentanahan pada GITET 500 kV Ungaran terukur 0,3 ohm dan nilai resistansi pentanahan terhitung sebesar 0,227 ohm. Terdapat selisih nilai yang tidak terlalu besar tetapi kedua nilai tersebut masih dinilai aman dan baik, karena nilai resistansi pentanahan tersebut $\leq 1\Omega$ dan sesuai dengan standart PLN.

4.2 Saran

Dengan pengujian ini penulis berharap dapat dilakukan pengukuran nilai resistansi pentanahan secara berkala karena nilai grounding dapat berubah-ubah.

REFERENSI

- [1] Haddin, Muhamad. 2002 “Pengaruh Jumlah Konduktor Paralel terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem pentanahan GITET 500 KV”. Yogyakarta. Univeritas Gajah Mada.
- [2] Diamanis, Rizaldy. 2018. “ Analisa Jarak Paralel Antar Konduktor Sistem Grounding Grid PLTP Lahendong Unit 5 dan 6 ”. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 7 No. 3, Juli – Oktober 2018, ISSN : 2301 – 8402. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [3] Tadjuddin, Bakhtiar. 2017. “ Analisis Perbandingan Penerapan Sistem Grid – Rod dan Grid Tak Simetri Pada Pembumian Gardu Induk”. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017 (pp. 1-4) .
- [4] Pranoto, Agus. 2018. “ Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Kontruksi Grid (Kisi – Kisi)”. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 7 No. 3, Juli – Oktober 2018, ISSN : 2301 – 8402. Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [5] S. Committee, IEEE Gide for Safety in AC Substantion Grounding, vol. 2000. New York, 2000.
- [6] Pabla. A.S, Ir. Hadi. Abdul. “ Sistem Distribusi Daya Listrik “. 1991 : Jakarta.
- [7] Hutaaruk, T. S . “Pengentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan “. Jakarta : Erlangga, 1991.
- [8] K. Hangga . “ Evaluasi Keamanan Pada Sistem Pentanahan Gardu induk 150 KV Jajar”. 2014
- [9] Sutiyono, Noval Ditya. 2018. “ Evaluasi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 KV Ungaran dan Manggen”. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- [10] Wahyono. “Analisa Pengaruh Jarak dan Kedalaman Terhadap Nilai Tahanan Pembumian Dengan 2 Elektroda Batang”. Prosiding SNST ke-4 Tahun 2013. Politeknik Negri Semarang.
- [11] Saputra, Ahmad Riyanda. 2018 “ Pengaruh Konfigurasi dan Kedalaman Penanaman Konduktor Terhadap Resistansi Pentanahan Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 KV Ungaran”. Semarang. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.