

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

Takhmil Imam Rifa'i¹, Slamet Hani², dan Mujjiman,³
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28 Komplek Balapan, Yogyakarta, Indonesia
*takhmil.ir@gmail.com*¹, *shan.akprind@gmail.com*²,

ABSTRACT

Substation is one of part an electric power system that has so vital function, that need to be secured from the abnormal voltage / current to man, building and aught equipment. One of protection system in substation is Grounding. Grounding is one of the ways to cut back the abnormal current/voltage interruption. Base of the importance of grounding system, the writer will do research about the grid construction's grounding system on switchyard substation.

This research intent to know the value of the grounding resistivity, touch voltage and step voltage on switchyard 150 kV Bantul substation. Utilizing the case study analyzing method and then compare it with situation at the field and standart of IEEE std 80 2000.

Base of the analysis result, the value of grounding resistivity in Bantul substation is 0.527 Ohms. With difference value is 0.043 Ohms, or 7.54% smaller then measurement value which is 0.57 Ohms. And than, Touch voltage value is 207.5 Volts for person with body weight 70 Kgs, and 153.3 Volts for body weight 50 Kgs, with the maximum real touch voltage value is 261.53 Volts. Step voltage value as big as 288.7 Volts for person with body weight 70 kgs, and 213.3 Volts for body weight 50 kgs, and the maximum real step voltage value is 857.4 Volts.

Keywords: *switchyard, grounding, grid*

INTISARI

Gardu Induk merupakan salah satu bagian sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi yang begitu vital, perlulah dilakukan pengamanan dari bahaya tegangan/arus abnormal terhadap manusia, gedung serta peralatan yang ada. Salah satu sistem pengaman pada Gardu Induk ialah pentanahan. Pentanahan merupakan salah satu cara pengurangan pengaruh arus/tegangan abnormal tersebut. Oleh sebab itu, penulis akan melakukan penelitian yang berkenaan dengan sistem pentanahan *grid* pada *switchyard* Gardu Induk (GI).

Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai tahanan pentanahan, tegangan sentuh dan tegangan langkah pada area *switchyard* Gardu Induk 150 kV Bantul, menggunakan metode analisis studi kasus dan akan membandingkan keadaan di lapangan dengan nilai standar yang diizinkan berdasarkan standar *IEEE std 80-2000*.

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: *switchyard, pentanahan, grid*

I. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa peralatan listrik dan menjadi penghubung listrik dari pembangkit ke jaringan transmisi yang selanjutnya disalurkan ke

jaringan distribusi primer. Karena memiliki fungsi yang begitu vital, perlulah dilakukan pengamanan dari bahaya tegangan/arus abnormal terhadap manusia, gedung serta peralatan yang ada. Salah satu sistem pengaman pada Gardu Induk ialah pentanahan. Pentanahan merupakan salah

satu cara pengurangan pengaruh arus/tegangan abnormal tersebut.

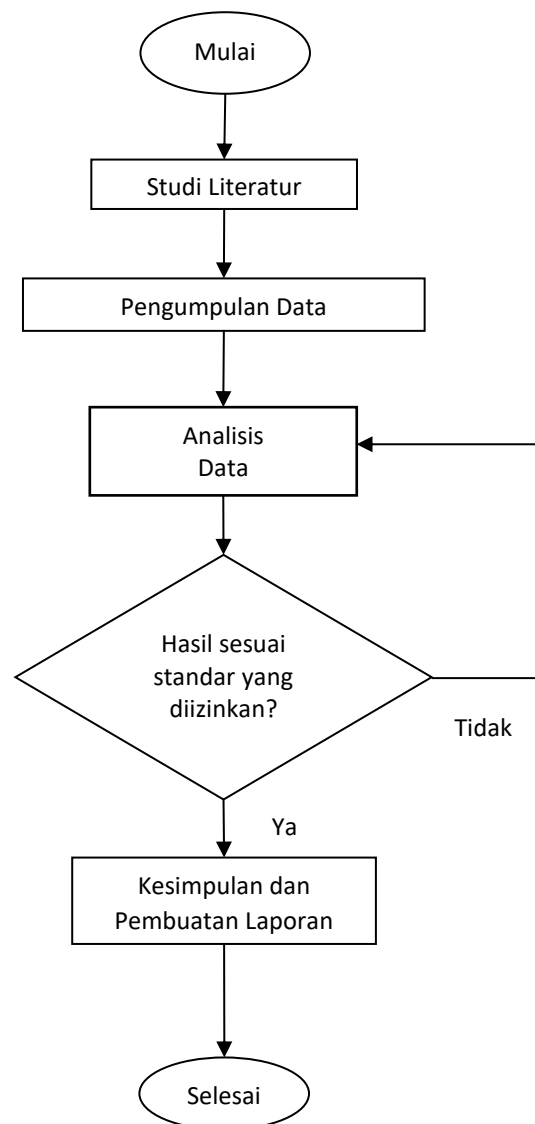
Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, serta mengamankan komponen - komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan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

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. (Andi Syofian; 2013)

Oleh karena itu penulis ingin melakukan analisis dan penelitian untuk mengetahui apakah nilai tahanan pentanahan pada switchyard gardu induk sesuai dengan standar yang diizinkan. serta analisis mengenai beberapa gangguan yang muncul akibat gangguan tersebut, yaitu tegangan langkah serta tegangan sentuh, dan kemudian membandingkan dengan standar kelistrikan yang diizinkan.

II. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian analisis studi kasus. Data yang diambil berupa pengukuran dan pembuktian yang bertujuan untuk mendapatkan fakta-fakta serta sifat-sifat mengenai suatu permasalahan. Dalam hal ini penulis berusaha untuk menganalisa tahanan pentanahan sistem grid pada Gardu Induk 150 kV Bantul.



Gambar 1. Flowchart penelitian

A. Proses Penelitian

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

1. 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
2. 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.

B. Alat dan Material

1. Alat Ukur

Spesifikasi Alat Ukur:

- a) Nama Alat : *Earth Tester*
- b) Model : Kyoritsu Digital Earth Tester 4105a
- c) *Range Earth Voltage*: - 20 Ω
- 200 Ω
- 2000 Ω
- 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

2. Material yang Digunakan

Spesifikasi material yang digunakan seperti pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1 Spesifikasi material yang digunakan

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

C. Data Penelitian

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 2 di bawah ini:

Tabel 2 Data Hasil Pengukuran Tahanan 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

Dengan data pengukuran seperti diatas, 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.

D. Metode Analisa Data

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.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan Grid

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 3 di bawah ini:

Tabel 3 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 ⁻³ m
Kedalaman penanaman konduktor	8 m
Koefisien (K ₁)	1,31
Koefisien (K ₂)	5,875

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

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

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

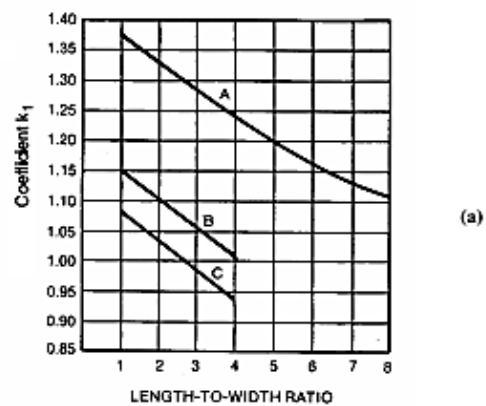
$$R_g = \frac{1}{50,24} \left[\ln \left(\frac{3200}{0,1104} \right) + \frac{2096}{94,87} - 5,875 \right]$$

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

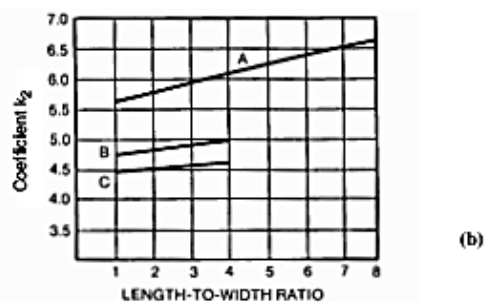
$$R_g = \frac{1}{50,24} [26,485]$$

$$R_g = 0,527 \Omega$$

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai pentanahan *grid* pada area *switchyard* Gardu Induk 150kV Bantul dengan nilai tahanan R_g sebesar 0,527 Ω dengan keadaan jenis tanah sawah ladang yang bersifat seragam (*uniform*) dengan luas area *switchyard* sebesar 150 m x 60 m. Penentuan besarnya nilai K₁ dan K₂ sesuai dengan kedalaman *grid*, luas *grid*, dan perbandingan panjang *grid* dengan lebar *grid*. Adapun penentuan nilai koefisien dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:



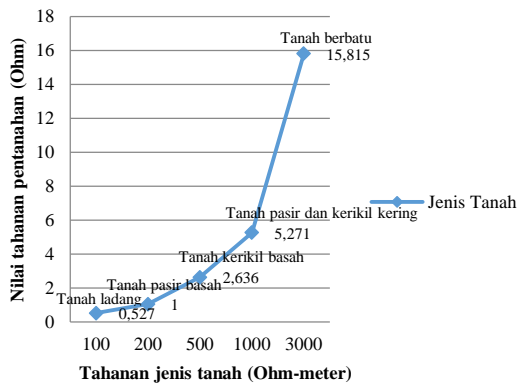
CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $y_A = -0.04x + 1.41$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{AREA}$
 $y_B = -0.05x + 1.20$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/6 \sqrt{AREA}$
 $y_C = -0.05x + 1.13$



CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $y_A = 0.15x + 5.50$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{AREA}$
 $y_B = 0.10x + 4.68$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/6 \sqrt{AREA}$
 $y_C = -0.05x + 4.40$

Gambar 2 Kurva koefisien K₁ dan K₂

B. Nilai Pentanahan Grid Untuk Jenis Tanah Yang Berbeda



Gambar 3 nilai pentanahan untuk jenis tanah 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.

C. Tegangan Sentuh

1. 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 berlapis koral (kerikil), maka nilai $C_s = 1$, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

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

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

$$E_{t70} = (1000 + 1,5 \cdot 100) \frac{0,157}{\sqrt{0,75}}$$

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

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

Dimana:

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

t : Waktu gangguan (detik)

2. Tegangan sentuh untuk berat badan 50Kg

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

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

$$E_{t50} = (1000 + 1,5 \cdot 100) \frac{0,116}{\sqrt{0,75}}$$

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

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

Dimana:

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

t = Waktu gangguan (detik)

3. Tegangan sentuh maksimum sebenarnya

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

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

$$E_m = 261,53 \text{ V}$$

Dimana:

K_i = faktor koreksi tegangan,

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

$$K_i = 2,876$$

K_m = faktor geometrik tegangan.

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

D. Tegangan Langkah

1. Tegangan langkah untuk berat badan 70Kg

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

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

$$E_{s70} = (1000 + 6 \cdot 100) \frac{0,157}{\sqrt{0,75}}$$

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

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

Dimana:

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

t : Waktu gangguan (detik)

2. *Tegangan langkah untuk berat badan 50Kg*

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

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

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

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

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

Dimana:

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

t = Waktu gangguan (detik)

3. *Tegangan sentuh maksimum sebenarnya*

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

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

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

Ki = faktor koreksi tegangan,

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

$$K_i = 2,876$$

Ks = faktor geometrik tegangan.

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

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan penulis, 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 beberapa kesimpulan antara lain:

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 70kg, dan 153,3 Volt untuk yang memiliki berat badan 50Kg. 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 70kg, 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.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam melakukan penelitian dan penyusunan jurnal ini penulis telah mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada: Bapak Slamet Hani, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Mujiman, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping, yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis. Bapak Budi Santoso selaku Manager PT.PLN (Persero) APP Salatiga. Bapak Inggil selaku Supervisor Gardu Induk 150kV Bantul. Bapak Amin selaku bagian pemeliharaan pentanahan BC Yogyakarta. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini yang tidak bias kami sebutkan satu persatu.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional Indonesia. (2001). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). Jakarta: Yayasan PUIL.
- Baldev, T. (1993). Effectif Ground Resistenace of Human Feet in High Volatage Switchyards. IEEE Transactions on Power Deliver, Vol 8. No.1.
- Hutauruk, T. (1999). Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Jakarta: Erlangga.
- IEEE. (2000). IEEE std 80. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- PT.PLN (Persero) APP Salatiga GARdu Induk 150kV Bantul. (1995). Grounding Layout. Yogyakarta: PT. Primanaya.
- Sumardjati, P. (2008). Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik. Jakarta: Pusat Perbukuan Departemen Pendidikan Nasional.
- Suyanto, M. (2007). Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Pada Kaki Menara Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 kV Bantul-Semanu Jogjakarta. Jurnal Teknologi Academia ISTA, 12, 1.
- 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).
- Wicaksana, A. (2016). Sistem Pentanahan Pada Switchgear PLTU Karangandri Cilacap. Yogyakarta: Skripsi IST AKPRIND.

- Y.L, C., & MMA, S. (1994). A Simplified Methode For Calculating The Substation Grounding Grid Resistance. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9 No. 2.