

Studi Evaluasi Pengetanahan Gardu Induk Dengan Adanya Perubahan Tegangan Sistem Dari 70 kV Menjadi 150 kV

Eva Kurnia Yulyawan¹⁾, Mas Ahmad Baihaqi²⁾

(Artikel diterima: Januari 2022, direvisi: Februari 2022)

Abstrak: Pengetanahan peralatan pada Gardu Induk mempunyai peranan yang sangat penting karena menyangkut keamanan manusia dan peralatan. Salah satu peristiwa yang sering terjadi di Gardu Induk yaitu gangguan fasa ke tanah yang akan menyebabkan mengalirnya arus gangguan pada bagian peralatan dan ke piranti pentanahan. Hal ini akan menimbulkan gradien tegangan antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri yang berbahaya bagi keselamatan manusia yang berada di area Gardu Induk. Sistem pengetanahan ini diharapkan akan memperoleh gradien tegangan yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga agar manusia yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya setiap waktu. Dengan adanya rencana perubahan kapasitas Transformator daya di Gardu Induk dari Transformator sistem 70 kV menjadi 150 kV, maka perlu adanya evaluasi kembali terhadap sistem pengetanahan peralatannya apakah masih memenuhi syarat-syarat teknis yaitu tingkat keamanan yang sesuai atau yang diizinkan bagi manusia ataupun peralatan di dalam suatu Gardu Induk.

Kata-kata kunci : Sistem pengetanahan peralatan, tegangan langkah, tegangan sentuh, Transformator

1. Pendahuluan

Di dalam pembangunan yang di dalamnya terdapat peralatan-peralatan listrik yang cukup kompleks, untuk melindungi manusia dan mencegah kerusakan peralatan terhadap gangguan hubung singkat ke tanah, maka peralatan-peralatan tersebut harus diketanahkan melalui sistem pengetanahan. Perhitungan sistem pengetanahan untuk gardu induk tegangan tinggi maupun ekstra tinggi harus dihitung dengan teliti mengingat arus gangguan yang mengalir ke tanah sangat besar [1]. Arus gangguan yang besar ini dapat mengakibatkan rusaknya peralatan dan sangat berbahaya bagi keselamatan manusia karena naiknya tegangan permukaan tanah di sekitar gardu induk.

Selain arus gangguan hubung singkat ke tanah yang terjadi, faktor-faktor lain yang mempengaruhi sistem pengetanahan gardu induk diantaranya kondisi tanah yang menyangkut tahanan jenis tanah, ukuran dan jenis serta bentuk konduktor, dan luas tanah yang digunakan untuk pengetanahan.

Pentanahan peralatan adalah pengetanahan dari bagian peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus listrik. Tujuan dari pengetanahan peralatan itu adalah

1). Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui listrik dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi normal atau tidak normal [2].

Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam semua bagian struktur dan peralatan. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam sistem pengetanahan ini, kemungkinan terjadinya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat diperkecil.

2). Untuk memperoleh impedansi yang kecil dari jalan balik

arus hubung singkat ke tanah.

Pada saat terjadi gangguan, arus gangguan yang dialirkan ke tanah akan menimbulkan perbedaan tegangan pada permukaan tanah yang disebabkan karena adanya tahanan tanah [2]. Jika waktu itu gangguan terjadi, seorang yang berjalan diatas switchyard sambil memegang atau menyentuh suatu peralatan yang diketanahkan yang terkena gangguan, maka akan ada arus yang mengalir dari satu kaki ke kaki yang lain.

Oleh karena itu Pengetanahan peralatan pada Gardu Induk mempunyai peranan yang sangat penting karena menyangkut keamanan manusia dan peralatan. Salah satu peristiwa yang sering terjadi di Gardu Induk yaitu gangguan fasa ke tanah yang akan menyebabkan mengalirnya arus gangguan pada bagian peralatan dan ke piranti pentanahan. Hal ini akan menimbulkan gradien tegangan antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri yang berbahaya bagi keselamatan manusia yang berada di area Gardu Induk. Sistem pengetanahan ini diharapkan akan memperoleh gradien tegangan yang merata (uniform) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga agar manusia yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya setiap waktu [3].

Dengan adanya rencana perubahan kapasitas Transformator daya di Gardu Induk dari Transformator sistem 70 kV menjadi 150 kV, maka perlu adanya evaluasi kembali terhadap sistem pengetanahan peralatannya apakah masih memenuhi syarat-syarat teknis yaitu tingkat keamanan yang sesuai atau yang diizinkan bagi manusia ataupun peralatan di dalam suatu Gardu Induk [4].

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan untuk analisa pada sistem pengetanahan peralatan pada gardu induk serta bahaya – bahaya yang dapat ditimbulkan saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah antara lain [4]:

1. Tata letak pengetanahan gardu induk

* Korespondensi: evak@upm.ac.id

1,2) Teknik Elektro, Universitas Panca Marga Probolinggo, Jln. Yos Sudarso, No. 107, Pabean, Dringu Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia Kode Pos. 67271.

2. Luas, panjang dan lebar pengetanahan gardu induk
3. Tahanan jenis tanah
4. Spesifikasi dan panjang konduktor
5. Kedalaman penanaman pentanahan
6. Lama waktu pemutusan saat gangguan hubung singkat ke tanah
7. Daya hubung singkat (MVAh)

2.1 Perhitungan dan Evaluasi Sistem Pengetanahan Gardu Induk dengan adanya perubahan tegangan sistem

Langkah-langkah perhitungan dengan cara mengevaluasi data yang diperoleh, yaitu:

1. Menentukan arus hubung singkat tanah yang didasarkan atas nilai pemutusan (MVAh) gardu induk
2. Menghitung tegangan sentuh yang diizinkan
3. Menghitung tegangan langkah yang diizinkan
4. Menghitung besar penampang konduktor pengetanahan minimum
5. Menghitung tahanan pengetanahan
6. Menghitung tegangan sentuh maksimum (mesh) sesungguhnya
7. Menghitung tegangan langkah sesungguhnya
8. Mengevaluasi keamanan terhadap sistem pengetanahan
9. Alternatif perbaikan pada sistem pengetanahan GI [5].

2.2 Perhitungan Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat pada suatu obyek yang disentuh dengan titik berjarak satu meter dari obyek tersebut, dengan asumsi bahwa obyek tersebut titik netralnya diketanahkan melalui kisi – kisi pengetanahan/ grid [6].

Besarnya arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke tanah dari kaki orang tersebut. Dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E_s = \left(R_k + \frac{R_f}{2} \right) \cdot I_k \quad (V) \quad (2-1)$$

Dimana :

E_s =Tegangan sentuh (Volt)

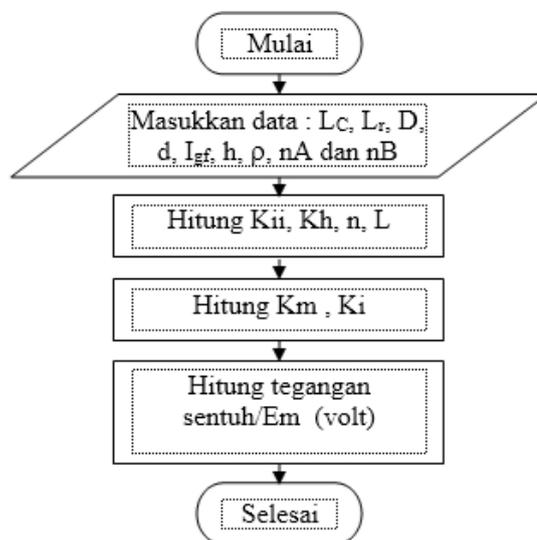
R_k =Tahanan badan orang (rata-rata 1000 Ohm)

R_f =Tahanan kontak ketanah dari satu kaki pada tanah yang diberi lapisan koral 10cm yang setara dengan 3ps (Ohm-meter)

Dalam perhitungan sistem pengetanahan gardu induk, terlebih dahulu perlu dipersiapkan data yang digunakan dalam perhitungan. Adapun data tersebut meliputi:

1. Lebar daerah pentanahan (l)
2. Panjang daerah pentanahan (p)
3. Tahanan jenis tanah (ρ)
4. Kedalaman Penanaman konduktor (h)
5. Panjang konduktor pengetanahan kisi-kisi (L2)
6. Diameter konduktor kisi-kisi (HDCC 60 mm²) (d)
7. Panjang konduktor batang pengetanahan (L1)
8. Jumlah batang pengetanahan batang(n)

9. Jarak antar konduktor parallel terbesar pada kisi-kisi (D)
10. Luas penampang untuk hantaran pengetanahan peralatan
11. Faktor koreksi untuk pengetanahan jenis gabungan(Kii)
12. Waktu gangguan maksimum (fault clearing Time)(t)



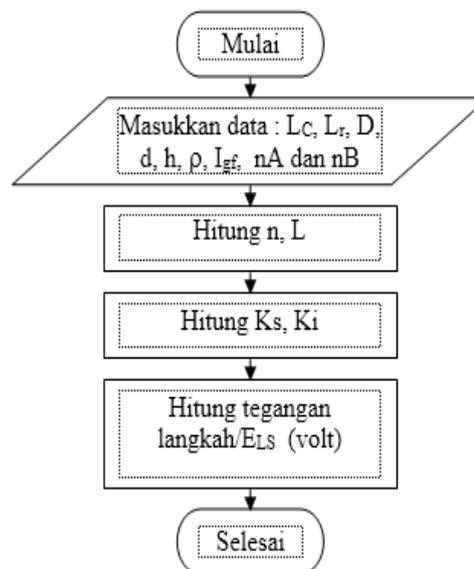
Gambar 2.2 Diagram alir perhitungan tegangan sentuh

2.3 Perhitungan Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang terdapat antara dua titik yang berjarak 1 meter atau antara dua kaki orang dewasa normal (orang tersebut tidak menyentuh apapun) pada permukaan tanah gardu induk selama terjadi gangguan [7]. Dihitung dengan rumus:

$$E_l = (R_k + 2R_f) \cdot I_k \quad (V) \quad (2-2)$$

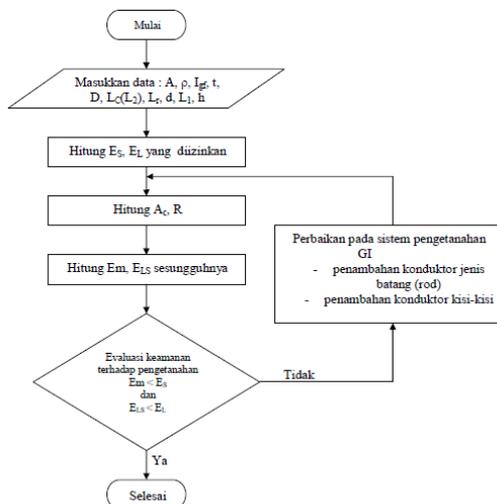
E_l =Tegangan langkah (Volt)



Gambar 2.3 Diagram alir perhitungan tegangan Langkah

2.4 Perhitungan Evaluasi Pengetanahan Peralatan Gardu Induk

Evaluasi dilakukan agar sistem pengetanahan Gardu Induk memenuhi syarat teknis yaitu tegangan sentuh maksimum sesungguhnya E_m lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_s . [8].



Gambar 2.4 Diagram alir perhitungan evaluasi

3. Evaluasi dan Analisis Pengetanahan Peralatan Gardu Induk

3.1 Tata Letak Pengetanahan

Tata letak pengetanahan dipengaruhi oleh tata letak peralatan dalam gardu induk yang akan berpengaruh pada luas pengetanahan dan panjang konduktor total yang diperlukan. Sistem pengetanahan yang digunakan di gardu induk merupakan sistem pengetanahan gabungan batang dan kisi-kisi dengan jarak antar konduktor parallel tidak sama. Jumlah batang pengetanahan batang (rod) yang digunakan 22 batang. Semua penghantar/konduktor pengetanahan peralatan dihubungkan dengan pengetanahan utama [9].

3.2 Spesifikasi dan Panjang Konduktor Serta Luas Pengetanahan

Konduktor pengetanahan yang digunakan untuk pengetanahan kisi-kisi (bus grounding) dan untuk hantaran pengetanahan peralatan adalah jenis kawat telanjang berlilit dari bahan tembaga. Konduktor tersebut ditanam pada kedalaman 1 m dibawah permukaan tanah. Data detail konduktor yang digunakan adalah:

- Jenis konduktor : Hard Drawn Copper Stranded Conductor (HDCC)
- Luas penampang untuk kisi-kisi (bus grounding) : 60 mm²
- Luas penampang untuk hantaran pengetanahan peralatan : 125 mm²

Jumlah batang pengetanahan yang digunakan adalah 22 batang dengan panjang 2,75 m setiap batang dan ukuran diameternya 0,019 m (3/4 inch). Jenis bahan yang digunakan untuk batang pengetanahan adalah terbuat dari baja yang dilapisi tembaga.

Dari gambar tata letak pengetanahan pada data dapat dihitung jumlah panjang penghantar yang digunakan pada gardu induk .

- Panjang konduktor kisi-kisi melintang :
 $(14 \times 66,5 + 5 \times 13,15 \times 3) \text{ m} = 1128,5 \text{ m}$

- Panjang konduktor kisi-kisi membujur :
 $(10 \times 100 + 6 \times 67,11) \text{ m} = 1402,66 \text{ m}$

Jadi panjang konduktor kisi-kisi total (LC) $\text{m} = 2531,2 \text{ m}$

Luas daerah pengetanahan (A) utama mempunyai ukuran sebagai berikut :

$$A = (66,5 \times 67,11 + 32,89 \times 13,15 \times 3) \text{ m}^2 = 5760,3 \text{ m}^2$$

3.3 Tegangan Sistem Gardu Induk dan Selang Waktu Gangguan Maksimum

Gardu Induk direncanakan akan menggunakan tegangan sistem sebesar 150 kV dan selang waktu gangguan maksimum (waktu pemutusan gangguan oleh pengaman) adalah 0,5 detik.

Data dalam perhitungan arus gangguan tanah (arus hubung singkat ke tanah) adalah sebagai berikut:

-Daya hubung singkat 3 phase untuk bus 150 kV, dengan nilai MVASC 3 phase adalah $2 \times 819,89 \text{ MVA} = 1639,775 \text{ MVA}$.

-Metode pengetanahan sistem yang digunakan pada gardu induk adalah metode pengetanahan dengan tahanan.

Maka nilai arus gangguan tanah di GI untuk 150 kV dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MVASC} &= 1639,775 \text{ MVA} \\ &= 6311,497 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk gardu induk dengan sistem netral yang ditanahkan dengan tahanan maka besar arus gangguan tanah maksimum diambil 25 % dari arus gangguan tiga phasa :

$$\begin{aligned} I_{gf} &= 25\% \times I_{hs} \\ &= 0,25 \times 6311,497 \text{ A} \\ &= 1577,874 \text{ A} \end{aligned}$$

Jadi besar arus gangguan tanah adalah 1577,874 A

3.4 Perhitungan Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum

Ukuran konduktor pengetanahan minimum dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2-24).Walaupun waktu yang diperlukan untuk mengisolir gangguan sebesar 0,5 detik (GI), namun mengingat konduktor pengetanahan tertanam dalam tanah untuk waktu yang tidak terbatas lamanya maka waktu yang diambil dalam perhitungannya (ANSI/IEEE, 1976: 17) 3 detik

Data yang dipergunakan dalam perhitungan ini adalah:

- $I = 1577,874 \text{ A}$
- $T_m = 250^\circ \text{ C}$, sambungan dengan baut
- $T_a = 40^\circ \text{ C}$, suhu maksimum sekeliling tanah
- $t = \text{lama gangguan } 3 \text{ detik}$

$$\begin{aligned} A &= 1577,874 \sqrt{\frac{33.3}{\log\left(\frac{250-40}{234+40} + 1\right)}} = 31589,4 \text{ Circularmils} \\ A &= 31589,4 \times 0,0005065 = 16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan data maka luas penampang yang digunakan adalah 22 mm².

Dari hasil pengamatan (data yang diperoleh) di gardu induk , luas penampang konduktor yang digunakan untuk pengetanahan adalah 60 mm². Dari luas penampang konduktor yang digunakan maka besar diameter (d) berdasarkan data (kabel tembaga berlilit

tanpa isolasi) adalah 10,0 mm = 0,01 m.

3.5 Perhitungan Tegangan Sentuh yang diizinkan

Dengan data yang ada , maka besarnya tegangan sentuh yang diizinkan adalah:

$$E_s = \left(1000 + \frac{3\rho_s}{2} \right) \times \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

Dengan data yang diketahui :

ρ_s = Tahanan jenis tanah 135 Ohm m

t = Waktu pemutusan gangguan 0,5 detik

$$E_s = (1000 + 1,5 \times 135) \times \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} = 197,27 \approx 197 \text{ Volt}$$

3.6 Perhitungan Tegangan Langkah Yang Diizinkan

Dengan data seperti yang pada perhitungan tegangan sentuh maka berdasarkan nilai tegangan langkah yang diizinkan adalah:

$$|E_{L30}| = (1000 + 6\rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$= (1000 + 6 \times 135) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} = 296,93 \approx 297 \text{ Volt}$$

3.7 Perhitungan Tegangan Sentuh Maksimum (mesh) dan Langkah Sesungguhnya

Untuk menghitung tegangan langkah dan sentuh maksimum (mesh) sesungguhnya maka dapat dihitung dengan menggunakan data sebagai berikut:

- Arus gangguan tanah maksimum ($I=I_g$)= 1577,874 A
- Luas daerah pengetanahan (A) = 5760,3 m²
- Panjang konduktor pengetanahan batang total (L_r) = 60,5 m
- Panjang konduktor pengetanahan kisi-kisi total ($L_C=L_2$)= 2531,2 m
- Jarak antar konduktor paralel terbesar pada kisi-kisi (D) = 6,8 m
- Tahanan jenis tanah (ρ) = 135 Ohm m
- Jumlah batang pengetanahan batang = 22 batang
- Diameter konduktor kisi-kisi (d) = 0,01 m
- Panjang konduktor batang pengetanahan (L_1) = 2,75 m/batang
- Diameter batang pengetanahan $\frac{3}{4}$ inch = $\frac{3}{4} \times 2,54$ cm = 0,019 m atau jari-jari (a) = 0,0095 m

3.8 Tinjauan Keamanan Terhadap Pengetanahan

Untuk mengetahui apakah sistem pengetanahan GI memenuhi syarat-syarat keamanan, maka harus dilihat kembali besar penampang konduktor, tahanan pengetanahan R_g dan tegangan sentuh sesungguhnya dimana besar tegangan sentuh sesungguhnya harus lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan.

Luas penampang konduktor pengetanahan yang digunakan telah memenuhi syarat untuk arus gangguan tanah sebesar 1577,874 A. Luas penampang konduktor yang digunakan sekarang 60 mm² merupakan 2,7 kali lebih besar dari yang semestinya 22 mm². Hal ini tentu dimaksudkan untuk mengantisipasi bila adanya perluasan sistem dan faktor keamanan.

Nilai tahanan pengetanahan R_g 0,852 Ohm juga telah sesuai dengan standar ANSI / IEEE 80-1986 dengan nilai untuk tahanan

pengetanahan gardu induk (substation) dan menara transmisi tidak lebih dari 1 Ohm.

Dalam perhitungan sebelumnya besar tegangan sentuh yang diizinkan E_s adalah 197 Volt dan tegangan langkah EL yang diizinkan adalah 297 Volt. Besar tegangan sentuh maksimum sesungguhnya E_m adalah 204 Volt dan tegangan langkah sesungguhnya ELS adalah 80 Volt. Tampak bahwa $E_m > E_s$ dan $ELS < EL$. Jadi untuk nilai tegangan sentuh ternyata tidak memenuhi syarat keamanan. Ini berarti untuk arus gangguan tanah 1577,874 A, sistem pengetanahan gardu induk yang ada sekarang tidak menjamin keamanan bagi manusia yang ada di dalam gardu induk pada kondisi gangguan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu perbaikan pada sistem pengetanahan gardu induk sebelum dirubahnya tegangan sistem.

3.9 Alternatif Perbaikan Pada Sistem Pengetanahan Gardu Induk

Perbaikan sistem pengetanahan di sini bertujuan agar diperoleh syarat keamanan yaitu tegangan sentuh yang maksimum E_m lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_s . Mengingat belum tercapainya syarat keamanan tersebut maka perlu diadakan perbaikan dengan jalan menambah konduktor pengetanahan yang ditanam pada pengetanahan yang telah ada.

Panjang konduktor yang diperlukan untuk sistem pengetanahan dapat ditentukan dengan:

$$L > \frac{K_m K_i \rho I_g \sqrt{t}}{(116 + (0,174 \cdot \rho_s))}$$

$$L > \frac{0,66 \times 3,78 \times 135 \times 1577,874 \times \sqrt{0,5}}{(116 + (0,174 \times 135))}$$

$$L > 2693,914 \text{ meter}$$

Panjang konduktor yang ada kisi-kisi dan batang adalah 2600,775 m. Selisih panjang konduktor sebenarnya dengan yang telah ada adalah :

$$\Delta L > (2693,914 - 2600,775) \text{ meter}$$

$$\Delta L > 93,139 \text{ meter}$$

Jadi penambahan panjang konduktor minimal agar diperoleh nilai $E_m < E_s$ yang merupakan syarat keamanan adalah 93 meter.

Ada dua cara penambahan konduktor pengetanahan yaitu,

- Penambahan konduktor jenis batang.
- Penambahan konduktor yang ditanam sejajar permukaan tanah.

3.10 Alternatif Perbaikan Pada Sistem Pengetanahan Gardu Induk

Hasil perhitungan sebelum penambahan konduktor pengetanahan dan sesudah penambahan konduktor dengan batang maupun kisi-kisi dapat dilihat pada table 4.1 di bawah. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa desain pengetanahan awal atau sebelum penambahan konduktor dengan arus gangguan tanah 1577,874 A, masih belum memenuhi persyaratan keamanan, karena tegangan sentuh maksimum E_m lebih besar dari tegangan sentuh yang diizinkan E_s , namun setelah adanya perbaikan yaitu dengan cara penambahan konduktor pengetanahan batang (rod) atau kisi-kisi (grid) maka sistem pengetanahan telah memenuhi syarat keamanan.

Tabel 1 Hasil perhitungan sebelum dan sesudah penambahan konduktor untuk arus gangguan $I_{gf} = 1577,874$ A

Spesifikasi	Sebelum penambahan	Penambahan batang (Rod)	Penambahan kisi-kisi (Grid)
1. Panjang konduktor (m)			
- grid L_c	2531,2	2531,2	2664,2
- rod L_r	60,5	154	60,5
- total $L = L_c + 1,15.L_r$	2600,77	2708,3	2733,775
2. Tahanan pengetanahan R_g (Ohm)	0,852	0,851	0,75
3. Tegangan sentuh yang diizinkan E_s (V)	197	197	197
4. Tegangan langkah yang diizinkan E_L (V)	297	297	297
5. Tegangan sentuh maksimum (mesh) sesungguhnya E_m (V)	204	196,12	193,84
6. Tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} (V)	80	77,15	83,14

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa besar tegangan yang diizinkan adalah:

- Tegangan sentuh yang diizinkan $E_S : 197$ V
- Tegangan langkah yang diizinkan $E_L : 297$ V

Sedangkan besar tegangan sentuh maksimum sesungguhnya (mesh) E_m dan tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} untuk kondisi arus gangguan tanah $1577,874$ A adalah :

- Tegangan sentuh maksimum sesungguhnya $E_m : 204$ V
- Tegangan langkah sesungguhnya $E_{Ls} : 80$ V

Sehingga tampak bahwa tegangan sentuh maksimum sesungguhnya E_m (mesh) lebih besar dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S ($E_m > E_S$), akan tetapi tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L . Ini berarti untuk arus gangguan tanah sebesar $1577,874$ A, sistem pengetanahan yang ada sekarang tidak menjamin keamanan bagi manusia yang ada dalam kondisi gangguan.

Setelah adanya penambahan konduktor pengetanahan batang/rod (L_r) yaitu 154 m, sehingga panjang total konduktor pengetanahan menjadi $2708,3$ m, maka sistem pengetanahan GI telah memenuhi syarat secara teknis, karena tegangan sentuh maksimum E_m (mesh) yang dihasilkan $196,12$ volt lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S 197 volt ($E_m < E_S$), begitu juga untuk tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} $77,15$ volt lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L 297 volt ($E_{Ls} < E_L$).

Sedangkan penambahan konduktor pengetanahan grid (L_c) menjadi $2664,2$ m, sehingga panjang total konduktor pengetanahan menjadi $2733,775$ m, diperoleh tegangan mesh E_m $193,84$ volt lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S 197 volt dan tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} $83,14$ volt lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L 297 volt.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis sistem pengetanahan gardu induk maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Nilai arus gangguan tanah dengan adanya perubahan tegangan 150 kV adalah $1577,874$ A. Berdasarkan kemampuan hantar arus, ukuran konduktor yang digunakan untuk sistem pengetanahan gardu induk telah memenuhi syarat, untuk arus gangguan tanah maksimum $1577,874$ A diperoleh ukuran konduktor minimum 22 mm², sedangkan yang terpasang digunakan konduktor dengan ukuran 60 mm².
2. Besar tahanan pengetanahan pada GI adalah $0,852$ Ohm, yang berarti telah memenuhi syarat ANSI / IEEE 80-1986 dengan nilai tahanan pengetanahan gardu induk (substation) tidak lebih dari 1 Ohm.

3. Untuk waktu pemutusan gangguan $0,5$ detik, besar tegangan yang diizinkan adalah:

- Tegangan sentuh yang diizinkan $E_S : 197$ V
- Tegangan langkah yang diizinkan $E_L : 297$ V

Sedangkan besar tegangan sentuh maksimum sesungguhnya (mesh) E_m dan tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} untuk kondisi arus gangguan tanah $1577,874$ A adalah :

- Tegangan sentuh maksimum sesungguhnya $E_m : 204$ V
- Tegangan langkah sesungguhnya $E_{Ls} : 80$ V

Dari hasil di atas tampak bahwa tegangan sentuh maksimum sesungguhnya E_m (mesh) lebih besar dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S , akan tetapi tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L . Ini berarti untuk arus gangguan tanah sebesar $1577,874$ A, sistem pengetanahan yang ada sekarang tidak menjamin keamanan bagi manusia yang ada dalam kondisi gangguan.

4. Agar sistem pengetanahan memenuhi syarat teknis atau agar tegangan sentuh maksimum sesungguhnya E_m lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S , maka cara perbaikannya yaitu dengan menambah panjang konduktor pengetanahan. Alternatif penambahan konduktor pengetanahan dapat dilakukan dengan menambah elektroda batang/rod atau kisi-kisi/grid. Panjang minimum penambahan konduktor pengetanahan agar memenuhi syarat teknis adalah 93 meter.

5. Dengan penambahan konduktor pengetanahan batang/rod, dengan panjang 93 meter maka sistem pengetanahan GI telah memenuhi syarat secara teknis, karena tegangan sentuh maksimum E_m (mesh) yang dihasilkan $196,12$ volt lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S 197 volt, begitu juga untuk tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} $77,15$ volt lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L 297 volt.

Sedangkan penambahan konduktor pengetanahan grid dengan panjang 133 meter diperoleh tegangan mesh E_m $193,84$ volt lebih kecil dari tegangan sentuh yang diizinkan E_S 197 volt dan tegangan langkah sesungguhnya E_{Ls} $83,14$ volt lebih kecil dari tegangan langkah yang diizinkan E_L 297 volt.

Daftar Pustaka

- [1] Hutauhuruk, T. (1991). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Kuwahara, A. A. (1993). *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik III : Gardu Induk*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- [3] EVALUASI TEGANGAN SENTUH TEGANGAN LANGKAH DAN TEGANGAN PINDAH GITET 275 KV BENGKAYANG. (2017). *untan*, 1-9.

- [4] PLN. (2000). *PUIL 2000*. Jakarta: PLN Persero.
- [5] Yoga Septria. (2012). EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK (GI) 150 kV KOTA BARU AKIBAT PERUBAHAN RESISTIVITAS TANAH. *Teknik Elektro*, 23-31.
- [6] Yusmartato, Parinduri, L., & Sudaryanto. (2017). Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir. *Electrical Technology*, 13 - 20.
- [7] Arismunandar, A. (2001). *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita,.
- [8] Gunawan, S. M., & Santosa, J. (2013). Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. *DIMENSI TEKNIK ELEKTRO*, 37-42.
- [9] Hadi, A. P. (1991). *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga.