

## **SISTEM PENTANAHAN SWITCHYARD DENGAN KISI-KISI (GRID) PADA GARDU INDUK 150 KV BANTUL**

**Slamet Hani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, 55222

<sup>1</sup>Email: shan.akprind@gmail.com

Masuk: 1 Maret 2017, Revisi masuk: 10 Juli 2017, Diterima: 28 Juli 2017

### **ABSTRACT**

*The substation has a great possibility of experiencing a hazard caused by the disturbance of lightning and overcurrent so that the current disturbance flows to the ground as a result of the insulation of equipment that is not functioning properly. One of the security systems on the substation is grounding. The grounding system is a delivery system that connects the system, equipment and installation bodies with the earth / ground so as to secure the human from electric shock, and secure the installation components from the dangers of abnormal voltage / currents. Therefore, research is conducted with respect to the grid earthing system on the Switchfield Substation (GI) switchyard. The research applies some data retrieval methods, namely: Literature study method, covering the studying literature related to earth system in switchyard area of 150 kV Bantul, and literature related to earth type resistance calculation, soil type resistance, type of system earth, and type of electrode used. Based on the result of the analysis of the value of ground grid of Substation in Bantul is 0,527 Ohm. Or the difference in value of 0.043 Ohm or 7.54% smaller than the measurement value of 0.57 Ohm. Touch tension value of 207.5 Volts for people weighing 70kg, and 153.3V for weight 50Kg. with the actual maximum touch voltage value of 261.53 Volts. The step voltage value of 288.7 Volts for people weighing 70kg, and 213.3V for weight 50Kg. with an actual maximum step voltage value of 857.4 Volts.*

**Keywords:** Substation, Ground, Switchyard.

### **INTISARI**

Pada gardu induk mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya yang disebabkan oleh timbulnya gangguan dari petir maupun arus lebih sehingga arus gangguan itu mengalir ke tanah sebagai akibat isolasi peralatan yang tidak berfungsi dengan baik. Salah satu sistem pengamanan pada Gardu Induk ialah pentanahan. Sistem pentanahan adalah sistem penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, serta mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Oleh sebab itu, penelitian yang dilakukan berkenaan dengan sistem pentanahan *grid* pada *switchyard* Gardu Induk (GI). Peneliti menerapkan beberapa metode pengambilan data, yaitu: Metode studi Literatur, yang meliputi hal-hal mempelajari literatur yang berkaitan dengan sistem pentanahan pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, dan literatur yang berhubungan dengan perhitungan tahanan jenis pentanahan, tahanan jenis tanah, jenis sistem pentanahan, serta jenis elektroda yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis besarnya nilai pentanahan *grid* Gardu Induk Bantul adalah sebesar 0.527 Ohm. Atau selisih nilai sebesar 0.043 Ohm atau 7.54% lebih kecil dari nilai pengukuran yaitu 0.57 Ohm. Nilai tegangan sentuh sebesar 207.5 Volt untuk orang dengan berat badan 70kg, dan 153.3 Volt untuk berat badan 50Kg. dengan nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya sebesar 261.53 Volt. Nilai tegangan langkah sebesar 288.7 Volt untuk orang dengan berat badan 70kg, dan 213.3 Volt untuk berat badan 50Kg. dengan nilai tegangan langkah maksimum sebenarnya sebesar 857.4 Volt.

**Kata kunci:** Gardu Induk, Pentanahan, *Switchyard*.

## PENDAHULUAN

Sistem pentanahan *switchyard* adalah menghubungkan suatu titik rangkaian listrik pada gardu induk dengan bumi dengan cara tertentu, apabila suatu tindakan pengamanan atau perlindungan yang akan dilaksanakan. Maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar, agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif. Maksud system pentanahan antara lain membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian efektif, dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubungan (*surge currents*), menggunakan bahan tahan korosi terhadap bagian kondisi kimiawi tanah, menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pemeliharaan.

Pada gardu induk mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya yang disebabkan oleh timbulnya gangguan dari petir maupun arus lebih sehingga arus gangguan itu mengalir ke tanah sebagai akibat isolasi peralatan yang tidak berfungsi dengan baik. Arus gangguan tersebut akan mengalir pada bagian - bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah di sekitar gardu induk. Arus gangguan ini menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Besarnya gradien tegangan pada permukaan tanah tergantung pada tahanan jenis tanah atau sesuai dengan struktur tanah tersebut.

Sistem pentanahan adalah sistem penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, serta mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi hal yang sangat penting dalam hal pengamanan gangguan listrik (Sumardjati, 2008)

Pembumian *grid* merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan di gardu induk karena

mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan sistem pembumian lainnya. Beberapa keuntungan tersebut antara lain gradien tegangan pada sistem pembumian *grid* akan lebih rata serta tahanan pentanahan yang lebih kecil. Sistem pembumian *grid* dilakukan dengan cara menanamkan batang-batang elektroda pada kedalaman tertentu. Batang-batang elektroda tersebut terhubung satu dengan yang lainnya menggunakan kawat/konduktor, sehingga membentuk beberapa buah mesh. Distribusi tegangan tergantung pada jarak elektroda paralel, makin besar jarak elektroda maka pendistribusian tegangannya makin tidak rata dan makin dekat jarak elektroda paralel maka pendistribusian tegangannya semakin merata (Syofian, 2013).

Pentanahan peralatan merupakan bentuk untuk membatasi tegangan antara bagian alat-alat yang tidak dilalui arus dan antara bagian alat-alat ini dengan tanah sampai didapatnya suatu harga tertentu, maksudnya tahanan yang aman bagi semua kondisi operasional baik berbentuk normal maupun tidak normal. Demi terciptanya bentuk tahanan yang aman seperti yang tersebut diatas maka diperlukan adanya pentanahan peralatan atau instalasi itu sendiri. Sistem pentanahan ini gunanya adalah untuk memperoleh potensial yang merata (*uniform*) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya dalam setiap waktu (Chow dan Salama, 1994).

Pembumian *grid* merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan sistem pembumian lainnya. Beberapa keuntungan tersebut antara lain gradien tegangan pada sistem pembumian *grid* akan lebih rata serta tahanan pentanahan yang lebih kecil. Sistem pembumian *grid* dilakukan dengan cara menanamkan batang-batang elektroda pada kedalaman tertentu. Batang-batang elektroda

tersebut terhubung satu dengan yang lainnya menggunakan konduktor, sehingga membentuk beberapa buah mesh. Distribusi tegangan tergantung pada jarak elektroda paralel, makin besar jarak elektroda maka pendistribusian tegangannya makin tidak rata dan makin dekat jarak elektroda paralel maka pendistribusian tegangannya semakin merata (Tanjung, 2010).

Menurut Schwarz Kaitan yang dapat diikuti pada persamaan dalam menentukan tahanan total pembumian yang tanahnya homogen yang terdiri dari grid horizontal dan penghantar rod vertikal. Persamaan schwarz dapat dilanjutkan untuk mengetahui tahanan kawat penghantar pembumian disebut  $R_1$ , pada tahanan pembumian grid keseluruhan disebut  $R_2$ ,  $R_m$  merupakan tahanan diantara kumpulan penghantar grid dan kumpulan pembumian rod-rod sedangkan  $R_g$  merupakan tahanan pembumian dapat dilihat pada persamaan 1.

$$R_g = \frac{R_1 \times R_2 - R_m^2}{R_1 \times R_2 - 2R_m} \quad (1)$$

Tahanan penghantar pembumian grid dapat dilihat pada persamaan 2.

$$R_g = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{K_1 \times L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (2)$$

dengan

= Tahanan jenis tanah (  $\Omega \cdot m$  )

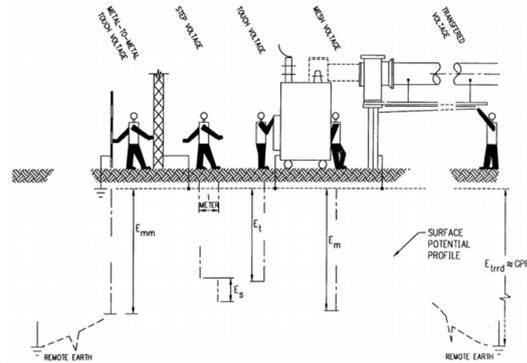
$L_c$  = Total panjang penghantar keseluruhan grid yang terhubung dalam satuan (m)

$a'$  =  $\sqrt{a \cdot h}$  untuk kedalaman penghantar  $h$  dalam satuan meter

$a$  = diameter penghantar dalam satuan m

$A$  = Area bagian penghantar dalam  $m^2$ .  
 $k_1, k_2$  = Koefisien

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian yang berada di bawahnya, seperti yang terlihat pada Gambar 1 menurut IEEE 80 - 2000.



Gambar 1. Beberapa jenis bahaya akibat gangguan tanah

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg yang berada diantara satu objek dapat dihitung tegangan sentuh pada persamaan 3 dan 4.

$$E_{t70} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

$$E_{t50} = (1000 + 1,5C_s \cdot \rho) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

dengan

$E_{t50}$  = Tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg,

$E_{t70}$  = Tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg,

$C_s$  = Faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah,

$s$  = Tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral), Ohm-m

$t$  = Waktu gangguan tanah (waktu kejut), detik.

Apabila tidak ada pengaman yang digunakan pada lapisan permukaan dengan

$C_s = 1$  dan  $s =$  .

$C_s$  dapat dianggap sebagai faktor koreksi untuk menghitung efektif kaki perlawanan di hadapan dengan ketebalan hingga permukaan material. Nilai  $C_s$  dapat digunakan 5% dari nilai analisa metode menurut (Thapar, Gerez, and Kejriwal). Faktor reduksi dari nilai resistivitas permukaan tanah diformulasikan seperti pada persamaan (5).

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left( 1 - \left( \frac{\rho}{\rho_s} \right) \right)}{2h_s + 0,009} \quad (5)$$

dengan

$h_s$  = Ketebalan lapisan batu koral (m)

= Tahanan jenis tanah (ohm-m)

$s$  = Tahanan jenis permukaan material lapisan batu koral (ohm-m)

Tabel 1. Tegangan sentuh yang diizinkan berdasarkan *IEEE std 80-2000*

Lama gangguan (t) (detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan (Volt)
0.1	1980
0.2	1400
0.3	1140
0.4	990
0.5	890
1	626
2	443
3	362

### METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan metode studi analisis tentang analisis sistem pentanahan dengan konstruksi berbentuk grid pada *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, untuk memperoleh data dan informasi secara lengkap, tepat dan jelas, maka peneliti menerapkan beberapa metode pengambilan data, yaitu: Metode studi Literatur, yang meliputi hal-hal mempelajari literatur yang berkaitan dengan sistem pentanahan pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, dan literatur yang berhubungan dengan perhitungan tahanan jenis pentanahan, tahanan jenis tanah, jenis sistem pentanahan, serta jenis elektroda yang digunakan. Metode Survei yang dilakukan adalah memantau secara langsung jenis pentanahan, kabel yang digunakan, jenis dan kedalaman tanah pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul.

Untuk menjalankan penelitian mengenai sistem pentanahan dengan konstruksi berbentuk grid pada *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, dilakukan langkah sebagai berikut:

Persiapan, pada tahap ini yang dilakukan adalah:

- 1) Menyusun proposal untuk melaksanakan penelitian.
- 2) Mengurus surat pengantar dari kampus untuk pelaksanaan penelitian.
- 3) Melakukan observasi lokasi serta melengkapi syarat-syarat administrasi pada perusahaan

Pelaksanaan, pada tahap ini hal yang dilakukan adalah:

- 1) Memahami mekanisme kerja dari objek yang akan diangkat.

- 2) Mencari buku referensi untuk tambahan materi.

- 3) Mengumpulkan data-data yang diperlukan di Gardu Induk

Setelah melakukan proses pengambilan data lengkap dan melakukan pengukuran terhadap sistem pentanahan dengan konstruksi berbentuk grid pada Gardu Induk, selanjutnya dilakukan perhitungan matematis mengenai nilai resistansi pentanahan grid, serta nilai tegangan sentuh serta tegangan langkah pada Gardu Induk saat terjadi gangguan hubung tanah dengan membandingkan dengan nilai standar yang diizinkan.

Spesifikasi Alat Ukur:

- a) Nama Alat: *Earth Tester*
- b) Model: Kyoritsu Digital Earth Tester 4105a
- c) *Range Earth Voltage*: 20 , 200 , 2000
- d) Rentang toleransi pengukuran: maks. 30%
- e) Sumber Daya : 9V DC
- f) Ukuran P=158 mm, L=105 mm, t=70 mm
- g) Berat: 550 gram
- h) Digital LCD Display.
- i) *Selector Range* Pengukuran

Spesifikasi material yang digunakan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi material yang digunakan

No	Equipment	Quantity
1	C Clamp 150/150 mm <sup>2</sup>	13 pcs
2	Grounding Rod	6 pcs
3	Schoon 150/150 mm <sup>2</sup> , 1 hole	170 pcs
4	Clamp for Bracing	144 pcs
5	Grounding Conductor 150 mm <sup>2</sup>	1600 mtr

Pada penelitian ini, diperoleh data antara lain dari dokumen pribadi PT. PLN (Persero) APP Salatiga Har GI Bantul yang berupa data Arus Gangguan dan lama gangguan, data spesifikasi konduktor pentanahan grid, dan kedalaman penanaman konduktor pentanahan. Data dari supervisor Gardu Induk 150 kV Bantul berupa data layout

Pentanahan Grid Gardu Induk 150 kV Bantul. Serta data pengukuran nilai tahanan pentanahan Grid pada area switchyard Gardu Induk 150 kV Bantul. Hasil Pengukuran tersebut sebagian diperoleh dari hasil pengukuran tahun 2015, 2016, maupun 2017 serta pengukuran yang dilakukan langsung oleh pegawai PT. PLN (Persero).

Adapun data hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan grid pada area switchyard Gardu Induk 150 kV Bantul dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan data pengukuran seperti Tabel 3, rata-rata nilai tahanan pentanahan grid pada area switchyard Gardu Induk 150 kV Bantul adalah 0.57 Ohm. Dengan Luas Area Pentanahan Switchyard Seluas 150 m x 60 m. Dengan rata-rata arus gangguan sebesar 15.8 kA. Dengan rata-rata lama gangguan 0.75 detik.

Tabel 3 Data Hasil Pengukuran Tanah Pentanahan grid Gardu Induk Bantul

No	Titik Pengukuran	Nilai Tahanan Pentanahan (Ohm)
1	Bay Klaten 1	1.36
2	Bay Klaten 2	0.30
3	Bay Semanu 1	0.03
4	Bay Semanu 2	0.30
5	Bay Wirobrajan 1	0.63
6	Bay Wirobrajan 2	0.21
7	Bay Purworejo	0.60
8	Bay Kentungan	0.87
9	Bay Wates	0.56
10	Bay Godean	0.45
11	Bay Trafo 1	0.67
12	Bay Trafo 2	0.47
13	Bay Trafo 3	0.68
14	Bay Kopel	0.82

Dalam melakukan analisis penulis menggunakan metode matematis mengenai nilai tahanan pentanahan *grid* pada area *switchyard*. Selain itu, penulis juga melakukan perhitungan untuk mengenai besarnya nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul. Selanjutnya, nilai perhitungan yang diperoleh akan dibandingkan dengan

nilai standar yang diizinkan baik standar IEEE std.80-200, serta PUIL 2000.

## PEMBAHASAN

Perhitungan nilai tahanan pentanahan *grid* pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul dibawah ini menggunakan metode perhitungan berdasarkan standar *IEEE std-80 2000*. Dengan data seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Data parameter perhitungan pentanahan *grid switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul

Tahanan Jenis Tanah	100 Ω
Jenis Konduktor	tembaga
Panjang total konduktor pentanahan	1600 m
Diameter konduktor	13,8 x 10 <sup>-3</sup> m
Kedalaman penanaman konduktor	8 m
Koefisien (K <sub>1</sub> )	1,31
Koefisien (K <sub>2</sub> )	5,875

$$R_g = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{K_1 x L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

$$R_g = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[ \ln \left( \frac{2L_c}{\sqrt{a \cdot h}} \right) + \frac{K_1 x L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

$$R_g = \frac{100}{3,14 \times 1600} \left[ \ln \left( \frac{2 \times 1600}{\sqrt{0,00138 \times 8}} \right) + \frac{1,31 \times 1600}{\sqrt{9000}} - 5,875 \right]$$

$$\frac{1,31 \times 1600}{\sqrt{9000}} - 5,875$$

$$R_g = \frac{1}{50,24} \left[ \ln \left( \frac{3200}{0,1104} \right) + \frac{2096}{94,87} - 5,875 \right]$$

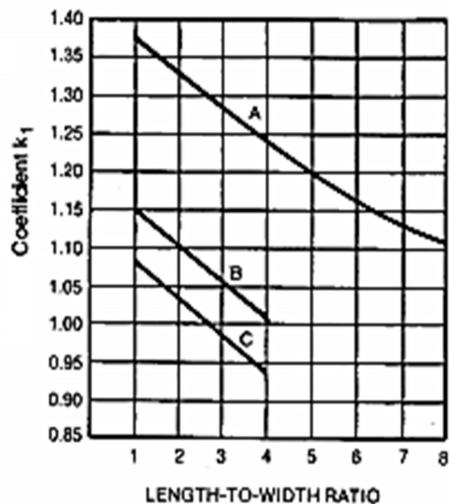
$$R_g = \frac{1}{50,24} [10,27 + 22,09 - 5,875]$$

$$R_g = \frac{1}{50,24} [26,485]$$

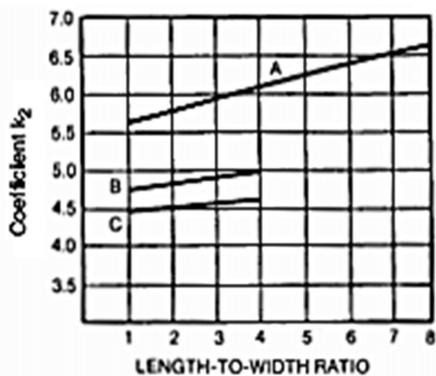
$$R_g = 0,527 \Omega$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai pentanahan *grid* pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul dengan nilai tahanan R<sub>g</sub> sebesar 0,527

$\Omega$  dengan keadaan jenis tanah sawah ladang yang bersifat seragam (*uniform*) dengan luas area *switchyard* sebesar 150 m x 60 m. Penentuan besarnya nilai  $K_1$  dan  $K_2$  sesuai dengan kedalaman *grid*, luas *grid*, dan perbandingan panjang *grid* dengan lebar *grid*. Adapun penentuan nilai koefisien tampak pada Gambar 2.



CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $y_A = -0.04x + 1.41$   
CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_B = -0.05x + 1.20$   
CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/8 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_C = -0.05x + 1.13$



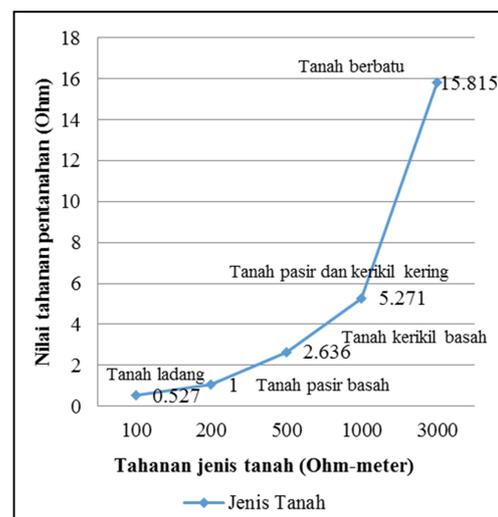
CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $y_A = 0.15x + 5.50$   
CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_B = 0.10x + 4.68$   
CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/8 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_C = -0.05x + 4.40$

Gambar 2 Kurva koefisien  $K_1$  dan  $K_2$

Berdasarkan hasil perhitungan dan data pengukuran pada Tabel 4 dapat diperoleh selisih nilai sebesar 0.043 Ohm atau 7.54% lebih besar dari nilai perhitungan. Hal ini dapat dikarenakan oleh beberapa hal antara lain keadaan cuaca atau lingkungan area Gardu Induk pada saat dilakukan pengukuran, sehingga menyebabkan nilai tahanan jenis tanah berubah. Perubahan tersebut dikarenakan adanya perubahan nilai kelembaban serta temperatur tanah di area tersebut. Akan tetapi, berdasarkan standar IEE 80 2000 dan PUIL 2000 dengan nilai tahanan pentanahan sebesar 0.57 Ohm masih dikatakan baik, atau masih direkomendasikan karena nilai tersebut masih dibawah nilai yang di standarkan oleh IEEE dan PUIL yaitu  $< 1$  Ohm untuk nilai tahanan pentanahan pada Gardu Induk.

#### 1. Nilai Pentanahan Grid Untuk Jenis Tanah yang Berbeda

Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa semakin kering (tingkat kelembaban rendah) jenis tanah tersebut, maka semakin tinggi nilai tahanan jenis tanahnya. Semakin besar nilai tahanan jenis tanah pada area tertentu menyebabkan nilai tahanan pentanahan semakin tinggi.



Gambar 3. Nilai pentanahan untuk jenis tanah berbeda

2. Tegangan sentuh untuk berat badan  
70Kg

Berdasarkan data yang diperoleh untuk besar arus gangguan sebesar 15kA dalam waktu 0.75 detik dengan kondisi permukaan tanah yang tak seluruhnya berlapisan koral (kerikil), maka nilai Cs = 1, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$E_{t70} = (1000 + 1,5Cs. \rho) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

$$E_{t70} = (1000 + 1,5. \rho) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

$$E_{t70} = (1000 + 1,5.100) \frac{0,157}{\sqrt{0,75}}$$

$$E_{t70} = (1150) \frac{0,157}{0,87}$$

$$E_{t70} = 207,5 \text{ Volt}$$

dengan

$E_{t70}$  : Tegangan sentuh berak badan  
70kg (Volt)

t : Waktu gangguan (detik)

3. Tegangan sentuh untuk berat badan  
50Kg

$$E_{t50} = (1000 + 1,5Cs. \rho) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{t50} = (1000 + 1,5. \rho) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{t50} = (1000 + 1,5.100) \frac{0,116}{\sqrt{0,75}}$$

$$E_{t50} = (1150) \frac{0,116}{0,87}$$

$$E_{t50} = 153,3 \text{ Volt}$$

dengan

$E_{t50}$  : Tegangan sentuh berak badan  
50kg (Volt)

t : Waktu gangguan (detik)

Tegangan sentuh maksimum sebenarnya

$$E_m = \frac{\rho \times K_m \times K_i \times I_G}{L_M}$$

$$E_m = \frac{100 \times 0,097 \times 2,876 \times 15000}{1600}$$

$$E_m = 261,53$$

Ki = faktor koreksi tegangan,

$$K_i = 0,65 + 0,172n$$

$$K_i = 2,876$$

Km = faktor geometrik tegangan.

Dengan demikian nilai tegangan langkah masih dikatakan aman, karena lebih rendah atau di bawah nilai tegangan langkah maksimum sebenarnya.

4. Tegangan langkah untuk berat badan  
70Kg

$$E_{s70} = (1000 + 6Cs. \rho) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

$$E_{s70} = (1000 + 6. \rho) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

$$E_{s70} = (1000 + 6.100) \frac{0,157}{\sqrt{0,75}}$$

$$E_{s70} = (1600) \frac{0,157}{0,87}$$

$$E_{s70} = 288,7 \text{ Volt}$$

dengan

$E_{s70}$  : Tegangan sentuh berak badan  
70kg (Volt)

t : Waktu gangguan (detik)

5. Tegangan langkah untuk berat badan  
50Kg

$$E_{s50} = (1000 + 6Cs. \rho) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{s50} = (1000 + 6. \rho) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$E_{s50} = (1000 + 6.100) \frac{0,116}{\sqrt{0,75}}$$

$$E_{s50} = (1600) \frac{0,116}{0,87}$$

$$E_{s50} = 213,3 \text{ Volt}$$

dengan

$E_{s50}$  : Tegangan sentuh berak badan  
50kg (Volt)

T : Waktu gangguan (detik)

6. Tegangan sentuh maksimum  
sebenarnya

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_G}{L_M}$$

$$E_s = \frac{100 \times 0,318 \times 2,876 \times 15000}{1600}$$

$$E_s = 857,4 \text{ V}$$

$K_i$  = faktor koreksi tegangan,

$$K_i = 0,65 + 0,172n$$

$$K_i = 2,876$$

$K_s$  = faktor geometrik tegangan.

Tabel 5. Tabel hasil perhitungan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul

	<b>Tegangan Sentuh</b>	<b>Nilai Perhitungan</b>	<b>Waktu Gangguan</b>
1	Untuk Berat Badan 70Kg	207,5 Volt	0,75 detik
2	Untuk Berat Badan 50 kg	153,3 Volt	0,75 detik
3	Maksimum sebenarnya	261,53 Volt	0,75 detik
	<b>Tegangan Langkah</b>	<b>Nilai Perhitungan</b>	<b>Waktu Gangguan</b>
1	Untuk Berat Badan 70Kg	288,7 Volt	0,75 detik
2	Untuk Berat Badan 50 kg	213,3 Volt	0,75 detik
3	Maksimum sebenarnya	857,4 Volt	0,75 detik

Dengan demikian nilai tegangan langkah masih dikatakan aman, karena lebih rendah atau dibawah nilai tegangan langkah maksimum sebenarnya.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, baik melalui observasi dan dalam melakukan pengambilan data mengenai pengukuran nilai tahanan pentanahan dan kemudian melakukan analisis mengenai sistem pentanahan pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, diperoleh kesimpulan:

1. Berdasarkan data pengukuran yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Bantul diperoleh besarnya nilai pentanahan grid sebesar 0.57 Ohm. Atau masih berada diatas standar yang diizinkan berdasarkan standar IEEE std 80-2000 (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding) yaitu besarnya nilai pentanahan untuk area *switchyard* gardu induk < 1 Ohm.
2. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan oleh penulis diperoleh besarnya nilai pentanahan grid pada

area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul berdasarkan persamaan standar IEEE std 80-2000 (IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding) sebesar 0.527 Ohm. Atau masih diperoleh selisih nilai sebesar 0.043 Ohm atau 7.54% lebih kecil dari nilai pengukuran. Hal tersebut terjadi karena faktor nilai resistivitas jenis tanah di area tersebut. Resistivitas jenis tanah dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kadar garam, kadar pH tanah, serta daya hantar listrik.

3. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan penulis, semakin besar nilai resistivitas jenis tanah maka semakin tinggi nilai tahanan pentanahannya. Dengan asumsi luas area, kedalaman penanaman, jenis konduktor dan panjang total konduktor yang sama, tetapi jenis tanah yang berbeda, tanah berbatu memiliki nilai tahanan pentanahan yang paling tinggi perhitungan tersebut didasarkan pada standar IEEE std 80-2000 dan PUIL 2000.
4. Dari perhitungan nilai tegangan sentuh pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul diperoleh nilai sebesar 207.5 Volt untuk orang yang memiliki berat badan 70 kg, dan 153.3 Volt untuk yang memiliki berat badan 50 Kg. dengan nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya sebesar 261.53 Volt. Dengan demikian tegangan sentuh pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV berdasarkan standar IEEE std 80-2000 masih dikatakan aman.
5. Untuk nilai tegangan langkah pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul diperoleh nilai sebesar 288,7 Volt untuk orang yang memiliki berat badan 70 kg, dan 213.3 Volt untuk yang memiliki berat badan 50Kg. dengan nilai tegangan langkah maksimum sebenarnya sebesar 857.4 Volt. Dengan demikian tegangan langkah pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV berdasarkan standar IEEE std 80-2000 masih dikatakan aman.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Standar Nasional Indonesia, 2001, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta: Yayasan PUIL.
- Chow, Y. L., & Salama, M. M. A., 1994, A simplified method for calculating the substation grounding grid resistance. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9(2), 736-742.
- IEEE, 2000, IEEE std 80. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- Sumardjati, P., 2008, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Syofian, A., 2013, Sistem Pentanahan Grid Pada Gardu Induk PLTU Teluk Sirih. *Jurnal Momentum*, 14, 1.
- Tanjung, A., 2010, Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk Teluk Lembu dengan Konstruksi Berbentuk Grid (Kisi-Kisi).