

ANALISIS SISTEM PENTANAHAN PADA GARDU INDUK 150 KV SERPONG BERDASARKAN STANDAR IEEE 80-2013

Aziz Dwi Cahyono¹, Edy Sumarno²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Universitas Pamulang; Jl. Raya Puspittek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310

Keywords:

Grounding, Substation, IEEE 80-2013, Grid Rod, ETAP

Correspondent Email:

azizdwi@gmail.com

Abstrak. Sistem pentanahan memiliki peran penting dalam menjaga keamanan operasional gardu induk serta melindungi peralatan dan personel dari risiko tegangan lebih akibat gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem pentanahan pada Gardu Induk 150 kV Serpong berdasarkan standar IEEE 80-2013. Metode yang digunakan meliputi pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat Earth Tester, simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP versi 19.0, serta perhitungan teoritis menggunakan rumus yang sesuai standar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai resistansi tanah di enam titik lokasi berada dalam rentang 0,12 Ω hingga 0,85 Ω , yang seluruhnya masih berada di bawah batas maksimum 1 Ω sebagaimana dipersyaratkan. Hasil simulasi ETAP menunjukkan nilai resistansi pada rentang 0,278 Ω hingga 0,798 Ω , sedangkan perhitungan manual menghasilkan nilai 0,359 Ω hingga 0,753 Ω . Keseluruhan hasil ini membuktikan bahwa konfigurasi sistem pentanahan grid-rod sangat efektif dalam menurunkan nilai resistansi tanah serta memberikan hasil yang konsisten dan handal pada setiap pendekatan perhitungan yang digunakan.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. The grounding system plays an important role in maintaining the operational safety of substations and protecting equipment and personnel from the risk of overvoltage caused by faults. This study aims to analyze the effectiveness of the grounding system at the 150 kV Serpong Substation based on the IEEE 80-2013 standard. The methods used include direct field measurements using an Earth Tester, simulations with ETAP software version 19.0, and theoretical calculations using standard-based formulas. The measurement results show that the soil resistance values at six locations range from 0.12 Ω to 0.85 Ω , all of which are still below the maximum limit of 1 Ω as required. The ETAP simulation results indicate resistance values ranging from 0.278 Ω to 0.798 Ω , while manual calculations yield values ranging from 0.359 Ω and 0.753 Ω . These overall results prove that the grid-rod grounding system configuration is highly effective in reducing soil resistance values and provides consistent and reliable results across every calculation approach used.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka sehari-hari [1]. Oleh karena itu,

dibutuhkan suatu sistem yang dapat memberikan pasokan listrik yang baik agar dapat mendistribusikan energi listrik ke seluruh lapisan masyarakat. Tanah merupakan medium

pembumian yang bersifat sebagai konduktor. Untuk frekuensi tinggi dan gelombang bermuka curam seperti petir dapat diartikan bahwa tanah merupakan konduktor sempurna [2]. Keberhasilan suatu operasi sistem tenaga listrik salah satunya bergantung pada kinerja gardu induk yang efektif dan efisien. Gardu Induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berpotensi mengalami gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir, tegangan impuls petir, tegangan impuls hubung buka, dan arus gangguan [3],[4]. Untuk menjamin keamanan peralatan sistem dan keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan lebih pada gardu induk diperlukan sistem pentanahan yang baik [5]. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan tanah sehingga dapat mengamankan manusia dan peralatan dari bahaya tegangan listrik yang abnormal [6].

Sistem pentanahan dengan konfigurasi grid rod paling sering digunakan pada gardu induk [7]. Hal ini karena nilai resistansi tanah yang diperoleh dengan menggunakan konfigurasi tersebut sangatlah kecil, bahkan kurang dari 1 Ω .

2. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu sistem proteksi dalam sistem kelistrikan adalah sistem pentanahan. Sistem pentanahan Gardu induk berfungsi untuk membatasi tegangan antar peralatan, antar tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul di permukaan tanah saat terjadi gangguan (arus tinggi) [8]. Sistem Pentanahan menggunakan elektroda yang ditanam ketanah, kemudian dihubungkan dengan peralatan/sistem gardu induk. Dalam sistem pentanahan tersebut untuk mengamankan peralatan rumah tangga agar aman dari gangguan.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perbandingan data pengukuran secara langsung, menggunakan aplikasi Etap dan perhitungan rumus, yang bertujuan untuk menilai efektivitas yang telah diterapkan untuk meningkatkan keselamatan.

Metode yang digunakan: sistem pentanahan plat, sistem pentanahan *mesh* dan sistem pentanahan *grid-rod*. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan desain sistem pentanahan

yang baik dengan nilai tahanan pentanahan yang rendah.

Oleh karena itu penelitian ingin mengetahui berapa nilai resistansi pentanahan di gardu induk Serpong 150 kV berdasarkan standar IEEE 80 2013 [9],[10].

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada flowchart di bawah ini.



Gambar 3. 1 Flowcart

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perbandingan data pengukuran secara langsung, menggunakan aplikasi Etap dan perhitungan rumus.

3.1. Tahapan Review (Review Steps)

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari gangguan listrik [11].

A. Tujuan Dari Sistem Pentanahan

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi.

B. Jenis Gangguan

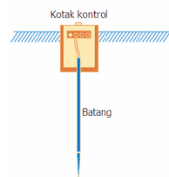
1. Petir, efek sambaran petir menyebabkan percikan api dan kebakaran. sambaran petir bisa menyebabkan kerusakan mekanis pada bangunan, komponen dan alat-alat pada gardu induk.
2. Gangguan hubung singkat adalah salah satu penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini terjadi karena adanya saluran fasa yang terhubung dengan tanah atau dengan saluran fasa lainnya.

3.2. Teori

A. Elektroda Pentanahan

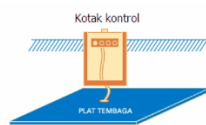
Elektroda pentanahan merupakan suatu alat yang dipasang ditanam langsung didalam tanah yang berfungsi untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah [12].

1. Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pipa atau batang baja profil maupun logam lain yang dipasangkan tegak lurus ke dalam tanah.



Gambar 3. 2 Elektroda Batang

2. Elektroda plat terbuat dari lempengan pelat logam yang berbentuk persegi atau persegi panjang [13].



Gambar 3. 3 Elektroda Plat

3. Elektroda pita biasanya terbuat dari bahan logam yang dipilin, jenis elektroda pentanahan yang biasanya digunakan untuk daerah yang memiliki tahanan jenis tanah yang rendah atau dengan kata lain cocok pada daerah yang jarang mengalami kekeringan.



Gambar 3. 4 Elektroda Pita

B. Tahanan Jenis Tanah

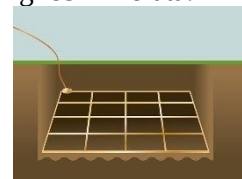
Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan [14]. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter. Dalam bahasan di sini menggunakan satuan Ohm-meter, yang mempresentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah.

Tabel 3. 1 Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ω)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

C. Sistem Pentanahan Mesh

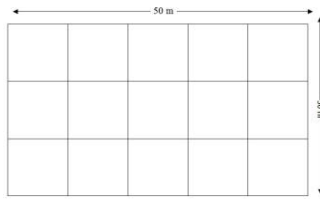
Pentanahan *Mesh* adalah sistem pentanahan yang mirip dengan sistem *grid* tetapi memiliki skala yang lebih kecil dan fokus pada area tertentu. Sistem ini terdiri dari konduktor yang disusun membentuk pola jaring di atas atau di dalam permukaan tanah. Tujuannya adalah untuk mengurangi resistansi tanah secara efektif sekaligus memastikan distribusi arus gangguan yang lebih merata.



Gambar 3. 5 Sistem Pentanahan Mesh

D. Sistem Pentanahan Grid

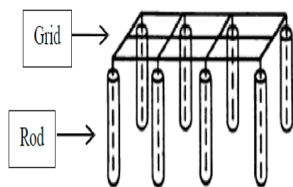
pentanahan *grid* merupakan salah satu sistem pentanahan yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pentanahan lainnya. Beberapa keuntungan tersebut antara lain pemasangannya lebih mudah terutama pada daerah berbatu, *gradien* tegangan pada sistem pentanahan *grid* akan lebih rata.



Gambar 3. 6 Sistem Pentanahan Grid

E. Sistem Pentanahan Grid Dan Rod

Pentanahan *Grid-Rod* merupakan modifikasi desain dari pentanahan *Grid* dimana pada konduktor *grid* ditancapkan batang pentanahan (*ground rod*) secara vertikal yang jumlah dan susunan konfigurasi penanamannya tergantung dari desain yang diinginkan. Biasanya sering digunakan dalam sistem pentanahan pada gardu induk.



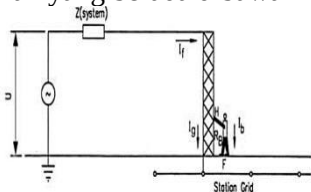
Gambar 3. 7 Sistem Pentanahan Grid Dan Rod

F. Ground Potential Rise (GPR)

Ground Potential Rise merupakan konsep penting dalam sistem pentanahan, yang merujuk pada tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh suatu *grid* pentanahan. GPR menjadi sangat penting untuk memastikan keselamatan manusia dan peralatan di sekitar area gardu induk atau instalasi listrik lainnya.

G. Tegangan Sentuh

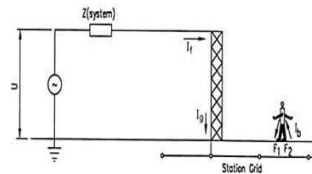
Tegangan sentuh merupakan tegangan yang terdapat diantara suatu objek yang disentuh dengan titik sentuhan objek yang berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan sistem pengetanahan yang berada dibawahnya.



Gambar 3. 8 Tegangan Sentuh

H. Tegangan langkah

Tegangan langkah merupakan beda potensial antara satu langkah kaki di atas permukaan tanah dan terdiri dari dua titik dengan jarak 1 meter, yang dialami oleh seseorang yang menghubungkan kedua titik tersebut dengan kedua kakinya tanpa menyentuh suatu peralatan



Gambar 3. 9 Tegangan Langkah

I. Aplikasi ETAP

ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) merupakan sebuah *software* yang berfungsi sebagai penganalisis sebuah sistem kelistrikan secara rinci. Mulai dari power, bahkan hingga *network* [15]. ETAP 19.0 ini mampu bekerja secara offline untuk menganalisis *grounding*, *load flow*, *short circuit*, *harmonic*, maupun pengaman pada motor.



Gambar 3. 10 Aplikasi ETAP

J. Standar IEEE 80-2013

Standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* atau IEEE 80-2013 mencakup berbagai elemen penting dalam sistem grounding, seperti perhitungan resistansi grounding yang optimal, yang sebaiknya kurang dari 1 Ω .

Rumus Persamaan

A. Persamaan 2.1 menunjukkan perhitungan tahanan pentanahan elektroda batang.

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Dimana :

R_G = Tahanan pentanahan (Ω)

R_R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)

L_R = Panjang elektroda (m)

A_R = Diameter elektroda (m)

- B. Persamaan 2.2 menunjukkan perhitungan tahanan pentanahan elektroda plat.

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln \left(\frac{8W_P}{\sqrt{0,5W_P + T_P}} \right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dimana:

R_P = Tahanan pentanahan pelat (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)

L_P = Panjang pelat (m)

- C. Persamaan 2.3 menunjukkan perhitungan tahanan pentanahan elektroda pita.

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2L_W}{\sqrt{2D_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right] \quad (2.3)$$

Dimana :

R_W = Tahanan dengan kisi – kisi (*grid*) kawat (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)

L_W = Panjang total *grid* kawat (m)

d_W = Diameter kawat (m)

Z_W = Kedalaman penanaman (m)

A_W = Luasan yang di cakup oleh *grid* (m²).

- D. Persamaan 2.4 menunjukkan perhitungan tahanan jenis tanah.

$$\rho = 2\pi a R \quad (2.4)$$

Dimana:

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω)

a = Jarak penanaman antar elektroda (m)

R = Tahanan tanah (Ω)

- E. Persamaan 2.5 menunjukkan perhitungan tahanan pentanahan jenis mesh.

$$R_m = p = \left[\frac{1}{L_c} + \frac{1}{\sqrt{2A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{2}{A}}} \right) \right] \quad (2.5)$$

Dimana:

R_m = Tahanan pentanahan Mesh (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)

A = Luas area sistem mesh (m²)

h = Kedalaman penanaman sistem mesh dari permukaan tanah (m)

L_c = Total panjang konduktor (m)

- F. Persamaan 2.6 menunjukkan perhitungan tahanan *ground potential rise* (GPR).

$$GPR = R_G \cdot I_G \quad (2.10)$$

Dimana :

R_G = Resistansi *grid* pentanahan (Ω)

I_G = Arus *grid* maksimum (A)

- G. Persamaan 2.7 menunjukkan perhitungan tahanan pentanahan jenis *grid Rod*

$$R_G = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (2.6)$$

Dimana:

R_G = Tahanan pentanahan *grid* (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω m)

A = Luas area sistem *grid* (m²)

L = Total panjang konduktor rod (m)

h = Kedalaman penanaman sistem *grid* dari permukaan tanah (m)

- H. persamaan 2.8 dan 2.9 menunjukkan perhitungan tegangan sentuh yang diizinkan, Manusia dengan berat badan 50 kg dan 70 kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$E_t^{50} = [1000 + 1,5\rho_s C_s] \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (2.11)$$

$$E_t^{70} = [1000 + 1,5\rho_s C_s] \frac{0,157}{\sqrt{t}} \quad (2.12)$$

Dimana :

E_t^{50} = Tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan orang 50 kg (V)

E_t^{70} = Tegangan sentuh diizinkan untuk berat badan orang 70 kg (V)

ρ_s = Tanahan jenis batu pecah (Ω m)

ρ = Tahanan jenis tanah dibawah lapisan batu pecah (Ω m)

C_s = Adalah factor reduksi

h_s = ketebalan lapisan batu pecah (m)

t = Lama waktu gangguan (s).

Faktor reduksi C_s sebagai fungsi dari factor refleksi K dan ketebalan lapisan batu pecah h_s , sebagai berikut :

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1-\frac{P}{P_s})}{2h_s+0,09} \quad (2.13)$$

Dimana :

C_s = Faktor Reduksi

h_s = Faktor pembagi arus

ρ = Tahanan jenis tanah

p_s = Tahanan material permukaan tanah

- I. Persamaan 2.10 dan 2.11 menunjukkan perhitungan tegangan langkah yang diizinkan,

Manusia dengan berat badan 50 kg dan 70 kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$E_s^{50} = [1000 + 6\rho_s C_s] \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (2.14)$$

$$E_s^{70} = [1000 + 6\rho_s C_s] \frac{0,157}{\sqrt{t}} \quad (2.15)$$

Dimana :

E_s^{50} = Tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (V)

E_s^{70} = Tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 70 kg (V)

ρ_s = Tahanan jenis batu pecah (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah dibawah lapisan batu pecah (Ω)

C_s = Factor reduksi

h_s = Ketebalan lapisan batu pecah (m)

t = Lama waktu gangguan (s)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Data Lokasi Titik A

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik A di sekitar area trafo 1.

Tabel 4. 1 Data Lokasi A

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	55	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	30	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang
	Kedalaman Konduktor	0,8	m
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	50	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	4	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Korral	2500	Ω
	Ketebalan Batu Korral	3	m

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	67	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	42	Ω
	Ketebalan Tanah	5	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg
	Standar Perhitungan		IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	20	kA
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	30	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	100	%

4.2 Hasil Data Lokasi Titik B

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik B di sekitar area trafo 3.

Tabel 4. 2 Data Lokasi B

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	49	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	35	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang
	Kedalaman Konduktor	0,8	m

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	50	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	4	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Koral	2500	Ω
	Ketebalan Batu Koral	3	m
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	60	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	35	Ω
	Ketebalan Tanah	5	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg
	Standar Perhitungan	IEE 80-2013	IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	20	kA
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	30	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	100	%

4.3 Hasil Data Lokasi Titik C

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik C di sekitar area busbar 2.

Tabel 4. 3 Data Lokasi C

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	45	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	38	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang
	Kedalaman Konduktor	0,8	m
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	95	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	4	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Koral	2500	Ω
	Ketebalan Batu Koral	3	m
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	48	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	30	Ω
	Ketebalan Tanah	5	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg
	Standar Perhitungan	IEE 80-2013	IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	20	kA

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	30	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	100	%

4.4 Hasil Lokasi Titik D

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik D di sekitar area dekat kapasitor 2.

Tabel 4. 4 Data Lokasi D

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	45	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	40	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang
	Kedalaman Konduktor	0,8	m
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	240	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	4	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Korai	2500	Ω
	Ketebalan Batu Korai	3	m
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	25	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	20	Ω
	Ketebalan Tanah	4	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	Standar Perhitungan	IEE 80-2013	IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	20	kA
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	30	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	100	%

4.5 Hasil Lokasi Titik E

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik E di sekitar area dekat bay lengkung 1-2 (baru).

Tabel 4. 5 Data Lokasi E

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	50	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	37	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang
	Kedalaman Konduktor	0,8	m
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	240	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	5	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Korai	1000	Ω

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	Ketebelan Batu Korat	2	m
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	25	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	20	Ω
	Ketebelan Tanah	3	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg
	Standar Perhitungan	IEE 80-2013	IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	25	kA
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	40	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	90	%

4.6 Hasil Lokasi Titik F

Data penelitian yang dikumpulkan mencakup informasi teknis mengenai sistem pentanahan pada Lokasi Titik F di sekitar area dekat trafo 1 (baru).

Tabel 4. 6 Data Lokasi F

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Konduktor Grid		
	Panjang Dimensi (Sumbu X)	50	m
	Lebar Dimensi (Sumbu Y)	38	m
	Jumlah Konduktor (Panjang Sumbu Y)	12	Batang
	Jumlah Konduktor (Lebar Sumbu X)	11	Batang

No	Keterangan	Nilai	Satuan
	Kedalaman Konduktor	0,8	m
	Ukuran Konduktor (Size Luas Penampang)	240	mm
2	Rod		
	Jumlah Rod	4	Batang
	Diameter Rod	1,6	cm
	Panjang Rod	5	m
3	Resistansi Tanah		
	Resistansi Batu Korat	1000	Ω
	Ketebelan Batu Korat	2	m
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Atas)	25	Ω
	Jenis Tanah/Resistansi Tanah (Bawah)	20	Ω
	Ketebelan Tanah	3	m
4	Metode Perhitungan Langkah & Sentuh		
	Berat Badan	50/70	kg
	Standar Perhitungan	IEE 80-2013	IEE 80-2013
	Suhu Sekitar Konduktor	30	$^{\circ}\text{C}$
	Tf (Lama Gangguan)	0,5	Sec
	Tc (Ukuran Konduktor)	0,3	Sec
	Ts (Lama Waktu Kejut)	0,12	Sec
	Ifg (Besar Arus Gangguan)	25	kA
	X/R (Rasio Reaktansi terhadap Resistansi)	10	Ω
	Sf (Arus Gangguan Ke Tanah)	40	%
	Cp (Arus Gangguan Yang Mengalir Ke Konduktor)	90	%

4.7 Hasil Pengukuran Keseluruhan

Hasil dari pengukuran sistem pentanahan pada Gardu Induk 150 kV Serpong, dilakukan di enam titik lokasi. Masing-masing titik dilakukan pengukuran secara

langsung serta simulasi menggunakan aplikasi ETAP dan perhitungan menggunakan rumus untuk memastikan kesesuaian terhadap standar IEEE 80-2013.

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Nilai Pengukuran Secara Langsung, Simulasi Menggunakan ETAP Dan Perhitungan Menggunakan Rumus

No	Lokasi	Pengukuran Secara Langsung (Ω)			Perhitungan Menggunakan ETAP (Ω)	Perhitungan Menggunakan Rumus (Ω)
		09:00	12:00	15:00		
1	A	0,71	0,85	0,66	0,798	0,753
2	B	0,63	0,68	0,55	0,713	0,736
3	C	0,48	0,57	0,49	0,572	0,559
4	D	0,17	0,43	0,31	0,289	0,370
5	E	0,12	0,25	0,19	0,281	0,363
6	F	0,15	0,30	0,27	0,278	0,359

Tabel Hasil Nilai Rata – Rata Pengukuran Secara Langsung

Tabel 4. 8 Hasil Rata-Rata Pengukuran

No	Lokasi	Rata – Rata Pengukuran Secara Langsung (Ω)
1	A	0,74
2	B	0,62
3	C	0,51
4	D	0,30
5	E	0,18
6	F	0,24

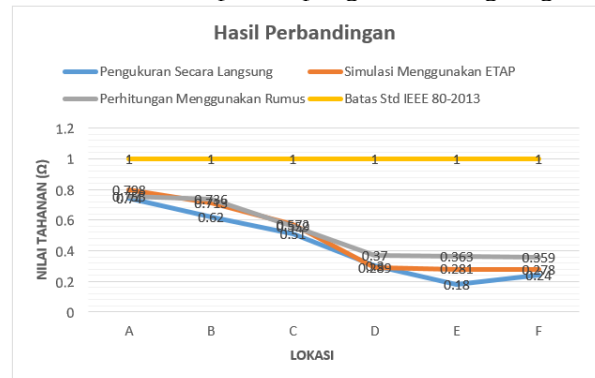
Berdasarkan tabel diatas, seluruh nilai tahanan berada di bawah batas maksimum 1 Ω , sesuai dengan standar IEEE 80-2013, yang mengindikasikan bahwa sistem pentanahan pada setiap titik memiliki performa yang baik dan aman untuk keselamatan manusia dan peralatan.

Perhitungan sistem pentanahan dilakukan dengan membandingkan tiga metode. perbandingan dilakukan pada enam titik pengukuran yaitu Titik A, B, C, D, E, dan F. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4. 9 Tabel Selisih

No	Lokasi	Selisih Langsung - Etap (Ω)	Selisih Langsung - Rumus (Ω)	Selisih Etap - Rumus (Ω)
1	A	0,058	0,013	0,045
2	B	0,093	0,116	0,023
3	C	0,062	0,049	0,013
4	D	0,011	0,07	0,21
5	E	0,101	0,183	0,082
6	F	0,038	0,119	0,081

Tabel diatas menunjukkan selisih nilai tahanan pentanahan antara tiga metode. Secara umum, selisih antara ETAP dan rumus lebih kecil dibandingkan dengan selisih terhadap hasil pengukuran langsung.



Gambar 4. 1 Hasil Perbandingan

Grafik 4.13 menunjukkan perbandingan nilai tahanan pentanahan pada 6 titik lokasi menggunakan rumus berdasarkan standar yang berlaku.

Pada titik A, B, dan C, terlihat bahwa hasil dari ketiga metode berada dalam kisaran nilai yang relatif dekat. Sebagai contoh, di lokasi A, hasil rata rata pengukuran langsung sebesar 0,74 Ω , sedangkan nilai dari simulasi ETAP 0,798 Ω , dan perhitungan rumus mencapai 0,753 Ω . seperti juga terlihat pada lokasi B dan C. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik tanah di lokasi tersebut kemungkinan sesuai dengan parameter yang digunakan dalam simulasi dan rumus, sehingga perbedaannya tidak terlalu jauh.

Sebaliknya, pada lokasi D, E, dan F, perbedaan nilai dari ketiga metode tampak lebih besar. Hasil pengukuran langsung cenderung jauh lebih rendah dibandingkan hasil dari ETAP dan rumus. Misalnya, pada lokasi F, nilai rata rata pengukuran langsung hanya 0,18 Ω , sedangkan ETAP

menghasilkan $0,278 \Omega$, dan rumus menunjukkan $0,359 \Omega$. Ini menunjukkan adanya kemungkinan bahwa kondisi nyata di lapangan seperti jenis tanah, kelembaban, suhu, dan keberadaan benda logam di dalam tanah, yang semuanya bisa memengaruhi hasil secara signifikan.

Evaluasi sistem pentanahan pada Gardu Induk Serpong 150 kV ini dilakukan berdasarkan pedoman teknis dan standar keselamatan yang tercantum dalam IEEE 80-2013. Hasil evaluasi dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.10 Hasil Evaluasi

No	Keterangan	Nilai Batas IEEE 80-2013	Data Hasil	Evaluasi
1	Tahanan Pentanahan	$< 1 \text{ Ohm}$	$0,12 - 0,85 \text{ Ohm}$	Memenuhi
2	Tegangan Sentuh	$< 890 \text{ V}$	$< 890 \text{ V (Etap)}$	Memenuhi
3	Tegangan Langkah	$< 3140 \text{ V}$	$< 3140 \text{ V (Etap)}$	Memenuhi
4	Evisiensi Sistem <i>Grid Rod</i>	Rendah	Baik	Memenuhi

KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan, diketahui bahwa seluruh titik pengujian menunjukkan nilai resistansi pentanahan dalam rentang $0,12 \Omega$ hingga $0,85 \Omega$, yang seluruhnya masih berada di bawah batas maksimum 1Ω sesuai dengan ketentuan dalam standar IEEE 80-2013.
2. Konfigurasi sistem pentanahan *grid rod* yang digunakan terbukti mampu menurunkan nilai resistansi secara signifikan. pentanahan *grid rod* dapat memperluas area kontak dengan tanah, sehingga mampu menurunkan nilai resistansi dan meningkatkan keselamatan serta efisiensi sistem.
3. Hasil simulasi menggunakan *software* ETAP menunjukkan bahwa nilai resistansi pentanahan yang diperoleh dalam rentang $0,278 \Omega$ hingga $0,798 \Omega$ konsisten dengan hasil pengukuran lapangan dan perhitungan manual.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya memasukkan variabel waktu dan musim, seperti musim hujan dan kemarau, untuk melihat bagaimana perubahan kadar air tanah mempengaruhi nilai resistansi pentanahan secara signifikan.
2. Ditambahkan Penggunaan Berbagai *Software* Simulasi Selain menggunakan aplikasi ETAP, agar dapat menilai akurasi dan efektivitas masing-masing perangkat lunak dalam analisis sistem pentanahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. U. Hardi, T. Taufiq, Raihan Putri, dan F. A. Nasution, "Pengaruh Tahanan Jenis Tanah Terhadap Sistem Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang Dilokasi Gedung Teknik Elektro Unimal," *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, hal. 314–326, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i2.1818.
- [2] C. P. Sari, Budiman, dan Y. Ridal, "Studi analisa pemasangan panjang dan jarak elektroda batang pada sistem pentanahan," *J. Mesil (Mesik Elektro Sipil)*, vol. 5, no. 2, hal. 147–159, 2024.
- [3] M. R. HARJIAN, "Analisis Saifi Dan Saidi Sebagai Indeks Keandalan Pada Gardu Induk Kuta Menggunakan Metode Section Technique and Failure Mode Effect & Analysis (Fmea)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6450.
- [4] Y. Laia, M. Irwanto, T. T. Gultom, dan D. H. Sembiring Maha, "Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk Titi Kuning PT. PLN (Persero) Dengan MATLAB," *Impr. J. Teknol. dan Inf.*, vol. 2, no. 3, hal. 124–132, 2023, doi: 10.59086/jti.v2i3.441.
- [5] N. G. Pahiyanti, S. Sukmajati, dan A. Malik, "Nilai Tahanan Kontak Pada PMS BAY Cengkareng Terhadap Rugi Daya Di Gardu Induk Duri Kosambi," *Sutet*, vol. 11, no. 2, hal. 61–70, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1557.
- [6] D. J. Sinaga *et al.*, "Dengan Menggunakan Etap Dan Matlab," *Anal. Sist. Pembumian Gardu Induk Dengan Menggunakan ETAP DAN MATLAB*, vol. 13, no. 3, hal. 1118–1123, 2021.
- [7] N. made S. Inayatullah. Agung Budi M, "Analisis Sistem Pentanahan Pada Gardu Induk 150 Kv Mataram Terhadap Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Dengan Simulasi Software Etap 19.0.1," 2000.
- [8] F. Fauzi dan R. Radhiah, "Peran Tahanan

- Pentanahan pada Peralatan Listrik,” *J. Litek J. List. Telekomun. Elektron.*, vol. 18, no. 1, hal. 28, 2021, doi: 10.30811/litek.v18i1.2151.
- [9] M. Ridho, P. Siagian, dan Z. Tharo, “Analisis Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Gardu Induk 150 Kv Siempat Rube,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5321.
- [10] M. Anwar, N. Fajri, R. A. Duyo, dan Z. Zainuddin, “Analisis Penentuan Tegangan Mesh Terhadap,” *J. Tek. Elektro*, vol. 15, no. 1, hal. 72–79, 2023.
- [11] N. M. Seniari dan B. W. Dharma, “Effect Of Electroda length PENGARUH PANJANG ELEKTRODA, RESISTIVITAS TANAH DAN FREKUENSI ARUS PETIR TERHADAP IMPEDANSI PENGETANAHAN ELEKTRODA BATANG,” *Dielektrika*, vol. 8, no. 1, hal. 31, 2021, doi: 10.29303/dielektrika.v8i1.264.
- [12] I. sarjan mento Nain, L. M. K. Amali, dan S. Salim, “Studi Resistansi Elektroda Pentanahan Menggunakan Metode Tiga Kutup,” *J. Renew. Energy Eng.*, vol. 3, no. 1, hal. 1–7, 2025, doi: 10.56190/jree.v3i1.44.
- [13] R. Wahyuningsih, Purwoharjono, dan Iqbal Arsyah, “Pemanfaatan limbah sekam padi terhadap penurunan resistansi pentanahan menggunakan elektroda plat berbentuk persegi,” *Univ. Tanjungpura*, hal. 11, 2021.
- [14] G. W. S. Nugraha, S. Sunardi, dan T. Arifianto, “Pembuatan Sistem Grounding Axle Counter Berdasarkan Tahanan Jenis Tanah dan Kedalaman Grounding,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, hal. 1–13, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.803.
- [15] A. Kiswantono, “Pengembangan Sistem Energi Terbarukan: Pendekatan Multigenerator Dan Simulasi Etap,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4147.