

STUDI PERANCANGAN SISTEM PEMBUMIAN GARDU INDUK 150/20 KV DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI

Citra Rahmadhani*, Edy Ervianto**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: citarahmadhani1902@gmail.com

ABSTRACT

The earthing system is a system that should be applied in substations. Its function is to protect both humans and equipments are located around the substation of the danger caused by electrical system fault. The fault that often occurs is short circuit to ground which can cause different voltage gradient between points around the substation. The earthing system is expected to overcome the problems occurred, so that in its design should follow applicable standards. The design of the earthing system at 150/20 kV substation refers to the IEEE Std 80-2000. In this paper, earthing system is designed based on the field datas are extracted from substation Garuda Sakti. Based on design verification, its obtained such as following result i.e. mesh voltage 626.38 V, step voltage 344.46 V, length of the conductor grid 2300 m with 0.55 Ω resistance and the conductor achieved in this design able to cover area of 86, 59 mm². Overall of design was compliance to the IEEE Std 80-2000.

Keywords - earthing system, substation, touch voltage, step voltage

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk merupakan bagian yang tak terpisahkan dari saluran transmisi dan distribusi listrik. Dimana suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi dan distribusi, perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman serta peralatan control.

Pada gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian – bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah di sekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah, dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri.

Untuk mengatasi hal tersebut maka gardu induk harus memiliki sistem

pembumian yang handal yang memenuhi standar aman bagi manusia dan peralatan yang berada di area gardu induk. Sistem pembumian yang digunakan harus benar-benar dapat mencegah bahaya ketika pada saat gangguan terjadi, di mana arus gangguan yang mengalir ke bagian peralatan dan ke peralatan pembumian dapat dibumikan sehingga gradien tegangan disekitar area pembumian menjadi merata sehingga tidak menimbulkan beda potensial antara titik-titik disekitar.

Dalam perencanaan sistem pembumian gardu induk, ada beberapa standar yang diikuti untuk mendapatkan perancangan yang aman dan dapat mencegah timbulnya bahaya pada saat gangguan, salah satunya yaitu berdasarkan standar IEEE Std 80-2000. Dalam IEEE Std 80-2000 ini terdapat konsep-konsep perancangan sistem pembumian gardu induk, mulai dari hal-hal yang harus diperhatikan dalam perancangan, sampai ke

langkah-langkah dalam perancangan, yang dijelaskan secara rinci.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan studi perancangan sistem pembumian pada gardu induk 150/20 kV yang sesuai dengan standar IEEE Std 80-2000 untuk mendapatkan perancangan sistem pembumian yang aman dan efektif yang bisa diterapkan di lapangan.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk membuat rancangan ulang dan mengevaluasi sistem pembumian pada gardu induk 150/20kV yang mengacu kepada IEEE Standar 80 – 2000 yang disesuaikan dengan standar yang berlaku di Indonesia.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Arus Gangguan ke Tanah

Berdasarkan IEEE Std 80-2000 penentuan arus gangguan yang akan digunakan untuk merancang sistem pengetanahan berdasarkan seringnya gangguan yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan 3 fasa ke tanah.

Pada perancangan sistem pembumian gardu induk, arus gangguan 3 fasa yang terjadi dekat dengan transformator digunakan sebagai arus gangguan terbesar yang akan disalurkan ke sistem pembumian *grid*.

Besar arus gangguan tiga fasa terjadi pada fasa a, b dan c (Sulasno, 1993 : 201) adalah :

$$I_f = I_a = I_b = I_c = \frac{E}{Z^{(1)}}$$

E : tegangan fasa ke fasa (V)

$Z^{(1)}$: impedansi urutan positif (Ω)

I_f : arus gangguan simetris

I_a : arus fasa a

I_b : arus fasa b

I_c : arus fasa c

2.2 Tahanan Jenis Tanah

Kondisi jenis dan struktur tanah yang berbeda di sekitar gardu induk menyebabkan adanya perbedaan tahanan jenis terhadap jenis tanah yang berbeda. Berdasarkan PUIL 2000 (Janardana, 2005), untuk gabungan tanah liat dan tanah ladang mempunyai tahanan jenis rata-rata sebesar 100 Ω -m, sedangkan tanah berbatu memiliki tahanan jenis 3000 Ω -m.

2.3 Pemilihan Jenis dan Ukuran Penghantar

Bahan penghantar yang umum digunakan untuk penghantar *grid* pembumian adalah jenis tembaga yang memiliki konduktifitas tinggi dan tahan korosi. Tembaga yang digunakan menggunakan bahan copper, annealed soft-drawn dengan konstanta bahan (K_f) sebesar 7,00, konduktifitasnya sebesar 100 %, dengan batas suhu penggunaan sebesar 1083 °C, dengan ukuran :

$$A_{kcmil} = I_f \cdot K_f \sqrt{t_c}$$

t_c : lama arus gangguan (s)

K_f : nilai konstan berdasarkan tabel 2.1 untuk bahan dengan kombinasi T_m dan menggunakan suhu lingkungan (T_a) 40 °C

I_f : arus gangguan simetris (A)

2.4 Tahanan Grid Pembumian

Menurut Sverak, nilai tahanan pembumian *grid* gardu induk pada kedalaman tertentu berdasarkan persamaan

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

dimana

R_g : tahanan *grid* pembumian (Ω)

A : luas area pentanahan *grid* (m^2)

P : tahanan jenis tanah (Ω -m)

L_T : total dari panjang konduktor yang tertanam (m)

h : kedalaman penanaman konduktor (m).

2.5 Kriteria Tegangan Sentuh yang Diizinkan

Kriteria tegangan sentuh manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$E_{t70} = (1000 + 1.5Cs \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{t50} = (1000 + 1.5Cs \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$$

Dengan :

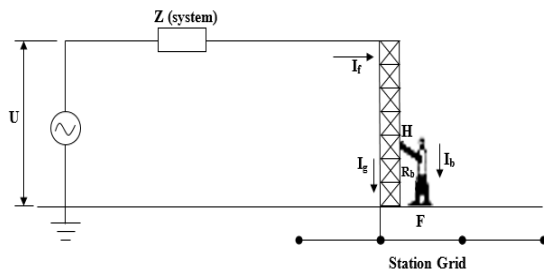
E_{t50} : tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg

E_{t70} : tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg

C_s : faktor reduksi nilai resistivitas permukaan tanah

ρ_s : tahanan jenis permukaan material (lapisan batu koral), (Ohm-m)

t_f : durasi/lama gangguan (waktu pemutusan), (s)



Gambar 1 Tegangan Sentuh

Faktor reduksi dari nilai resistivitas permukaan tanah diformulasikan :

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

Dimana:

h_s : ketebalan lapisan tanah berbatu (m)

ρ : tahanan jenis tanah (Ω -m)

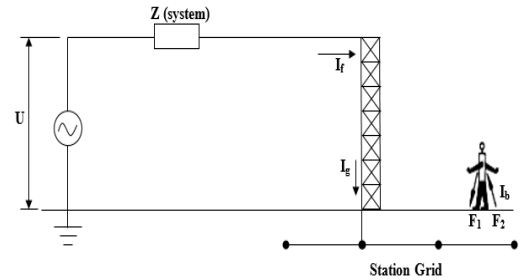
ρ_s : tahanan jenis permukaan material lapisan batu koral (Ω -m)

2.6 Kriteria Tegangan Langkah yang Diizinkan

Kriteria tegangan sentuh manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$E_{t70} = (1000 + 6Cs \times \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$E_{t50} = (1000 + 6Cs \times \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$$



Gambar 2 Tegangan Langkah

2.7 Tegangan Mesh

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_c + L_R}$$

Dimana :

K_i : faktor koreksi tegangan mesh untuk nilai pertambahan arus pada *grid*

K_m : faktor geometrik tegangan mesh

Faktor geometrik K_m dapat dituliskan pada persamaan.

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

Pada pembumian *grid*, nilai k_{ii} yaitu

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \times n)^{\frac{2}{n}}}$$

Untuk *grid* acuan dapat dituliskan pada persamaan di bawah ini.

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$h_0 = 1$ m (referensi kedalaman *grid*).

Menurut Thapar, Gerez, Balakrishnan penggunaan empat *grid* dapat efektif pada penghantar *grid* yang

diparalel dengan sebutan n . Dapat dibentuk menjadi bujur sangkar maupun empat persegi panjang (*rectangular grid*) atau penomoran yang tidak beraturan *grid – grid* pada penghantar paralel yang ekuivalen dengan bujur sangkar *grid* dituliskan pada persamaan :

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$n_c = 1$ untuk *grid* bentuk persegi dan persegi panjang

$n_c = 1$ untuk *grid* bentuk persegi, persegi panjang, dan bentuk L

dimana :

A : area *grid* dalam (m^2)

L_x : panjang maksimum dari arah *grid* x satuan (m)

L_y : panjang maksimum dari arah *grid* y satuan (m)

D : jarak maksimum antara 2 *grid* satuan (m).

2.8 Tegangan Langkah

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

L_s merupakan panjang efektif konduktor untuk tegangan langkah yang besarnya :

$$L_s = 0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R$$

Untuk kedalaman biasa dari 0,25 m < h < 2,5 m (Sverak [B132]), K_s adalah

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

K_s : faktor geometrik tegangan langkah

h : kedalaman *grid* (m)

2.9 Arus Grid Maksimum

$$I_G = D_f \times I_g$$

$$I_g = S_f \times I_f$$

Dimana:

I_G : arus *grid* maksimum (A)

D_f : decrement factor, nilainya ditentukan berdasar waktu gangguan

I_g : arus *grid* simetris (A)

I_f : arus gangguan simetris (A)

S_f : faktor pembagi arus gangguan

2.10 Kenaikan Tegangan Tanah (GPR)

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

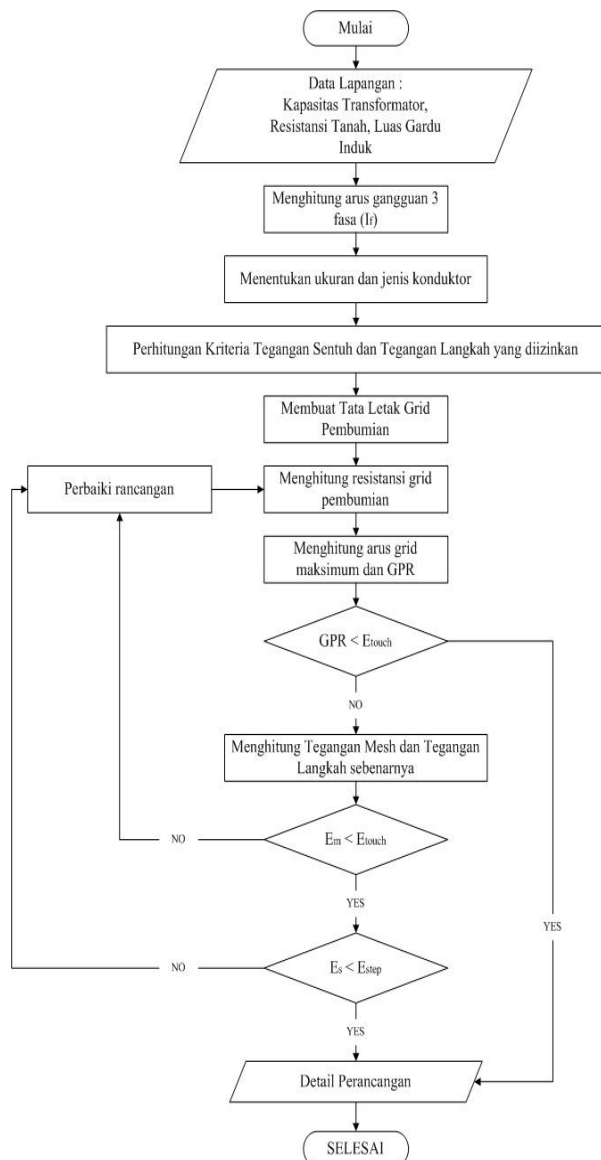
Dimana:

I_G : arus *grid* maksimum (A)

R_g : tahanan pembumian *grid* (Ω)

3 METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3 Flowchart penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan berdasarkan flowchart penelitian dengan melakukan perhitungan-perhitungan sesuai dengan landasan teori.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data dilakukan di Gardu Induk Garuda Sakti selama 2 minggu.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Hasil Perhitungan

Data	Nilai
If (3Io)	6924 A
d	0,00467 m
C _s	0,770
E _{t70}	991,1 V
E _{t50}	732,3 V
E _{s70}	3298,2 V
E _{s70}	2436,9 V
R _g	0,55 Ω
GPR	4112,85 V
E _m	626,38 V
E _s	344,46 V

4.1 Perencanaan denah

Gardu induk dengan luas 150 m x 50 m, dengan jarak maksimum *grid* D = 7 m, dan kedalaman penanaman *grid* h = 0,8 m. Maka, panjang total konduktor yang digunakan adalah :

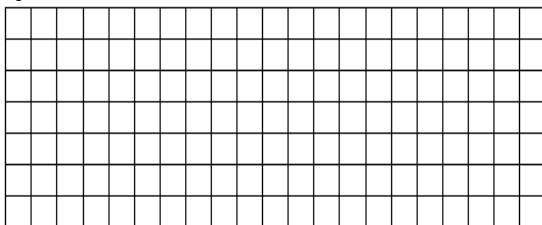
$$L_T = (8 \times 150) + (22 \times 50)$$

$$L_T = 1200 + 1100$$

$$L_T = 2300 \text{ m}$$

$$L_P = (2 \times 150) + (2 \times 50)$$

$$L_P = 400 \text{ m}$$



Gambar 4 Layout Grid Pembumian

4.2 Analisa Hasil Perancangan

Berdasarkan IEEE Std 80-2000, analisa hasil perancangan apakah sudah memenuhi persyaratan ditinjau dari perbandingan hasil perhitungan tegangan mesh dan tegangan langkah yang kemudian dibandingkan dengan kriteria tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan.

Dari hasil perhitungan rancangan yang didapat, nilai tegangan mesh (E_m) < tegangan sentuh yang diizinkan, begitu juga dengan tegangan langkah (E_s) < Tegangan langkah yang diizinkan.

4.3 Detail Perancangan yang digunakan

Tabel 2 Detail Perancangan yang Digunakan

Area Pembumian	150 m x 50 m
Perbandingan mesh <i>grid</i>	1 : 1/ 7 m x 7 m
Konduktor pembumian yang digunakan	Copper, annealed soft-drawn ukuran 2/0 AWG
Jumlah konduktor sejajar sumbu x	8 buah
Jumlah konduktor sejajar sumbu y	22 buah
Total panjang konduktor	2300 m
Resistansi Pentanahan	0,55 Ω
GPR	4112,85 V
Tegangan Mesh	626,38 V
Tegangan Langkah	344,46 V

5 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Arus gangguan yang dihitung yaitu arus gangguan 3 fasa yang terjadi dekat dengan transformator. Dari hasil perhitungan didapatkan total arus gangguan sebesar 6942 A yang digunakan untuk menentukan ukuran konduktor yang akan digunakan.

2. Panjang konduktor untuk *grid* pembumian yang digunakan adalah 2300 m dengan jumlah konduktor sejajar sumbu x sebanyak 8 buah dan sejajar sumbu y 22. Untuk resistansi *grid* pembumiannya sebesar $0,55 \Omega$.
3. Pada perancangan didapatkan nilai tegangan mesh $626,38 \text{ V} < \text{tegangan sentuh yang diizinkan } 991,1 \text{ V}$, begitu juga dengan tegangan langkah $344,46 \text{ V} < \text{tegangan langkah yang diizinkan } 3298,2 \text{ V}$, sehingga perancangan yang dibuat bisa dikatakan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Jovie Trias. 2014. *Perancangan Sistem Pengetanahan Peralatan di Gardu Induk PLTU IPP (Independent Power Producer) Kaltim 3*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Agriseli, Asyer. 2014. *Analisis Pemilihan Pentanahan Titik Netral Generator Pada PLTMH $2 \times 4,4 \text{ MW}$ Nua Ambon*. Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Committee, Substation. 2000. *IEEE Std 80-2000 : IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. IEEE, USA.
- He, Jinliang., dkk. 2013. *Methodology and Technology for Power System Grounding*. Tsinghua University, China.