

HALAMAN PENGESAHAN I
TUGAS AKHIR

**EVALUASI NILAI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH
PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK (GI) 150 KV BANTUL**



Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing 1

Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.
NIK. 19741010201010123056

Dosen Pembimbing II

Nur Hayati, S.ST., M.T.
NIK. 19870925201507123082

**HALAMAN PENGESAHAN II
TUGAS AKHIR**

**EVALUASI NILAI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH
PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK (GI) 150 KV BANTUL**

Disusun oleh:

Anang Sakrani

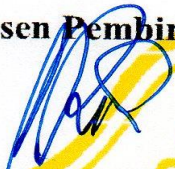
20140120176

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Pada Tanggal 21 Mei 2018

Susunan Tim Penguji:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.
NIK. 19741010201010123056


Nur Hayati, S.ST., M.T.
NIK. 19870925201507123082


Penguji


Muhamad Yusvin Mustar, S.T., M.Eng.
NIK. 19880508201504123073

**Tugas Akhir ini telah dinyatakan sah sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.
NIK. 19741010201010123056

EVALUASI NILAI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK (GI) 150 KV BANTUL

Anang Sakrani

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Teknik Elektro

e-mail: anangsakrani06101995@gmail.com

INTISARI

Sistem pentanahan ialah sistem keamanan yang menghubungkan berbagai peralatan listrik, instalasi, dan tanah guna mengamankan makhluk hidup maupun peralatan dari tegangan dan arus yang tidak normal. Sistem pentanahan merupakan bagian dari keilmuan sistem tenaga listrik yang menjadi standar yang harus dipenuhi dalam instalasi listrik diberbagai jenis bangunan, salah satu contohnya gardu induk. Pada penelitian ini, peneliti melakukan evaluasi terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkah di Gardu Induk 150 KV Bantul. Tujuan evaluasi ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah untuk kemudian dibandingkan dengan standar yang berlaku pada IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Dalam penelitian ini dilakukan proses Analisis meliputi perhitungan nilai tahanan tanah, arus fibrasi, tegangan sentuh, dan tegangan langkah. Hasil penelitian diperoleh nilai tegangan sentuh pada gardu induk 150 KV Bantul dengan sampel karyawan yang memiliki berat 50 kg sebesar 443,8 volt, untuk bobot sampel karyawan 70 kg sebesar 605,19 volt, sedangkan nilai tegangan sentuh yang sebenarnya adalah 11,06 volt dengan lama gangguan 0,071 detik. Nilai-nilai tersebut memenuhi standar yang sesuai dengan yang dinyatakan IEEE Std.80. Nilai Tegangan Langkah pada Gardu Induk 150 kV Bantul dengan berat sampel karyawan yang memiliki berat 50 kg sebesar 445,23 volt, untuk bobot sampe karyawan 70 kg sebesar 620,77 volt, sedangkan tegangan langkah yang sebenarnya adalah 2,99 volt dengan lama gangguan 0,071 detik. Nilai-nilai tersebut memenuhi standar IEEE Std.80. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan nilai tegangan langkah dan tegangan sentuh yang didapat sangat baik dan memenuhi standar IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding* karena desain dari sistem pentanahan gardu induk 150 KV Bantul sudah diperhitungkan dengan sangat baik.

Kata Kunci: Pentanahan, Gardu Induk, Tegangan Sentuh, dan Tegangan Langkah.

1. PENDAHULUAN

Sistem pentanahan ialah sistem keamanan yang menghubungkan peralatan, instalasi, dan tanah guna mengamankan makhluk hidup maupun komponen-komponen dari tegangan dan arus yang tidak normal. sistem pentanahan merupakan bagian dari keilmuan sistem tenaga listrik yang menjadi syarat yang harus dipenuhi dalam pembuatan gardu induk, rumah sakit, gedung perkantoran, tempat tinggal, dan masih banyak lagi. Sistem pentanahan baru digunakan pada tahun 1900 saat sistem tenaga listrik yang ada semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan dan memiliki resiko yang sangat besar dan membahayakan.

Gardu induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang menjadi penghubung antara Tegangan tinggi dan Tegangan menengah sebagai suplay listrik ke konsumen. Sistem pentanahan gardu induk berbeda dengan sistem pentanahan pada rumah maupun gedung karena tegangan yang ada digardu induk sangat besar. penelitian akan membahas lebih mendalam tentang evaluasi nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem pentanahan gardu induk 150 KV Bantul.

Penelitian dilakukan guna mencari data terkait untuk dihitung dengan rumus yang sesuai untuk kemudian dilakukan analisis nilai tegangan sentuh dan tegangan

langkah pada gardu induk 150 KV Bantul apakah telah memenuhi standar IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation*. Jika, nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah 150 KV Bantul tidak memenuhi syarat maka penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk memperbaiki nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem pentanahan gardu induk 150 KV Bantul.

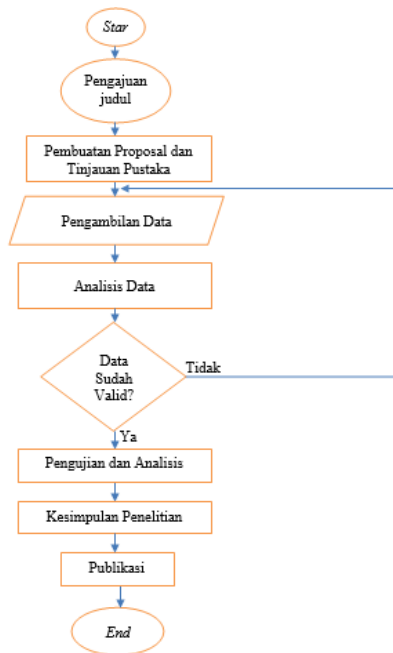
2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung nilai tegangan langkah pada sistem pentanahan Gardu Induk 150 KV Bantul, menghitung nilai tegangan sentuh pada sistem pentanahan Gardu Induk 150 KV Bantul, dan menganalisis apakah nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada Gardu Induk Bantul sudah memenuhi standar IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation*.

3. Metode

Adapun metode pengambilan datanya ialah Metode Interview, Metode Observasi, Metode Partisipasi, Metode Kepustakaan.

Diagram alir dari pembuatan penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Dalam penelitian ini penulis memiliki beberapa parameter yang akan digunakan dalam analisis pada sebagai berikut:

3.1 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah pada lokasi gardu induk di ambil pada beberapa titik lokasi, kondisi dan jenis tanah yang ada di sekitar gardu induk. Tahanan jenis tanah dapat di hitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = 2\pi aR \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana :

ρ = Tahanan jenis rata-rata tanah ($\Omega.m$)

a = Jarak antara batang elektroda yang terdekat (meter)

R = Besar tahanan yang terukur (Ω)

3.2 Tata Letak (layout)

Grid pentanahan menggunakan konduktor tembaga bulat yang di tanam pada seluruh batas gardu

induk. Grid pentanahan harus dari bahan high conductivity standart (bahan yang berpenghantar tinggi) dan harus mempunyai luas penampang minimal 20 mm² dan di tanam di kedalaman 80 cm.

3.3 Arus Fibrilasi

Besarnya arus fibrilasi yang mengalir ketubuh manusia dimana arus listrik dapat menyebabkan jantung mulai fibrilasi, dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$K_{50} = 0.116$$

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

I_k = Arus fibrilasi (ampere)

t = waktu gangguan (detik)

3.4 Jumlah Batang Pentanahan Yang Diperlukan

Jumlah titik pentanahan dan jumlah elektroda pentanahan akan disesuaikan dengan hasil tes tahanan pentanahan. Untuk setiap bay jumlah titik pentanahan sekurang-kurangnya 9 elektroda copper rod diameter min 15 mm dengan panjang setiap batang 5 meter di pancangkan pada tanah asli dengan jarak satu dan lainnya tidak kurang dari panjang batang. Untuk menentukan jumlah batang pentanahan menggunakan persamaan berikut

$$i = 3.1414 \times 10^5 d \sqrt{\frac{\delta \theta}{\rho t}} \dots \dots \dots (3.3)$$

dimana :

i = kerapatan arus yang diizinkan (amp/cm)

d = diameter batang pentanahan (mm)

δ = panas spesifik rata-rata tanah ($1,75 \times 10^6$ watt/s m^3 °C)

θ = kenaikan suhu tanah yang diizinkan (°C)

ρ = tahanan jenis tanah ($\Omega \cdot m$)

t = lama waktu gangguan (detik)

3.5 Perhitungan Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu objek yang di sentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang di sentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada di bawahnya. Tegangan sentuh yang dapat di tentukan dengan persamaan rumus dan dapat di lakukan perhitungan sebagai berikut dari data yang kita dapat.

$$E_s = I_k(R_k + 1,5 \cdot \rho_s) \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana :

E_s = Tegangan sentuh (volt)

I_k = Arus fibrilasi (ampere)

R_k = Tahanan badan manusia (Ω)

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

3.6 Perhitungan Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ketanah. Untuk mencari nilai hasil dari tegangan

langkah dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_l = I_k(R_k + 6\rho_s) \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana :

I_k = Arus Fibrilasi (ampere)

R_k = Tahanan tubuh manusia (Ω)

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

3.7 Perhitungan Tegangan Sentuh Sebenarnya

Tegangan mesh itu secara pendekatan sama dengan ρ_i , di mana ρ tahanan jenis tanah dalam ohm-meter dan i arus yang melalui konduktor kisi-kisi. Tetapi tahanan jenis tanah nyatanya tidak merata, demikian juga arus i tidak sama pada semua konduktor kisi-kisi. Oleh karena itu untuk mencakup pengaruh-pengaruh jumlah konduktor paralel n , jarak-jarak konduktor paralel, diameter konduktor, dan kedalaman penanaman, tegangan mesh itu dihitung dari persamaan berikut :

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_G}{L_m} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana :

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \frac{D^2}{16 \cdot n \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot n)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{n}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right]$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ωm)

Ig= Arus gangguan tanah (ampere)

Lm= Panjang konduktor dan batang rod (meter)

3.8 Perhitungan Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah sebenarnya adalah perbedaan tegangan yang terdapat diantara kedua kaki bila manusia berjalan di tanah sistem pentanahan pada keadaan terjadi gangguan. Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Es = \frac{\rho \cdot Ks \cdot Ki \cdot Ig}{Ls} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana :

ρ = tahanan jenis tanah ($\Omega \cdot m$)

$$Ks = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot n} + \frac{1}{D \cdot n} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$Ls = 0,75 \cdot Lc + 0,85 \cdot Lr$$

(Lc = Total Panjang melintang)

(Lr = Total panjang Rod)

$$Ki = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

Ig = Arus gangguan tanah (ampere)

3.9 Perhitungan Tahanan Ekuivalen

Untuk menghitung tahanan ekuivalen dari sistem pentanahan switchyard kita dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$Ro = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots \dots \dots (3.8)$$

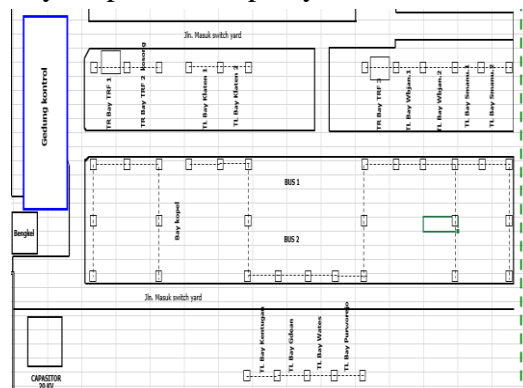
Dimana :

r=jari-jari ekuivalen dari luas switchyard (meter).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Tata Letak Gardu Induk 150 kV Bantul

Tata letak disesuaikan dengan keadaan sangat pembangunan dan dimana keadaan yang ada dari trafo telah ada walau dalam tahap perencanaan. Berikut merupakan layout posisi setiap bay:



Berikut merupakan perhitungan dari nilai tahanan jenis tanah yang ada pada gardu induk 150 kV Bantul dimana nilai dipengaruhi oleh nilai jarak antar elektroda dan tahanan terukur:

Diketahui: a : 2 meter

$$R: 0,46 \Omega$$

Ditanya nilai Tahanan jenis Tanah?

$$\rho = 2 \pi aR$$

$$\rho = 2 \pi 2,0,46$$

$$\rho = 5,77 \Omega m$$

4.3 Jumlah Batang Pentanahan yang Diperlukan

Diketahui:

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,75 \times 10^6 \text{ watt/s } m^3 \text{ } ^\circ C$$

$$\theta = 50 \text{ } ^\circ C$$

$$\rho = 39 \Omega \cdot \text{m}$$

$$t = 0,6 \text{ detik}$$

Ditanya: Nilai Kerapatan Arus?

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \theta}{\rho t}}$$

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} 40 \sqrt{\frac{1750000 \times 50}{39 \times 0,6}}$$

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} 40 \sqrt{\frac{87500000}{23,4}}$$

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} 40 \sqrt{3739316}$$

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} 40 \cdot 1933,7$$

$$i = 3.1414 \times 10^{-5} \cdot 77348$$

$$i = 2,42 \text{ Ampere/cm}$$

Nilai kerapatan arus yang mengalir pada tanah ialah 2,42 Ampere/cm. Untuk mendapatkan jumlah batang pentanahan yang harus dipenuhi, perlu memasukan nilai arus gangguan dan panjang konduktor batang pentanahan. Nilai batang pentanahan yang dibutuhkan ialah:

arus gangguan

panjang batang x 100 x kerapatan arus

$$\frac{16909}{5 \times 100 \times 2,42} = 14 \text{ Batang}$$

4.4 Arus Fibrasi

Arus Fibrasi Pada berat 50 kg

Diketahui:

$$k_{50} = \sqrt{0,0246} = 0,157 \text{ Ampere}$$

$$t = 0,071 \text{ detik}$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai arus fibrasi pada berat 50 kg.

Ditanya: besar arus yang melalui manusia (I_k)?

$$I_k = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{0,071}}$$

$$I_k = \frac{0,116}{0,26}$$

$$I_k = 0,44 \text{ ampere}$$

Jadi, nilai arus fibrasi (I_k) yang mengalir pada berat 50 kg ialah 0,44 ampere.

Arus Fibrasi Pada Berat 70 kg

Diketahui:

$$k_{70} = \sqrt{0,0135} = 0,157 \text{ Ampere}$$

$$t = 0,071 \text{ detik}$$

Ditanya: besar arus yang mengalir manusia (I_k)?

$$I_k = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

$$I_k = \frac{0,157}{\sqrt{0,071}}$$

$$I_k = \frac{0,157}{0,26}$$

$$I_k = 0,60 \text{ ampere}$$

Jadi, nilai arus fibrasi (I_k) yang mengalir pada berat 70 kg ialah 0,60 ampere

4.5 Nilai Batas Tegangan Sentuh

Perhitungan Batas Tegangan Sentuh Pada Berat 50 kg

Diketahui: $I_k = 0,44$ ampere

$$R_k = 1000 \Omega$$

$$\rho_s = 5,77 \Omega \text{m}$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai batas tegangan sentuh pada berat 50 kg.

Ditanya: tegangan sentuh pada berat 50 kg?

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

$$E_s = 0,44 (1000 + 1,5 \cdot 5,77)$$

$$E_s = 0,44 (1000 + 8,65)$$

$$E_s = 0,44 (1008,65)$$

$$E_s = 443,8 \text{ volt}$$

Jadi, nilai batas tegangan sentuh (E_s) yang mengalir pada berat 50 kg ialah 443,8 volt.

Perhitungan Batas Tegangan Sentuh Pada Berat 70 kg

Diketahui: $I_k = 0,60$ ampere

$$R_k = 1000 \Omega$$

$$\rho_s = 5,77 \Omega\text{m}$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai batas tegangan sentuh pada berat 70 kg.

Ditanya: tegangan sentuh pada berat 70 kg?

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

$$E_s = 0,60 (1000 + 1,5 \cdot 5,77)$$

$$E_s = 0,60 (1000 + 8,65)$$

$$E_s = 0,60 (1008,65)$$

$$E_s = 605,19 \text{ volt}$$

Jadi, nilai batas tegangan sentuh (E_s) yang mengalir pada berat 70 kg ialah 605,19 volt.

4.6 Nilai Batas Tegangan Langkah

1 Perhitungan Batas Tegangan Langkah Pada Berat 50 kg

Dimana: $I_k = 0,44$ ampere

$$R_k = 1000 \Omega$$

$$\rho_s = 5,77 \Omega\text{m}$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai batas tegangan langkah pada berat 50 kg.

Ditanya: tegangan langkah pada berat 50 kg?

$$E_\ell = I_k (R_k + 6 \rho_s)$$

$$E_\ell = 0,44 (1000 + 6 \cdot 5,77)$$

$$E_\ell = 0,44 (1000 + 34,62)$$

$$E_\ell = 0,44 (1034,62)$$

$$E_\ell = 455,23 \text{ volt}$$

Jadi, nilai batas tegangan langkah (E_ℓ) yang mengalir pada berat 50 kg ialah 455,23 volt.

Perhitungan Batas Tegangan Langkah Pada Berat 70 kg

Dimana: $I_k = 0,60$ ampere

$$R_k = 1000 \Omega$$

$$\rho_s = 5,77 \Omega\text{m}$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai batas tegangan langkah pada berat 70 kg.

Ditanya: tegangan langkah pada berat 70 kg?

$$E_\ell = I_k (R_k + 6 \rho_s)$$

$$E_\ell = 0,60 (1000 + 6 \cdot 5,77)$$

$$E_\ell = 0,60 (1000 + 34,62)$$

$$E_\ell = 0,60 (1034,62)$$

$$E_\ell = 620,77 \text{ volt}$$

Jadi, nilai batas tegangan langkah (E_l) yang mengalir pada berat 50 kg ialah 620,77 volt.

4.7 Tegangan Sentuh Sebenarnya

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \frac{D^2}{16 \cdot n \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot n)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{n}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right]$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{n}{n_0}}, \quad n_0 = 1 \text{ meter}$$

$$\sqrt{1 + \frac{21}{1}} = 4,6$$

D = Jarak antar konduktor kisi-kisi = 2 meter

n = jumlah konduktor paralel = 21 konduktor

d = Diameter konduktor kisi-kisi = 20mm = 0,022 meter

Setelah mengetahui nilai pada setiap perhitungan K_m maka dimasukkan dalam rumus:

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \frac{2^2}{16 \cdot 21 \cdot 0,022} + \frac{(2 + 2 \cdot 21)^2}{8 \cdot 2 \cdot 0,022} - \frac{21}{4 \cdot 0,022} \right] + \frac{1}{4,6} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot 21 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,16 \cdot \left[\ln \frac{4}{7,39} + \frac{1936}{0,352} - \frac{21}{0,088} \right] + 0,21 \cdot \ln \left[\frac{8}{128,74} \right]$$

$$K_m = 0,16 \cdot [\ln 0,54 + 5500 - 238,63] + 0,21 \cdot \ln [0,06]$$

$$K_m = 0,16 \cdot [\ln 5261,91] + 0,21 \cdot \ln [0,06]$$

$$K_m = 0,16 \cdot [8,56] + 0,21 \cdot (-2,81)$$

$$K_m = 1,36 + (-0,59)$$

$$K_m = 0,8$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

$$= 0,644 + 0,148 \cdot 21 = 2$$

$$\rho = \text{Tahanan Jenis Tanah } (\Omega m)$$

$$I_g = \text{Arus gangguan tanah (ampere)}$$

L_m = Panjang konduktor dan batang rod (meter)

Setelah mengetahui nilai dari setiap masukan yang ada maka dapat dihitung hasil dari tegangan yang sebenarnya menggunakan rumus yang ada. Berikut perhitungannya:

$$\text{Diketahui: } K_m = 0,8$$

$$K_i = 2$$

$$\rho = 5,77 \Omega m$$

$$I_g = 16909$$

$$L_m = 14109$$

Maka sesuai rumus yang ada akan dimasukan nilai sesuai rumus untuk menemukan nilai tegangan sentuh sebenarnya.

Ditanya: Tegangan Sentuh Sebenarnya (E_m) ?

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m}$$

$$E_m = \frac{5,77 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 16909}{14109}$$

$$E_m = \frac{156109,88}{14109}$$

$$E_m = 11,06 \text{ volt}$$

Jadi, nilai tegangan sentuh (E_m) sebenarnya ialah 11,06 volt

4.8 Tegangan Langkah Sebenarnya

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot n} + \frac{1}{D \cdot n} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

D = Jarak antar konduktor kisi-kisi = 2 meter

n = jumlah konduktor paralel = 21 konduktor

d = Diameter konduktor kisi-kisi = 20mm = 0,022 meter

maka nilai K_m ialah:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot 21} + \frac{1}{2 \cdot 21} + \frac{1}{2} (1 - 0,5^{21-2}) \right]$$

$$K_s = 0,31 \cdot \left[\frac{1}{42} + \frac{1}{42} + 0,5 (1 - 0,5^{19}) \right]$$

$$K_s = 0,31 \cdot [0,02 + 0,02 + 0,5 (1 - 0,0000019073)]$$

$$K_s = 0,31 \cdot [0,54 (0,99)]$$

$$K_s = 0,31 \cdot [0,53]$$

$$K_s = 0,164$$

$L_s = 0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_r$ (L_c = Total Panjang melintang)

(L_r = Total

panjang Rod)

$$L_s = 0,75 \cdot 12944 + 0,85 \cdot 1165$$

$$= 9708 + 990,25$$

$$= 10698$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

$$= 0,644 + 0,148 \cdot 21 = 2$$

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ωm)

I_g = Arus gangguan tanah (ampere)

Maka tegangan langkah yang sebenarnya ialah:

$$\text{Diketahui: } K_s = 0,164$$

$$L_s = 10698$$

$$K_i = 2$$

$$\rho = 5,77 (\Omega m)$$

$$I_g = 16909 \text{ ampere}$$

Ditanya: Nilai Tegangan Langkah Sebenarnya (E_s)?

$$E_s = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

$$E_s = \frac{5,77 \cdot 0,164 \cdot 2 \cdot 16909}{10698}$$

$$E_s = \frac{32001}{10698}$$

$$E_s = 2,99 \text{ volt}$$

Jadi, nilai tegangan langkah (E_s) sebenarnya ialah 2,99 volt

4.9 Tahanan Ekuivalen Rangkaian Pentanahan

Diketahui: $r = 94,5$ meter

$$L = 14019 \text{ meter}$$

$$P = 5,77 (\Omega m)$$

Ditanya: Tahanan Ekuivalen (R_o)?

$$R_o = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_o = \frac{5,77}{4 \cdot 94,5} + \frac{5,77}{14019}$$

$$R_o = \frac{5,77}{378} + \frac{5,77}{14019}$$

$$R_o = 0,014 + 0,0003$$

$$R_o = 0,0143 \Omega$$

Jadi, nilai Tahanan Ekuivalen (R_o) ialah 0,0143 Ω

Hasil Perhitungan pada nilai tahanan jenis, arus fibrasi, tegangan sentuh, tegangan langkah, tegangan sentuh yang sebenarnya, dan tegangan langkah sebenarnya ada pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan

Nomor	Keterangan	Nilai
1	Tahanan Jenis Tanah	5,77 Ω
2	Jumlah Batang Pentanahan	14 Batang
3	Arus Fibrasi untuk berat badan sampel sebesar 50 kg dan 70 kg	0,44 Ampere dan 0,60 Ampere
4	Tegangan Sentuh untuk berat badan sampel sebesar 50 kg dan 70 kg	443,8 Volt dan 605,19 Volt
5	Tegangan Langkah untuk berat badan sampel sebesar 50 kg dan 70 kg	455,23 Volt dan 620,77 Volt
6	Tegangan Sentuh Sebenarnya	11,06 Volt
7	Tegangan Langkah Sebenarnya	2,99 Volt
8	Tahanan Ekuivalen	0,0143 Ω

Analisis pada nilai tegangan sentuh pada Gardu Induk 150 kV Bantul pada berat 50 kg sebesar 443,8 volt, 70 kg sebesar 605,19 volt, dan nilai tegangan sentuh

sebenarnya 11,06 volt dengan lama gangguan 0,071 detik dapat dilihat pada tabel berikut.

Lama Gangguan (Detik)	Tegangan Yang Diizinkan
0,1	1980 Volt
0,2	1400 Volt
0,3	1140 Volt
0,4	990 Volt
0,5	890 Volt
1	626 Volt
2	443 Volt
3	362 Volt

Dengan nilai besar tegangan sentuh lebih kecil dari nilai yang diizinkan dapat dikatakan bahwa tegangan sentuh pada Gardu Induk 150 KV Bantul telah memenuhi standar yang diizinkan.

Nilai Tegangan Langkah pada Gardu Induk 150 KV Bantul adalah sebagai berikut pada berat 50 kg sebesar 445,23 volt, 70 kg sebesar 620,77 volt, dan tegangan langkah sebenarnya 2,99 volt dengan lama gangguan 0,071 detik. Jadi berdasarkan tabel berikut:

Lama Gangguan (Detik)	Tegangan Langkah Yang Diizinkan
0,1	7000 Volt
0,2	4950 Volt
0,3	4040 Volt
0,4	3500 Volt
0,5	3140 Volt
Lama Gangguan (Detik)	Tegangan Langkah Yang Diizinkan
1	2216 Volt
2	1560 Volt
3	1280 Volt

Berdasarkan tabelmaka dapat diketahui nilai tegangan langkah pada Gardu Induk 150 KV Bantul sudah memenuhi standar karena tegangan langkah yang ada berada dibawah nilai yang diizinkan berdasarkan lama waktu gangguannya.

Nilai Tahanan ekivalennya yang sebesar 0,0143 Ω sangat baik karena bila tahanan besar maka akan berpengaruh terhadap arus dan tegangan yang mengalir pada sistem pentanahan. Jumlah titik pentanahannya juga sangat banyak karena pada setiap perlatan yang memiliki phasa akan diberikan satu

titik pentanahan dan pada setiap titik pentanahan saling terhubung yang sangat baik dalam memproteksi arus gangguan yang ketanah dan peralatan. Jadi dalam pembuatan Gardu Induk 150 KV Bantul ini semua rencana dari lokasi gardu, jumlah titik batang pentanahan, dan luas *switchyard* telah diperhitungkan sebelum pembangunan.

Gardu Induk 150 KV Bantul Telah memenuhi standar dalam hal sistem pentanahan. Nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang didapat telah memenuhi standar IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding* yang diizinkan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai tegangan sentuh dengan sampel karyawan yang memiliki berat badan masing-masing 55 kg, 62 kg, dan 65 kg diperoleh hasil perhitungan untuk standar bobot 50 kg adalah sebesar 443,8 volt, sedangkan standar bobot 70 kg adalah sebesar 605,19 volt.
2. Nilai tegangan sentuh sebenarnya ialah 11,06 volt dengan lama gangguan 0,071 detik.
3. Nilai tegangan langkah dengan sampel karyawan yang memiliki

berat badan masing-masing 55 kg, 62 kg, dan 65 kg diperoleh hasil perhitungan untuk standar bobot 50 kg adalah sebesar 445,23 volt, sedangkan standar bobot 70 kg adalah sebesar 620,77 volt.

4. Nilai tegangan langkah sebenarnya ialah 2,99 volt dengan lama gangguan 0,071 detik.
5. Nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah yang didapat sangat baik dan sudah memenuhi standar IEEE Std.80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding* karena desain dari sistem pentanahan gardu induk 150 kV Bantul sudah diperhitungkan dan dinyatakan aman terhadap manusia yang bekerja diwilayah Gardu Induk 150 KV Bantul.

Saran

Saran dari penyusun dari analisis yang ada ialah:

1. Perlu penambahan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah pada sistem Transmisi/Tower yang

menjadi bagian penghantar pada Gardu Induk.

2. Dilakukan evaluasi nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah secara berkala agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan karena sifat gangguan yang tidak dapat diketahui waktu dan sebabnya.

Daftar Pustaka

- Abrar Tanjung, 2014. *Analisis sistem pentanahan Gardu Induk Teluk Lembu dengan bentuk konstruksi grid (kisi-kisi)*. Pekanbaru. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning
- Abrar Tanjung, 2015. *Analisis system Pentanahan Transformator Distribusi Universitas Lancang Kuning Pekanbaru*. Pekanbaru. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning
- Mukmin Mirwan, 2014. *Perbandingan Nilai Pentanahan Pada Ares Leklamsi Pantai Citraland. Palu* . Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

- Karuna Karuna, 2014. *Evaluasi Keamanan Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 KV Jajar*. Solo. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Kamal Muhammad Hamid, 2016. *Sistem Pentanahan Pada Transformator Distribusi 20 KV di PT. PLN Lhokseumawe Rayon Lhoksukon*. Lhokseumawe. Staf Pengajar Politeknik Negeri Lhokseumawe
- Lama Mustari, 2012. *Perhitungan Tegangan Sentuh Menggunakan Tahanan Kontak Kaki Dalam Sistem Pembumian Pada Gardu Induk Cikupa*. Denpasar. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Politeknik Negeri Bali
- Tri Basuki Nugraha, 2014. *Analisis Perbaikan Sistem Pentanahan Telekomunikasi*. Solo. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Abidin Zainal, 2015. *Analisa Perbaikan Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Ditanah Kapur Dan Padas Menggunakan Metode Sigarang*. Lamongan. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan
- Ignatius Agung Pratama, 2014. *Perencanaan Sistem Pentanahan Peralatan Untuk Unit Pembangkit Baru di PT. INDONESIA POWER GRATI*. Universitas Brawijaya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro. Malang.
- Suwarti, 2015. *Analisi Pengaruh Penanaman Elektroda Pembumian Secara Horizontal Terhadap Nilai Tahanan Pembumian Pada Tanah Liat Dan Tanah Pasir*. Semarang
- Ir. T.S. Hutauruk M.Sc, 1999. *Pentanahan Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga
- Nur Pamudji, 2014. *Buku Pedoman Serandang dan Pentanahan Gardu Induk*. Jakarta
- Yoga Septria, 2015. *Evaluasi Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah Gardu Induk (GI) 150 KV Akibat Perubahan Resistivitas Tanah*. Teknik

Elektro. Universitas

Tanjungpura. Pontianak

Syahputra, R., (2016), "*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.

IEEE, 1986, "*IEEE Guide For Safety In AC Substation Grounding*".

American National Standards

Institute / IEEE Standards 80-

1986, IEEE Power Engineering

Society